

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

INFLUÊNCIA DO EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL NA DISTRIBUIÇÃO
ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA

Saulo Tasso Araujo da Silva

Campina Grande - PB
Maio de 1996



S586i Silva, Saulo Tasso Araujo da
Influencia do el nino-oscilacao sul na distribuicao
espacial e temporal da precipitacao no estado da Paraiba /
Saulo Tasso Araujo da Silva. - Campina Grande, 1996.
63f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Meteorologia) - Universidade
Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Distribuicao da Precipitacao 2. Precipitacao - 3. El-
nino - Oscilacao da Precipitacao 4. Climatologia
Estatistica 5. Dissertacao I. Braga, Celia Campos, M.Sc.
II. Arago, Maria Regina da Silva, Ph.D. III. Universidade
Federal da Paraiba - Campina Grande (PB). IV. Título

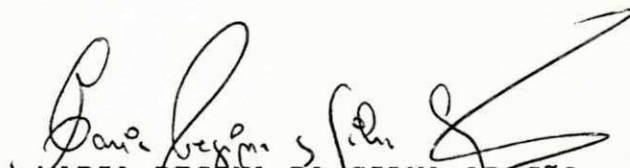
CDU 551.577.2(043)

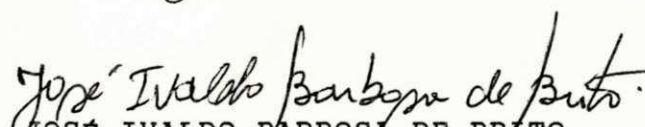
INFLUÊNCIA DO EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA
PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA.

SAULO TASSO ARAÚJO DA SILVA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 03/5/96


CÉLIA CAMPOS BRAGA
Orientadora


MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Co-Orientadora


JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Membro


CLÓVIS ANGELI SANSIGOLO
Membro

CAMPINA GRANDE
MAIO - 1996

Saulo Tasso Araujo da Silva

INFLUÊNCIA DO EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL NA DISTRIBUIÇÃO
ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA
PARAÍBA

Dissertação apresentada ao
Curso de **MESTRADO EM**
METEOROLOGIA da Universidade
Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
a obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Climatologia Estatística

Orientadora: M.Sc. Célia Campos Braga
Universidade Federal da Paraíba

Co-orientadora: Ph.D. Maria Regina da Silva Aragão
Universidade Federal da Paraíba

Campina Grande - PB

Maio de 1996

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Eunice Araujo da Silva, fiel companheira de luta e pelo seu amor infinito e ao meu pai, João Soares da Silva (*In Memoriam*), por tudo que representou para mim como exemplo de honestidade, caráter e integridade.

À minha esposa, Maria de Socorro M. B. Araujo e ao nosso filho Lucas M. B. Arauto, como incentivo a prosseguir nos estudos e pelo amor que se traduz nos pequenos gestos de renúncia e abnegação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de enriquecer o meu aprendizado.

Agradeço em especial as professoras Célia Campos Braga e Maria Regina da Silva Aragão, orientadora e co-orientadora, respectivamente, pela confiança, incentivo e imprescindível orientação oferecidas.

Aos professores do DCA e a todos colegas de curso que me auxiliaram na solução de pequenas dúvidas.

Às funcionárias, a Eng^a Eyres Diana Ventura da Silva e a secretária Divaneti Cruz Rocha por suas contribuições nas áreas da informática e administrativa, respectivamente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Também agradeço aos meus irmãos e, de forma geral, a todos os familiares e amigos que, mesmo distantes, compartilharam deste ideal, incentivando-me a prosseguir e ultrapassar todos os obstáculos.

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo regionalizar a precipitação média decendial no Estado da Paraíba. A identificação de sub-regiões homogêneas foi feita através da análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamento (AA) hierárquico para valores médios decendiais da precipitação de dois conjuntos de dados: um considerando anos climatológicos e outro anos com eventos fortes de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) para o período 1930-1993.

A aplicação da ACP a valores médios decendiais evidencia que as duas primeiras componentes explicam 96% da variância total da precipitação para a série climatológica. A primeira componente principal, a mais significativa, está associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que atua de forma mais acentuada na parte oeste do Estado, já a segunda mostra a atuação dos sistemas de mesoescala na parte leste do Estado.

Por outro lado, para anos com eventos fortes El Niño-Oscilação Sul (ENOS) as três primeiras componentes explicam 82% da variância total da precipitação.

A determinação dos grupos homogêneos de precipitação foi feita utilizando o método proposto por WARD nas diferentes situações, ou seja, valores médios decendiais da precipitação e para os autovetores mais significativos. Os resultados das análises para anos climatológicos delimitam o Estado da Paraíba em seis (06) sub-regiões homogêneas enquanto que para anos com eventos fortes de ENOS os resultados revelam a existência de cinco (05) sub-regiões homogêneas.

ABSTRACT

The present work intends to regionalize the decennial mean precipitation in Paraíba State. The identification of homogeneous subregions has been made using the techniques of Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis based upon two set of data: one taking account climatological years and another with strong events of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) for a period between 1930-1993.

The application of PCA to the climatological decennial mean values makes evident that the two first components account for 96 percent of the total variance of the precipitation for the climatological series. The first principal component, the most representative, is associated with the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), which acts in a stronger way on the west part of the State, whereas the second component shows the influence of the mesoscale systems on the east part of the State.

On the other hand, for years in which strong El Niño-Southern Oscillation (ENSO) events occur, the three first components account for 82 percent of the total variance of total of precipitation.

In order to define homogeneous groups it has been employed the method proposed by Ward to different situations, that is, to decennial mean values of precipitation and to the most representative eigenvectors. The results of the analysis for the climatological years divide Paraíba State into six homogeneous subregions, whereas for ENSO years, the results show the existence of five homogeneous subregions.

SUMÁRIO

	PÁG.
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
2.1 - Análise em Multivariada Aplicada a Variáveis Meteorológicas	07
2.2 - El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a Precipitação no Nordeste do Brasil	11
CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 - Análise de Componentes Principais	18
3.2 - Análise de Agrupamento	21
3.2.1 - Função de Agrupamento	22
3.2.2 - Distância Euclidiana	23
3.2.3 - Critério de Agrupamento	23
3.2.4 - Critério de Inércia	24
3.2.5 - Técnicas Hierárquicas Aglomerativas de Agrupamento	25
CAPÍTULO 4 - DADOS E METODOLOGIA	27
4.1 - Dados Pluviométricos	27
4.2 - Procedimentos Metodológicos	27
4.2.1 - Análise de Componentes Principais	31
4.2.2 - Análise de Agrupamento	32

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 - Distribuição média decendial da precipitação ...	33
5.2 - Regionalização através de componentes principais: série climatológica	35
5.3 - Regionalização através de componentes principais: série sem anos com eventos fortes de ENOS	43
5.4 - Regionalização através de componentes principais: anos com eventos fortes de ENOS	44
5.5 - Regionalização através da análise de agrupamentos: série climatológica	48
5.5.1 - Critério de agrupamento	49
5.5.2 - Determinação do número de grupos	49
5.6 - Regionalização através da análise de agrupamentos: anos com eventos fortes de ENOS ..	54
 CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	 57
6.1 - Conclusões	57
6.2 - Sugestões	58
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 59

LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1.1	
Mapa da região Nordeste de Brasil com as fronteiras dos estados: Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE), Bahia (BA).	02
Figura 1.2	
Mapa do relevo do Estado da Paraíba. ...	04
Figura 2.1	
A Circulação de Walker e os desvios (com respeito à média zonal) da temperatura da superfície do mar ao longo do equador para condições normais. Os ramos ascendentes da Circulação de Walker e a nebulosidade/precipitação a eles associadas aparecem esquematizados sobre a Indonésia, África e América do Sul. O ramo mais intenso situado sobre o oeste do Pacífico e Indonésia está associado às águas mais aquecidas na faixa equatorial.	14
Figura 2.2a	
Posição média da ZCIT e as células de alta e baixa pressão no inverno e verão do hemisfério sul para anos considerados normais. As isóbaras contínuas (tracejadas) representam a situação de inverno (verão).	16
Figura 2.2b	
Posição típica da ZCIT e dos ventos alíseos para um ano de El Niño.	16

Figura 4.1	Distribuição espacial do total anual médio da precipitação para o Estado.....	29
Figura 4.2	Distribuição espacial das estações (postos) pluviométricos do Estado da Paraíba.	30
Figura 5.1	Distribuição espacial da precipitação média decendial mm para o período 1930-1993.	34
Figura 5.2	Distribuição espacial da precipitação média decendial (mm) para os anos em que ocorreram eventos fortes de El Niño.	34
Figura 5.3	Curva de autovalores em função das CP's.	37
Figura 5.4	Distribuição espacial do primeiro fator de ponderação explicando 76,4% da variância total dos dados médios decendiais. O intervalo de análise é de 0,05.	38
Figura 5.5	Distribuição espacial do segundo fator de ponderação explicando 20,1% da variância total dos dados médios decendiais. O intervalo de análise é de 0,1.	38
Figura 5.6	Comportamento temporal da primeira CP (a) e da segunda CP (b).	40
Figura 5.7	Comportamento temporal da precipitação média decendial (mm) para o período 1930/93.	43

Figura 5.8	Comportamento temporal das três primeiras componentes para o conjunto de anos com eventos fortes de ENOS.	46
Figura 5.9	Distribuição espacial do primeiro fator de ponderação, explicando 63,9% da variância total dos dados médios decendiais para o conjunto de anos com eventos fortes de ENOS.	47
Figura 5.10	Distribuição espacial do segundo fator de ponderação, explicando 13% da variância total dos dados médios decendiais para o conjunto de anos com eventos fortes de ENOS.	47
Figura 5.11	Distribuição espacial do terceiro fator de ponderação, explicando 4,9% da variância total dos dados médios decendiais para o conjunto de anos com eventos fortes de ENOS.	48
Figura 5.12	Curvas da inércia referentes a: (a) dados dos anos climatológicos e (b) fatores de ponderação associados aos anos climatológicos.	52
Figura 5.13	Dendograma referente aos dados decendiais médios utilizando o método de WARD.	53
Figura 5.14	Zoneamento da distribuição espacial da precipitação média decendial no Estado da Paraíba, a partir da sobreposição da análise dos fatores de ponderação e valores médios decendiais do período 1930/93.	53

- Figura 5.15 Curvas da inércia referentes a: (c) dados médios dos anos com eventos fortes de ENOS e (d) fatores de ponderação associados aos anos com ENOS. 55
- Figura 5.16 Dendograma referente aos dados médios decendiais dos anos com eventos fortes de El-Niño utilizando o método de Ward. 56
- Figura 5.17 Zoneamento da distribuição espacial da precipitação média decendial no Estado da Paraíba, a partir sobreposição da análise dos fatores de ponderação $f(1,2,3)_j$ e valores médios decendiais para o conjunto dos anos com eventos fortes de El Niño. 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Relação dos postos pluviométricos utilizados no estudo.	28
Tabela 5.1	Seqüência de autovalores na ordem decrescente e a contribuição (em %) à variância total do campo de precipitação para $n = 68$ estações para os dados não rotacionados.	37
Tabela 5.2	Percentagens das variâncias associadas com os dois primeiros fatores para os dados decendiais médios após a retirada dos anos com ENOS.	43
Tabela 5.3	Percentagens das variâncias associadas com os seis primeiros fatores dos dados médios do conjunto de anos com eventos fortes de ENOS.	46

1 - INTRODUÇÃO

Situada entre as latitudes de 1° e 18° graus sul e as longitudes de 34° e 48° graus oeste, a Região Nordeste do Brasil abrange uma extensão territorial de aproximadamente 1,6 milhões de quilômetros quadrados (Figura 1.1). Na maior parte dessa região a precipitação é escassa e tem flutuações interanuais bastante acentuadas quando comparada com outras áreas tropicais do globo.

Em virtude dessa irregularidade climática, quase que periodicamente, grandes extensões do Nordeste são submetidas aos efeitos das secas que ocasionam o exôdo rural e enfraquecem ainda mais sua economia. Noutras ocasiões, em alguns anos específicos extremos, tem-se inundações em áreas ribeirinhas, desmoronamentos em morros localizados nos centros urbanos mais habitados, etc. Todos esses acontecimentos tornam a região centro das atenções de pesquisadores de diversas partes do mundo.

O Estado da Paraíba localiza-se na porção oriental do Nordeste do Brasil, entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45" de longitude oeste e entre os paralelos de 6°02'12" e 8°19'18" de latitude sul. Limita-se ao norte com o Estado do Rio Grande do Norte; a leste com o Oceano Atlântico; a oeste com o Estado do Ceará e ao sul, com Pernambuco (vide Figura 1.1).

Sua forma alongada no sentido leste-oeste é marcado por duas saliências (a de Catolé do Rocha, a noroeste, e a do platô dos Cariris, na porção centro-sul) e por duas reentrâncias formando uma cintura nas proximidades de Patos (37°17' W). Apresenta no sentido norte-sul uma distância linear de 253 Km e de 443 Km no sentido leste-oeste. Com apenas 56.372 Km², que corresponde a 3,6% do território nordestino a Paraíba é um dos menores Estados Brasileiros.

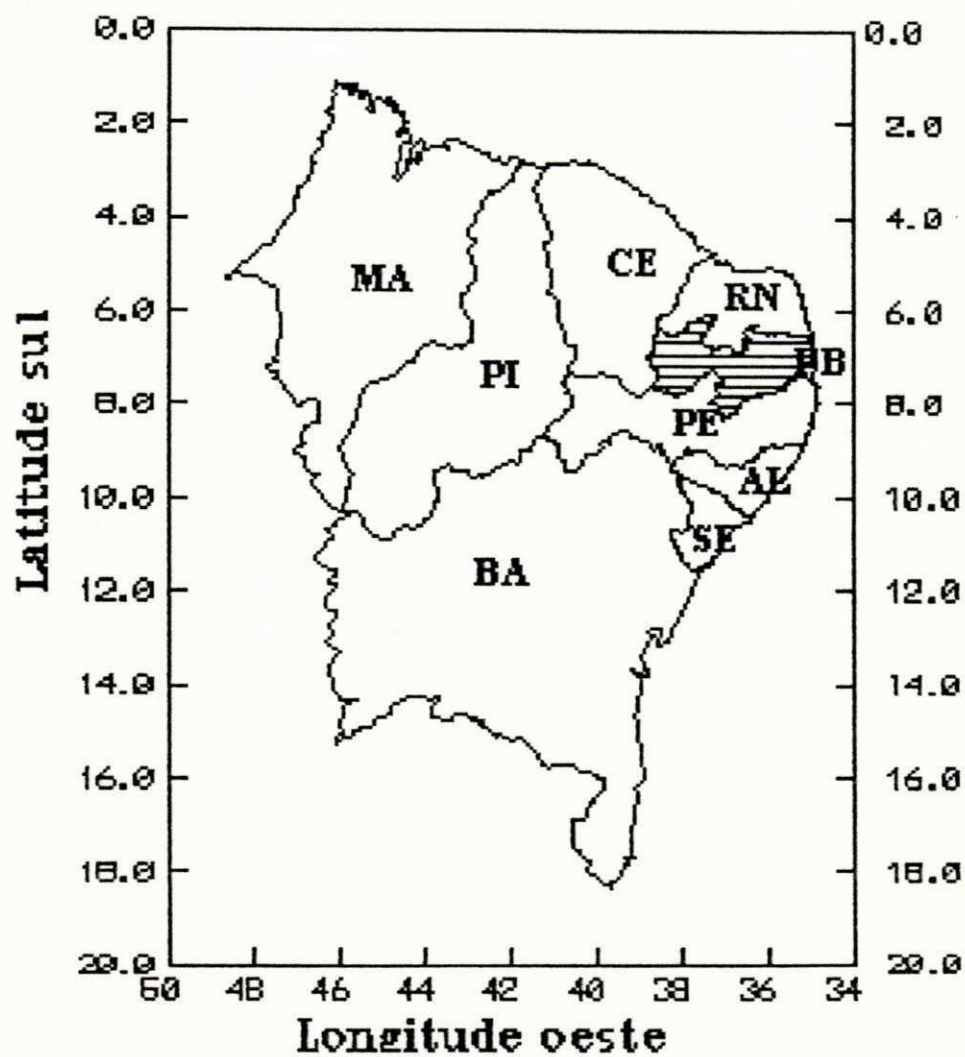


Figura 1.1 - Mapa da região Nordeste de Brasil com as fronteiras dos estados: Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE), Bahia (BA).

Como mostra o mapa do relevo (Figura 1.2), a Paraíba subdividiu-se em três regiões morfologicamente definidas: a planície costeira oriental, o Planalto da Borborema e as baixadas do norte e do oeste da Bacia do Rio Piranhas. Essas repartições feitas a grosso modo, na morfologia ambiental, correspondem modificações nos elementos meteorológicos que definem o clima (Atlas Agroclimatológico da Paraíba, 1984).

O tempo e o clima do Nordeste são influenciados por fenômenos pertencentes às várias escalas, desde a planetária até a pequena escala representada pela convecção isolada.

Pertencem à escala planetária as circulações atmosféricas associadas as anomalias na temperatura da superfície do mar como as que caracterizam o El Niño-Oscilação do Sul (ENOS) e o dipolo do Atlântico, os anticiclones subtropicais do Atlântico, a zona de convergência intertropical (ZCIT) e a oscilação de 30-60 dias. Na escala sinótica estão os sistemas frontais austrais ou zonas de convergência deles remanescentes, os vórtices ciclônicos da alta troposfera e os distúrbios ondulatórios de leste. Fenômenos de mesoescala também atuam no Nordeste; estão entre eles sistemas oriundos da ZCIT (complexos convectivos de mesoescala e linhas de instabilidade formados na costa norte do Nordeste) e as circulações ocasionadas por contraste térmico entre superfícies sólidas e líquidas e entre áreas não-elevadas e elevadas, sendo que estas últimas também podem agir como uma forçante mecânica.

Dentre os fenômenos mencionados há aqueles que, embora pertençam a mesma escala de espaço, tem escalas de tempo diferentes. É o caso, por exemplo, da oscilação de 30-60 dias (escala intra-sazonal) e das circulações atmosféricas associadas as anomalias na temperatura da superfície do mar (escala interanual).

Os fenômenos meteorológicos e climatológicos atuantes no Estado da Paraíba são os mesmos do Nordeste.

A ocorrência de precipitação num determinado instante e lugar do Nordeste é, em geral, consequência da atuação de sistemas atmosféricos organizados que pertencem às escalas de tempo iguais ou menores do que a sinótica. Por outro lado, é razoável supor que a frequência de ocorrência e/ou intensidade desses sistemas é influenciada por fenômenos que operam em escalas de tempo mais longas. Estudos já realizados (CAVIEDES, 1973; HANSTERATH & HELLER, 1977; RAO & BRITO, 1990) mostram uma correlação significativa entre eventos ENOS e a ocorrência de totais pluviométricos abaixo da média no Nordeste, particularmente em sua porção semi-árida.

A regionalização da precipitação, quando realizada de forma integrada ou seja, considerando suas variações inter e intra-anuais, pode revelar a forma de atuação dos sistemas geradores de chuva na Região e, em particular, do fenômeno ENOS.

A viabilização dessas investigações pode ser feita através do uso de técnicas apropriadas de Análise Multivariada. A identificação das componentes principais seguida da análise de agrupamentos possibilita, dentre outras coisas, a condensação das informações necessárias à descrição do comportamento de variáveis climatológicas, ao mesmo tempo que elimina a redundância existente nos dados originais. Recentemente, BRAGA e SILVA (1990) e BRAGA (1992) empregaram tais técnicas para dividir o Estado da Paraíba em sub-regiões pluviometricamente homogêneas.

O presente estudo é uma extensão do trabalho anteriormente desenvolvido pelos autores acima citados e tem como objetivo oferecer uma contribuição ao estudo climático do Estado da Paraíba a partir da identificação objetiva de sub-regiões homogêneas, com relação ao ciclo

anual da precipitação decendial, bem como determinar as mudanças que o fenômeno ENOS provoca na distribuição espacial da precipitação no Estado. Isso foi feito através da comparação dos resultados obtidos com a aplicação da análise em componentes principais e agrupamentos a três conjuntos de dados de precipitação, a saber:

(a) um formado por um número de anos climatologicamente representativo no período 1930-1993;

(b) outro, um subconjunto do primeiro, formado pelos anos em que ocorreram eventos fortes de ENOS;

(c) outro, constituído também por um número de anos climatologicamente representativo, formado com a retirada do conjunto (b) do conjunto em (a).

Desta forma, pretende-se:

1 - conduzir técnicas de análise multivariada - análise de componentes principais e análise de agrupamentos - aplicadas à base de dados decendiais de precipitação para as estações selecionadas para o estudo;

2 - regionalizar e analisar o comportamento espacial e temporal da precipitação, determinando características de seu regime anual.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Análise Multivariada Aplicada à variáveis Meteorológicas

A Análise Multivariada é um ramo da estatística aplicado a problemas que envolvem um grande número de variáveis. Seu principal objetivo é o de reduzir ao máximo o número de variáveis que descrevem o fenômeno, perdendo o mínimo possível de informação (DIDAY et alii, 1982).

LORENZ (1956) foi um dos pioneiros na aplicação das Funções Ortogonais Empíricas (FOE) em meteorologia utilizando como previsores climáticos os coeficientes associados a autovetores construídos a partir dos campos da temperatura e pressão ao nível médio do mar. Desde então, inúmeros pesquisadores vem aplicando esta técnica a dados meteorológicos com bastante sucesso.

ALDAZ (1984) aplicou a técnica de Funções Ortogonais Empíricas (FOE) à precipitação de 101 estações do Nordeste com o objetivo de calcular as direções principais da variação cronológica de seus totais médios mensais em 30 anos consecutivos. Considerando uma matriz de dados $M(12 \times 101)$ das anomalias dos totais médios mensais de precipitação, encontrou que as quatro primeiras direções eram as mais significativas. Pois, seus autovalores explicavam 97% da variância total dos dados.

GOSSENS (1985) empregou a Análise em Componentes Principais para agrupar registros anuais da precipitação de 90 estações distribuídas ao longo do Mediterrâneo Europeu. A Análise em Componentes Principais indicou que os cinco primeiros autovetores eram os mais representativos já que explicavam cerca de 54% da variância total da precipitação anual. A Análise de Agrupamento aplicada aos autovetores mais significativos evidenciou a existência de cinco regiões pluviometricamente homogêneas.

Utilizando valores climáticos de 17 variáveis, dentre elas a precipitação, coletadas em 109 estações no período de 1931-1970 para regionalizar o clima do oeste da África, ANYADIKE (1987) empregou a Análise Fatorial e reduziu as 17 variáveis para quatro fatores ortogonais que explicaram 89% da variância da matriz de dados originais. Utilizando a matriz (4X109) resultante dos fatores, aplicou uma Análise de Agrupamento hierárquico delimitando a região em grupos climaticamente homogêneos.

PANDZIC (1988) aplicou o método de Componentes Principais à série temporal de precipitação mensal de 108 estações em uma área da Iugoslávia para obter uma regionalização da mesma em zonas de precipitação homogênea considerando as características dos dois tipos básicos de precipitação (marítima e continental) dominantes na área. A Análise em Componentes Principais permitiu reter cerca de 84,8% da variabilidade do conjunto inicial com a utilização dos oito primeiros fatores, enquanto que os quatro primeiros explicavam 79,4% da variância total dos dados. Aplicando o algoritmo de Golovkin para os quatro primeiros fatores foram estabelecidos quatro grupos de precipitação homogênea estando cada grupo relacionado a uma componente principal.

FERNAU e SAMSON (1990a,b) utilizaram a metodologia da Análise de Agrupamento para definir períodos de condições meteorológicas similares e precipitação química na parte leste da América do Norte. A técnica estatística da Análise de Agrupamento foi aplicada a vetores de transporte diário, para locais de monitoramento químico na América (USA), a fim de identificar regimes meteorológicos distintos e suas frequências de ocorrência para futuro uso em esquemas de agregação. Os agrupamentos obtidos são relativamente insensíveis as mudanças em número de locais ou anos usados e ao número de horas de ventos superiores usados para definir os vetores distâncias. A

técnica de análise de agrupamentos de Ward produziu grupos com diferentes tipos de fluxo encontrados sobre a região de estudo.

PANDZIC e KISEGI (1990) empregaram a Análise em Componentes Principais para avaliar o campo de precipitação de mesoescala associado à circulação de larga escala. Os autores utilizaram dados de precipitação de 108 estações da Croácia, juntamente com dados médios mensais de pressão à superfície e de geopotencial em 500 hPa numa grade de (12X19) pontos que abrangia a região de atuação da grande escala para o período 1961-1980. Encontraram dois grupos distintos; o primeiro relacionado ao curso climático anual dos campos considerados e o segundo a suas anomalias. Obtiveram ainda, uma regionalização das regiões de meso e grande escala, dividindo-as em sub-regiões homogêneas, de acordo com o curso climático anual das variáveis, ficando estabelecida a conexão entre o curso anual da precipitação da Croácia e o campo de pressão de grande escala.

TERRÓN (1990) utilizou dois conjuntos de dados relativos ao período 1976-1980 para avaliar a aplicação de componentes principais na análise de campos meteorológicos. Foram usados totais pluviométricos coletados em 17 pluviômetros da Cidade de La Habana e dados de altura geopotencial do nível de 700 hPa em 15 pontos igualmente espaçados de 10 graus de latitude-longitude, na região compreendida entre as latitudes de 20 e 40 graus norte e as longitudes de 70 e 110 graus oeste. Utilizando a Técnica das Componentes Principais foi possível determinar para a altura geopotencial que os cinco primeiros fatores explicavam cerca de 79,7% da variância acumulada, enquanto que para a precipitação os quatro primeiros acumulavam cerca de 64,4% da variância total dos dados. Para reduzir o número de variáveis das regiões determinadas, ela utilizou o critério de DYER (1975), que leva em consideração os autovalores menores do que 0,6 pois representam um efeito aleatório. Os autovetores associados a cada autovalor foram

plotados em mapas e analisados , tanto para o campo de geopotencial quanto para o da precipitação, resultando em uma delimitação do comportamento das variáveis em três regiões homogêneas. A autora conclui que a Análise em Componentes Principais é uma técnica eficiente e rigorosa no tratamento de problemas de classificação e otimização de dados meteorológicos para diferentes fins, pois leva a resultados objetivos que não estão em discrepância com as características físicas dos campos em estudo.

Em 1990, SANSÍGOLO usou a técnica da Análise em Componentes Principais para determinar padrões de variabilidade das anomalias das temperaturas da superfície do mar do Atlântico e Pacífico a partir de 40 campos sazonais para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro no período 1950-1989 numa grade com 4 graus de latitude por 6 graus de longitude. Os resultados mostram que a primeira e a segunda componentes principais para o Atlântico explicam, respectivamente, 16,7 e 15,2% da variância enquanto que a primeira componente principal para o Pacífico explica 24,7% da variância total dos dados. Ele utilizou os coeficientes temporais das componentes principais do Atlântico e Pacífico como preditores em regressões múltiplas e análises discriminantes em três categorias equiprováveis (seco, úmido e chuvoso) identificando a primeira componente principal para o Pacífico e as duas primeiras do Atlântico como preditora potencial das secas do Norte-Nordeste.

RONCHAIL (1994) usou dados de precipitação mensal (1945-1992) de 14 estações para investigar a existência de uma possível relação entre eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), a precipitação e sua variabilidade no antiplano e vales da Bolívia. Os resultados encontrados mostram que, em média, os totais pluviométricos são menores no verão de um evento ENOS de que no verão seguinte ao ENOS. Uma Análise em Componentes Principais sobre as precipitações anuais determinou que a primeira componente representa cerca de 45% da variância do conjunto inicial dos dados, o que o

levou a concluir que a Oscilação Sul não é a maior responsável pela variabilidade das chuvas nas partes altas da Bolívia.

2.2 - El Niño - Oscilação Sul (ENOS) e a Precipitação no Nordeste do Brasil

O fenômeno denominado El Niño consiste no aparecimento de águas superficiais com temperatura acima do normal no Pacífico Equatorial isto é, é o aquecimento da água do mar do Oceano Pacífico ao longo da região equatorial e está associado à chamada fase negativa de outro fenômeno conhecido como Oscilação Sul, que é um fenômeno global do sistema oceano-atmosfera. O fenômeno inverso do El Niño, denominado anti- El Niño (La Niña), se caracteriza pela presença de valores de temperatura da superfície do mar abaixo do normal e ocorre em associação à chamada fase positiva da Oscilação Sul.

As variações associadas à Oscilação Sul são usualmente representadas em termos de índices. Um dos índices mais comumente utilizado é definido como a diferença normalizada entre as anomalias da pressão ao nível do mar em Tahiti/Polinésia Francesa (18°S , 150°W) e Darwin/Austrália (12°S , 130°E). Períodos nos quais esse índice é negativo (fase negativa da Oscilação Sul) se caracterizam por apresentar pressão anormalmente baixa (alta) no Pacífico Tropical leste (oeste) enquanto que anomalias de pressão opostas estão associadas com a fase positiva da Oscilação Sul (valores positivos do Índice da Oscilação Sul).

WALKER (1923,1924,1928a) foi quem realizou as primeiras tentativas para descrever a natureza global da Oscilação Sul. Ele utilizou o termo "Oscilação Sul" para descrever as variações interanuais de longo período em variáveis tais como a pressão ao nível do mar (PNM),

temperatura do ar à superfície e precipitação na área dos oceanos Índico e Pacífico.

A Oscilação Sul envolve uma mudança de massa entre os hemisférios ocidental e oriental nos trópicos e subtropicais e é vista como uma "gangorra" no campo da pressão, pois quando a pressão é alta no Oceano Pacífico a mesma tende a ser baixa no Oceano Índico, da África à Austrália. A Oscilação Sul está relacionada com dois sistemas atmosféricos de grande escala que são a alta da Ilha da Páscoa e a baixa da Indonésia e pode apresentar dois estados estáveis: o de alta e o de baixa intensidade.

Durante o estado de alta intensidade, o sistema de alta pressão da Ilha da Páscoa é forte, a baixa da Indonésia é intensa e o gradiente de pressão entre os dois é forte. Esta situação resulta em fortes alísios de sudeste, forte ressurgência equatorial e uma forte corrente equatorial sul. O resultado é uma acumulação de águas quentes e um aumento do nível do mar no Oceano Pacífico Ocidental e uma depressão na termoclina, enquanto que no Oceano Pacífico Oriental o nível do mar é baixo, especialmente na costa do Peru. O final do estado de alta intensidade resulta no início do El Niño.

Durante o estado de baixa intensidade, os dois sistemas são fracos e o gradiente de pressão entre os mesmos é fraco. Conseqüentemente, os alísios de sudeste são fracos, a ressurgência equatorial é fraca e a corrente equatorial sul é lenta. O Oceano Pacífico Ocidental está quente e a diferença de temperatura na direção leste-oeste é pequena, o que resulta numa Circulação de Walker fraca. Essa situação é típica das condições para ocorrência do fenômeno El Niño.

Uma importante característica da circulação atmosférica no Pacífico Tropical é a Circulação de Walker. Essa circulação está relacionada com a distribuição da

temperatura superficial no Pacífico Equatorial. A Figura 2.1 mostra, para condições normais, o esquema da Circulação de Walker e os desvios da média zonal da temperatura superficial do oceano ao longo do equador. Nessa região a água superficial mais fria é encontrada entre o meridiano de 160°W e a costa da América do Sul. Com isto, os valores mais negativos dos desvios em relação à temperatura média zonal do oceano, na região tropical, são encontrados ao longo da costa do Peru, onde atingem aproximadamente -8°C , o que contrasta com águas relativamente quentes encontradas no Pacífico Equatorial Oeste, onde os desvios são maiores que $+2^{\circ}\text{C}$. Essa diferença na temperatura da água gera uma circulação térmica, com ar ascendendo até a alta troposfera no oeste do Pacífico e Indonésia, sendo transportado principalmente para leste e descendendo sobre águas relativamente frias do leste do Pacífico.

Durante um episódio de El Niño, a evaporação da água do mar sobre o Pacífico central aumenta, o que favorece movimentos convectivos que transportam umidade para os altos níveis da atmosfera, formando nuvens e causando precipitação acima do normal sobre o Pacífico. As águas anormalmente quentes na região tropical central do Pacífico fazem com que o ramo ascendente da Circulação de Walker se desloque para leste e que haja um ramo descendente sobre regiões equatoriais do Oceano Índico/Indonésia/Austrália e África/Oceano Atlântico/Nordeste do Brasil. Conseqüentemente, nessas duas últimas regiões o movimento vertical ascendente normal é diminuído, fazendo com que a formação de nuvens e a precipitação também diminuam, o que influencia a estação chuvosa das mesmas.

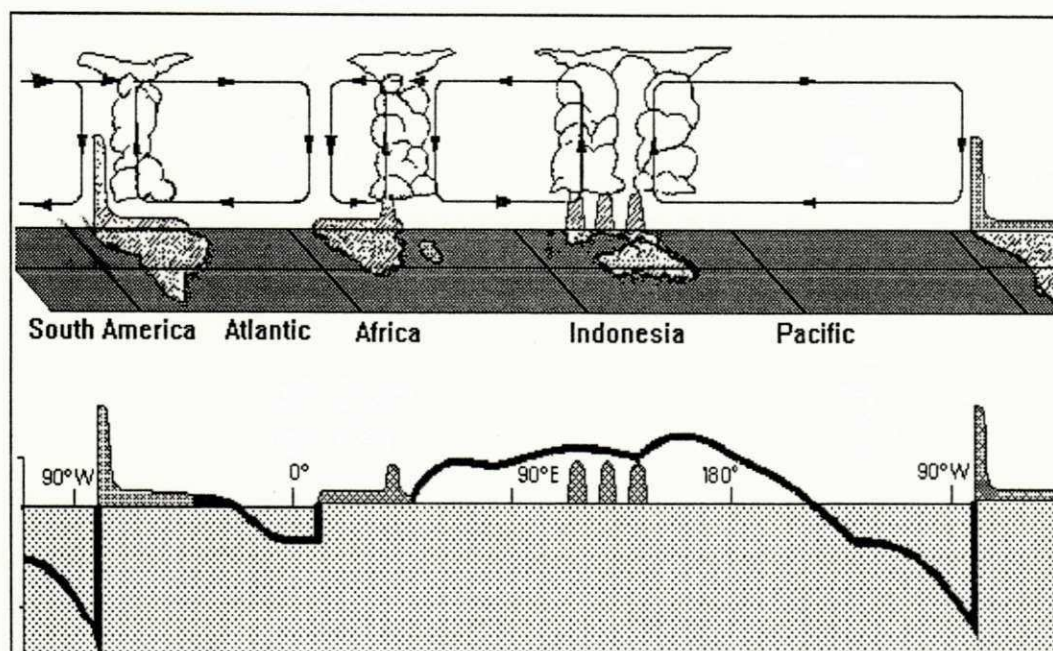


Figura 2.1 - A Circulação de Walker e os desvios (com respeito à média zonal) da temperatura da superfície do mar ao longo do equador para condições normais. Os ramos ascendentes da Circulação de Walker e a nebulosidade/precipitação a eles associadas aparecem esquematizados sobre a Indonésia, África e América do Sul. O ramo mais intenso situado sobre o oeste do Pacífico e Indonésia está associado às águas mais aquecidas na faixa equatorial.
FONTE: WYRTKI, 1981.

Estudos já realizados evidenciam que a variabilidade pluviométrica do Nordeste está associada a configurações anômalas da circulação atmosférica e oceânica em outras partes do globo.

WALKER (1928b) estudou a correlação existente entre a precipitação no Ceará e variáveis atmosféricas (pressão, temperatura, precipitação, velocidade do vento) medidas em locais que representam centros da Oscilação Sul. Ele desenvolveu uma equação para prever excesso ou deficiência de precipitação na estação chuvosa do Ceará (janeiro a junho) com base em dados do período 1876-1926. A aplicação da fórmula resultou em previsões bem sucedidas para dois terços dos anos de seca enquanto que um quinto dos anos previstos como secos poderiam ter tido precipitação normal.

CAVIEDES (1973) mostra a importância do ENOS na variabilidade da precipitação sobre a América do Sul e, em particular, para o Nordeste do Brasil, trazendo como consequência anos com precipitação escassa e irregular na região. Ele explica essas associações em termos da posição latitudinal da ZCIT mostrando suas posições médias no inverno e verão para anos considerados normais (Figura 2.2a) e sua localização típica durante um ano de El Niño (Figura 2.2b).

HASTENRATH e HELLER (1977) estudaram as anomalias climáticas do Nordeste do Brasil em termos da circulação de grande escala. Eles encontraram resultados que concordam com os de CAVIEDES (1973). Obtiveram ainda uma significativa correlação negativa entre a precipitação do Nordeste e a temperatura da superfície do mar na costa do Equador-Peru.

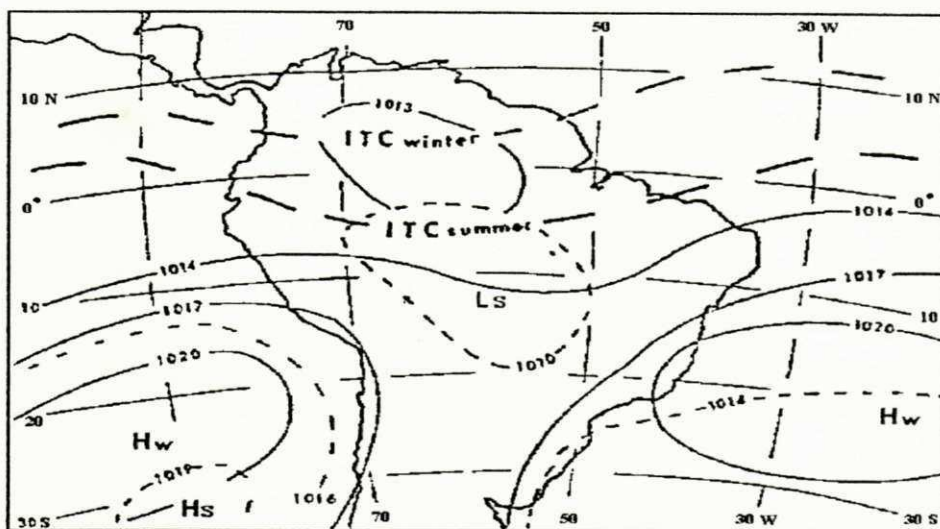


Figura 2.2a - Posição média da ZCIT e as células de alta e baixa pressão no inverno e verão do hemisfério sul para anos considerados normais. As isóbaras contínuas (tracejadas) representam a situação de inverno (verão).
FONTE: CAVIEDES, 1973.

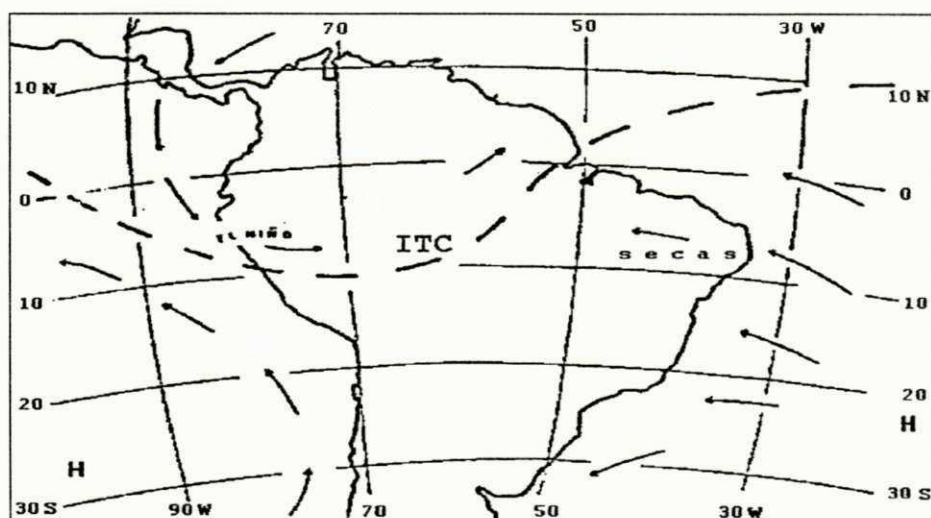


Figura 2.2b - Posição típica da ZCIT e dos ventos alíseos para um ano de El Niño.
FONTE: CAVIEDES, 1973.

RAO et alii (1986) utilizaram dados de precipitação do Nordeste do Brasil para documentar a seca de 1983 procurando relacioná-la com o índice da Oscilação Sul e as anomalias de TSM no Oceano Atlântico. Os autores determinaram que houve seca em todo o Nordeste, sendo que as regiões mais afetadas apresentaram precipitação 40% abaixo da normal na estação chuvosa. Seus resultados evidenciam ainda que no evento de 1983 a circulação leste-oeste de Walker teve maior importância que as circulações meridionais norte-sul forçadas por anomalias da TSM no Atlântico.

Através da análise de padrões de correlação bimensais obtidos entre o Índice da Oscilação Sul (IOS) e as variáveis precipitação, temperatura, pressão ao nível do mar (PNM), temperatura da superfície do mar (TSM), vento à superfície e radiação de ondas longas (ROL) para o período 1948-1983, ACEITUNO (1988) mostra que a Oscilação Sul é um fator importante na variabilidade climática interanual na América do Sul, principalmente na parte tropical do continente e que a variação interanual da precipitação, em particular no Nordeste do Brasil, está relacionada a anomalias das circulações atmosféricas e oceânicas existentes principalmente na região tropical do globo.

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A técnica da análise em multivariada denominada de análise em componentes principais foi introduzida pela primeira vez a dados meteorológicos por LORENZ (1956). Desde então inúmeros pesquisadores tem feito uso de tais técnicas; GOSENS (1985), TANAKA et alii (1988), BRAGA (1992), CEBALLOS e BRAGA (1995), dentre outros, que a aplicaram a uma variedade de situações meteorológicas.

Essencialmente o método de componentes principais consiste de uma transformação de um grande número de variáveis não ortogonais para um número menor de variáveis ortogonais que apresentam casos comum de clara mudanças de variáveis (PANDZIC, 1988).

3.1 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

A técnica da Análise de Componentes Principais (ACP) é um método de análise multivariada que inclui uma série de passos matemáticos e estatísticos para chegar a resultados representativos das variáveis consideradas. É um método de redução do número de caracteres, permitindo assim as representações geométricas dos indivíduos e seus caracteres (BOUROCHE e SAPORTA, 1982). Esta técnica estabelece que a informação atribuída a M indivíduos é representada por uma nuvem de pontos no espaço vetorial Γ com dimensão M. Desta forma, a ACP consiste na projeção dessa nuvem de pontos do sub-espaço de dimensão P, de maneira que esta deformação seja a menor possível. O plano no qual são efetuadas as projeções é denominado plano principal e a direção, direção principal (CEBALLOS e BRAGA, 1995).

Considere uma população formada por t variáveis $x_1, x_2, x_3, \dots, x_t$ e $X(i,j)$ o valor assumido pela

j-ésima variável (estação) do i-ésimo indivíduo (precipitação decendial).

Se considerarmos um espaço vetorial de dimensão P , o i-ésimo indivíduo é representado neste espaço por um ponto cujas coordenadas são:

$$[X(i,1), X(i,2), \dots, X(i,p)].$$

Se p corresponde ao número total de indivíduos da população, estes podem ser representados sob a forma matricial:

$$X_{n \times p} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdot & \cdot & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \cdot & \cdot & X_{2p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdot & \cdot & X_{np} \end{bmatrix}$$

onde as colunas correspondem aos indivíduos (estações i) e as linhas representam as j informações observadas sobre os p indivíduos.

A partir da matriz de dados ($X_{n \times p}$), cujas variáveis pressupõe-se que sejam normalmente distribuídas com média $E(x_j) = m(j)$ e variância $V(x_j) = S(j)$, $j=1, \dots, p$, pode-se obter a matriz de variância e covariância S , dada por:

$$S = \frac{1}{n} (X^t \cdot X) \quad (3.1)$$

onde X^t é a transposta da matriz X e n o número de indivíduos ou estações.

Quando as variáveis $x_1, x_2, \dots, x_p$ são normalizadas (média zero e variância um) através da média e do desvio padrão, a matriz de variância e covariância será igual à matriz de correlação R dada por:

$$R = S = \frac{1}{n} (Z^t \cdot Z) \quad (3.2)$$

onde Z é a matriz das variáveis reduzidas, Z^t sua transposta e n o número de indivíduos da população.

Sendo a matriz de correlação R uma matriz simétrica e positiva de dimensão $(p \times p)$, ela é diagonalizável por uma matriz ortogonal A , denominada de matriz dos autovetores. Logo, tem-se que a matriz diagonal D , cujos elementos são os autovetores de R , é obtida por:

$$D = A^{-1} \cdot R \cdot A \quad (3.3)$$

Como A é ortonormal $A^{-1} = A^t$. Assim:

$$D = A^t \cdot R \cdot A \quad (3.4)$$

Seja A a matriz mudança de base para um novo sistema de referência composto pelos autovetores de R . Assim, as componentes principais $U_1, U_2, \dots, U_p$ são obtidas por combinações lineares entre elementos da transposta dos autovetores de A^t da matriz de observações $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ que compõem a imagem dos vetores de X na mesma base, isto é:

$$U = A^t \cdot X \quad \text{ou} \quad X = A \cdot U \quad (3.5)$$

Os valores de X_m do n -ésimo local podem ser estimados pela seguinte expressão:

$$X_m = a_{m1}U_1 + a_{m2}U_2 + \dots + a_{mk}U_k \dots + a_{mM}U_M \quad (3.6)$$

As variáveis $U_1, U_2, \dots, U_M$ são as componentes principais do conjunto de autovetores de X , ordenados por ordem decrescente dos autovetores escolhidos de a_k em A , onde:

$$U_k = \sum_{i=1}^n a_{ki}x_i \quad (3.7)$$

Verifica-se que as contribuições das U_k (componentes principais) são progressivamente menores na equação (3.6). Cada componente U representa uma propriedade do conjunto dos locais (região), e as componentes dos vetores de a , sejam elas a_{mk} , representam um fator de ponderação da projeção da k -ésima componente principal sobre o m -ésimo local.

3.2 - ANÁLISE DE AGRUPAMENTO (Cluster Analysis)

O interesse de um agrupamento é o de tentar classificar os indivíduos em um número de classes, de maneira que os indivíduos pertencentes a estas classes sejam semelhantes em algum aspecto e diferentes das outras classes. Resumindo, esta técnica evidencia os grupos homogêneos e heterogêneos no seio de uma população.

No presente trabalho far-se-á uso de técnicas de agrupamentos, onde a partição dos p indivíduos de uma população em k classes seja obtida pela fusão de duas classes da partição em $k+1$ classes, mediante uma função de agrupamento e um critério de agregação (BOUROCHE e SAPORTA, 1982; EVERITT, 1974).

Existem vários métodos de classificação destacando-se, porém, as técnicas de classificação de EVERITT (1974) por serem mais completas e abrangentes (GAMA, 1980). De acordo com o autor, elas se classificam em:

- Técnicas de Hierarquização
- Técnicas de Partição ou Otimização
- Técnicas de Densidade
- Técnicas de Agrupamento com Intersecção

De certa forma, as técnicas de análise de agrupamento podem ser classificadas como:

- Técnicas hierárquicas
- Técnicas não hierárquicas

- Técnicas hierárquicas: as classes majoritárias são divididas em subclasses minoritárias até formar uma única classe. A estrutura final das classes são apresentadas sob a forma de uma árvore de classificação (dendograma).

- Técnicas não hierárquicas: efetua-se uma partição num número de classes fixado a priori.

Neste estudo utilizou-se o método aglomerativo de hierarquização (EVERITT, 1974; BOUROCHE e SAPORTA, 1982) por ter sido empregado com sucesso por diversos autores (BRAGA & SILVA, 1990 ; CURI, 1984; SIMONEAU, 1986).

3.2.1 - Função de Agrupamento

Na análise de agrupamento, todos os processos de hierarquização são similares, iniciando-se pela determinação de uma função de agrupamento. Esta função usa como critério para medir a distância entre dois indivíduos, a medida de dissimilaridade e similaridade. As medidas de similaridade ou dissimilaridade mais utilizadas são o coeficiente de correlação e a distância euclidiana.

A maioria dos algoritmos utiliza, a partir do conjunto dos vetores $X = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$ $i=1, n$, representados por uma matriz $X_{n \times p}$ denominada de matriz de dados, uma função chamada de Função de Agrupamento, cujos valores calculados com base na matriz de dados X , podem ser representados por uma matriz de distâncias ou de similaridades. Essas matrizes tem dimensão $n \times n$ e tem os elementos da diagonal principal nulos para a matriz de distância enquanto apresentam para a matriz de similaridade (correlação) um valor igual a unidade.

3.2.2 - Distância Euclidiana

É a métrica de maior utilização como Função de Agrupamento e apresenta enorme facilidade de cálculo.

Sejam os vetores x_i e x_j , pontos do espaço vetorial I_p . Define-se como distância euclidiana entre dois elementos, a função que é um caso particular da distância de MINKONSKI para $r=2$ no plano XY , dada por:

$$d(x_i, x_j) = \left[\sum_{q=1}^n p_i (x_{qi} - x_{qj})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.8)$$

onde x_{qi} é o valor da q -ésima característica para o i -ésimo indivíduo. P_i é o peso associado a cada indivíduo.

A distância euclidiana apresenta uma grande sensibilidade para mudanças de escala das variáveis, mesmo se todas as variáveis são univocamente determinadas. Quando se utiliza grandezas não diretamente comparáveis (com unidades e naturezas diferentes) a mudança de uma das unidades de medida pode alterar completamente o significado e o valor da medida de similaridade ou dissimilaridade. Portanto, faz-se necessário uma padronização ou redução de variáveis.

3.2.3 - Critério de Agrupamento

A função de agrupamento é de importância fundamental nas técnicas de agrupamento. Porém, por si só, esta função não especifica as normas, condições e critérios utilizados para formar os grupos desejados.

Outro conceito fundamental muito importante é o de critério de agrupamento. Entende-se por critério de agrupamento o conjunto de condições que, atendidas, fazem

com que um elemento de E seja alocado a um grupo particular.

A todo algoritmo de agrupamento é associado um critério de agrupamento que, na maioria dos casos, está associado com o valor da função de agrupamento.

3.2.4 - Critério de Inércia

A qualidade de uma partição de grupos de indivíduos é um conjunto de condições, que atendidas fazem com que um indivíduo de E seja alocado em um grupo particular. Segundo DIDAY et alii (1982), a qualidade de uma partição de grupos de indivíduos pode ser medida pelo critério de WARD (1963), que é uma derivação do teorema de Huyghens (BOUROCHE e SAPORTA, 1982), que define a inércia total de uma nuvem de pontos como sendo igual à média dos quadrados das distâncias dos n pontos ao centro de gravidade.

A medida de Inércia de Ward não é outra que a da variância mínima, pois a estratégia usada na agregação consiste em maximizar a variância interclasse, a fim de assegurar uma boa homogeneidade de cada classe, de maneira que a inércia intra-classe por ocasião da fusão de dois grupos seja mínima. Logo, para "p" indivíduos organizados em k classes a inércia total (I_t) é dada por:

$$I_t = \sum_{i=1}^p p_i d^2(G_i, G) + \sum_{k=1}^p p_k d^2(G_k, G) \quad (3.9)$$

onde p_i e p_k são pesos associados aos indivíduos i e classe k; G_i e G_k são os centros de gravidade de cada classe e população respectivamente; G é o centro de gravidade da nuvem de pontos ao qual pertence o i-ésimo elemento.

3.2.5 - Técnicas Hierárquicas Aglomerativas de Agrupamento

Nas técnicas hierárquicas e aglomerativas, existem vários métodos ou critérios de agrupamento. Dentre eles pode-se destacar:

- Método de Ligação Simples
- Método de Ligação Completa
- Método do Centróide
- Método de Ward

Neste estudo são descritos apenas os métodos de Ligação Completa e o de Ward por serem os métodos que melhor atederam ao nosso objetivo.

a) Método de Ligação Completa (Complete Linkage Method)

Este método é conhecido também como método do elemento mais distante e é uma das técnicas de hierarquização aglomerativa de maior aplicação. Esta técnica utiliza como função de agrupamento entre dois grupos tanto a similaridade quanto a distância. Os grupos inicialmente são constituídos de grupos individuais, onde cada indivíduo é um grupo, que se fundem de acordo com a distância entre seus membros mais distantes. Assim, dado os conjuntos de indivíduos X e Y, a distância entre eles será definida por:

$$d(X,Y) = \max \{ d(i,j) ; i \in X \text{ e } j \in Y \}$$

ou

$$d(x,y) = \max \left\{ \sum_{i=1}^n (x_{1i} - y_{1j})^2 / n \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

b) Método de WARD

Este método foi apresentado por seu idealizador WARD em 1963 (EVERITT, 1974) para n-2 passos utilizando a soma dos quadrados do erro como base do critério de decisão. Este método é uma das técnicas de hierarquização aglomerativa mais difundidas em análise de agrupamento.

Segundo WARD, para qualquer estágio da análise a perda de informações resultante do agrupamento de indivíduos em grupos pode ser medida pelo incremento da inércia do conjunto (EVERITT, 1974).

Em cada iteração na análise, a reunião de todos os possíveis pares de agrupamentos será considerada, reunindo-se aqueles que introduzem um maior incremento na soma dos quadrados dos erros, ou seja:

$$(E.S.Q.) = \sum_{i=1}^n x_i^2 + \left(\frac{1}{n} \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (3.11)$$

Este método tem como função de agrupamento a distância Euclidiana e o critério de agregação é dado pelo valor do incremento, que é obtido através da matriz de dispersão, soma dos quadrados do erro.

4 - DADOS E METODOLOGIA

4.1 - Dados Pluviométricos

Utilizou-se neste trabalho séries pluviométricas diárias de, no mínimo, 30 anos (período entre 1930-1993), onde foram considerados para efeito de estudo o ano hidrológico (outubro à setembro), para 68 postos e/ou estações pluviométricas bem distribuídas no Estado da Paraíba como estão relacionadas na Tabela 4.1 e mostrados na Figura 4.2. A distribuição espacial do total anual médio é mostrado Figura 4.1. Estes dados foram cedidos ao Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pela Divisão de Hidrometeorologia (DHM) do Departamento de Recursos Naturais (DRN) da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Foram feitas totais decendiais da precipitação, sendo que cada mês está dividido em três decêndios com base na informação diária, de modo que nos meses de 31 dias o último decêndio tem um período de 11 dias, enquanto que no mês de fevereiro o último decêndio tem um período de 8 dias ou 9 dias, se o ano é bissexto.

4.2 - Procedimentos Metodológicos

Obteve-se as médias dos totais decendiais da precipitação a partir das séries diárias. A seguir, organizou-se um arquivo de trabalho disposto sob a forma de uma matriz $X_{n \times p}$, onde X_{ij} representa a i -ésima observação da j -ésima estação, ou seja, cada coluna da matriz contém os dados de cada estação. Como se trata de apenas uma variável (precipitação), a primeira coluna descreve a série temporal de observações para a primeira estação. Logo, o número "n" de linhas (número de decêndios) tem dimensão 36 e o número "p" de colunas corresponde a 68 estações climatológicas para o período homogêneo de 1930-93.

TABELA 4.1 - Relação dos postos pluviométricos utilizados no estudo.

Ordem	Código	Localidade	Sigla	Latitude Sul	Longitude Oeste	Altitude	Tot. anual médio(mm)
01	3824396	Belém do Brejo do Cruz	BBC	6° 11'	37° 32'	190m	725.2
02	3824751	Catolé do Rocha	CRc	6° 21'	37° 45'	250m	913.6
03	3825701	Brejo do Cruz	BCz	6° 21'	37° 30'	190m	820.8
04	3832089	Barra do Juá	BJa	6° 32'	38° 34'	500m	796.4
05	3832398	Pilões	Pil	6° 40'	38° 31'	255m	836.2
06	3832789	Cajazeiras	Caz	6° 53'	38° 34'	291m	891.8
07	3833413	Antenor Navarro	ANv	6° 44'	38° 27'	240m	982.4
08	3833554	Souza	Sza	6° 45'	38° 14'	200m	791.5
09	3833639	São Gonçalo	SGL	6° 50'	38° 19'	235m	904.6
10	3833835	Nazarezinho	Naz	6° 55'	38° 20'	265m	877.5
11	3833908	Engenheiro Avidos	EAv	6° 58'	38° 28'	250m	868.8
12	3834538	Pombal	Pom	6° 46'	37° 49'	178m	724.9
13	3834877	Condado	Con	6° 54'	37° 37'	260m	801.8
14	3834894	Malta	Mal	6° 54'	37° 32'	340m	727.5
15	3836715	Santa Luzia	SLz	6° 52'	36° 56'	290m	550.5
16	3837028	Picuí	Pic	6° 31'	36° 22'	450m	340.8
17	3837477	Barra de Santa Rosa	BSR	6° 43'	36° 04'	440m	365.8
18	3837507	Pedra Lavrada	PLv	6° 45'	36° 28'	525m	372.7
19	3837953	Olivêdos	Oli	6° 59'	36° 15'	545m	485.3
20	3838005	Araruna	Ara	6° 31'	35° 44'	580m	853.6
21	3838575	Bananeiras	Ban	6° 46'	35° 38'	552m	1187.9
22	3838675	Serraria	Ser	6° 49'	35° 38'	360m	1317.5
23	3838962	Areia	Are	6° 58'	35° 42'	445m	1367.1
24	3839679	Mamanguape	Mam	6° 50'	35° 07'	54m	1491.1
25	3839704	Guarabira	Gua	6° 51'	35° 29'	89m	1183.9
26	3842698	Bonito de Santa Fé	BSF	7° 19'	38° 31'	575m	974.2
27	3843042	Timbaúba	Tim	7° 01'	38° 18'	520m	927.8
28	3843166	Aguiar	Agu	7° 05'	38° 11'	280m	902.8
29	3843537	Serra Grande	SGr	7° 15'	38° 19'	585m	832.3
30	3843667	Itaporanga	Itp	7° 18'	38° 10'	230m	876.3
31	3843727	Bom Jesus	BJs	7° 21'	38° 22'	470m	865.1
32	3843992	Nova Olinda	NvO	7° 28'	38° 03'	315m	937.5
33	3844008	Coremas	Cor	7° 01'	37° 58'	220m	890.9
34	3844279	Catingueira	Cat	7° 08'	37° 37'	290m	969.8
35	3844313	Piancó	Pia	7° 11'	37° 57'	250m	915.7
36	3844448	Olho D'Agua	ODA	7° 13'	37° 46'	275m	1351.8
37	3845045	Patos	Pat	7° 01'	37° 17'	250m	698.9
38	3845236	Porcos	Por	7° 08'	37° 20'	270m	749.6
39	3845448	Teixeira	Tei	7° 13'	37° 16'	770m	783.5
40	3845514	Mãe D'Agua de Dentro	MAD	7° 15'	37° 26'	370m	801.8
41	3845583	Desterro	Des	7° 17'	37° 06'	590m	514.2
42	3845703	Imaculada	Ima	7° 23'	37° 30'	750m	683.6
43	3846231	Salgadinho	Sal	7° 06'	36° 51'	410m	451.9
44	3846434	Taperoá	Tap	7° 12'	36° 50'	500m	493.5
45	3846894	São João do Cariri	SJC	7°24'	36°32'	450m	384.8
46	3847128	Soledade	Sol	7° 04'	36° 22'	560m	400.9
47	3847188	Pocinhos	Poc	7° 04'	36° 04'	624m	386.0
48	3847555	Boa Vista	BVs	7° 16'	36° 14'	490m	418.8
49	3848145	Alagoa Nova	ANo	7° 04'	35° 47'	500m	1314.4
50	3848174	Alagoa Grande	AGr	7°03'	35° 38'	180m	967.9

Continuação da Tabela 1

51	3848428	Campina Grande	CGr	7° 13'	35° 52'	508m	765.5
52	3848579	Ingá	Ing	7° 17'	35° 37'	144m	665.2
53	3849006	Mulungu	Mul	7° 02'	35° 29'	100m	843.3
54	3849254	Sapé	Sap	7° 06'	35° 14'	125m	1048.4
55	3849545	Pilar	Pla	7° 16'	35° 17'	35m	903.0
56	3849636	Itabaiana	Itb	7° 20'	35° 20'	45m	780.9
57	3853467	Manaira	Mra	7° 42'	38° 10'	605m	697.8
58	3853499	Princesa Isabel	PIs	7° 44'	38° 01'	660m	836.3
59	3854072	Água Branca	ABr	7° 31'	37° 39'	710m	734.6
60	3855779	Monteiro	Mon	7° 52'	37° 07'	596m	717.1
61	3856314	Sumé	Sum	7° 39'	36° 56'	510m	374.7
62	3856498	Caraúbas	Car	7° 43'	37° 31'	460m	367.1
63	3857044	Cabaceiras	Cab	7° 30'	36° 17'	390m	316.6
64	3858467	Umbuzeiro	Umb	7° 42'	35° 40'	553m	769.2
65	3866128	São João do Tigre	SJT	8° 04'	36° 52'	616m	538.4
66	3940206	Santa Rita	SRt	7° 08'	34° 59'	16m	1472.6
67	3940225	João Pessoa	JPs	7° 07'	34° 53'	5m	1768.2
68	3940819	Alhandra	Alh	7° 26'	34° 55'	49m	1867.0

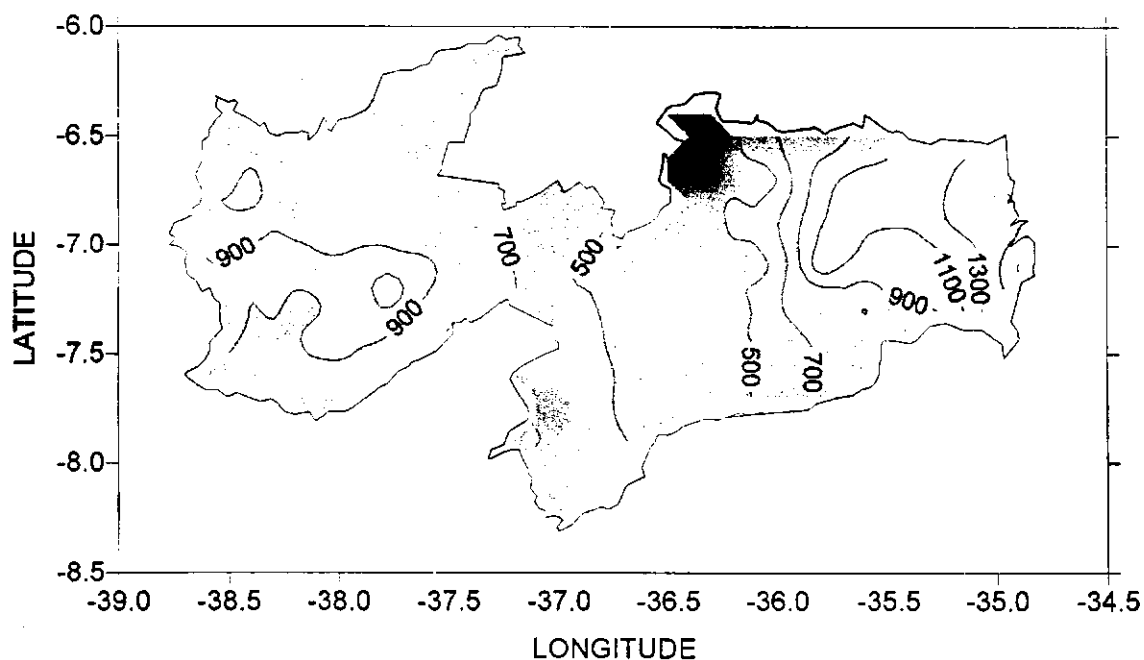


Figura 4.1 - Distribuição espacial do total anual médio da precipitação para o Estado

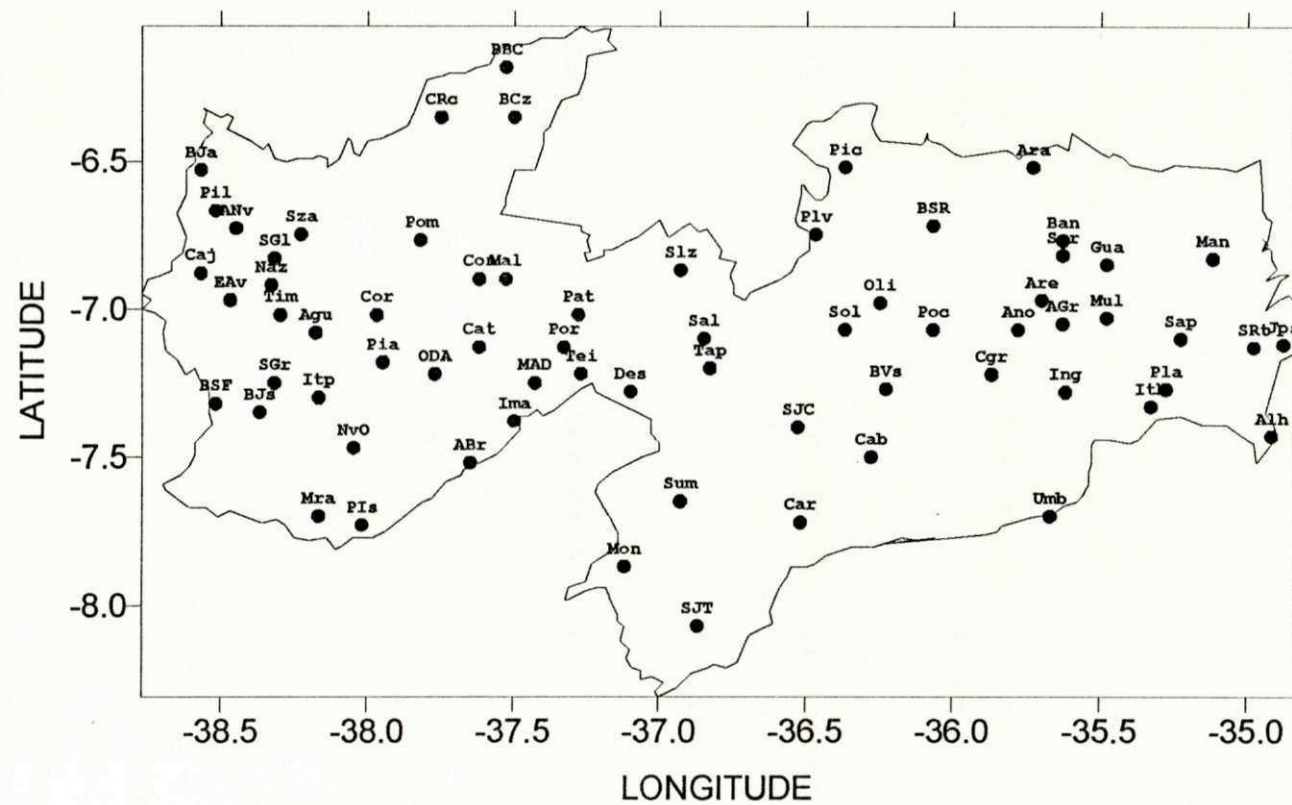


Figura 4.2 - Distribuição espacial das estações (postos) pluviométricas do Estado da Paraíba.
O significado das siglas utilizadas consta da Tabela 4.1.

mais significativos objetivando, desta forma, obter as configurações das contribuições destes fatores sobre o campo de precipitação decendial para as distintas situações estudadas no Estado. Para tal, empregou-se o programa (software) Windsurfer utilizando uma grade (46X26) com espaçamento de $0,1 \times 0,1$ graus pelo método de gradeamento o inverso da distância ao quadrado nos limites de $34,5^\circ$ à 39° de longitude oeste e 6° à $8,5^\circ$ de latitude sul.

4.2.2 - Análise em Agrupamento

O agrupamento dos "p" indivíduos (estações) em "k" classes ou grupos foi feito através dos métodos de classificação hierárquica ascendente proposto por WARD (1963) e Ligação Completa (EVERITT, 1974). Utilizou-se em ambos como medida de similaridade a distância euclidiana e como critério de agregação a inércia intra-classe.

Os resultados dos agrupamentos obtidos pelos processos acima citados estão representados sob a forma de dendograma, com o conjunto das estações distribuído no eixo das abcissas e o nível de agregação entre as mesmas no eixo das ordenadas facilitando, desta forma, a visualização e interpretação dos resultados. Quanto mais elevado o índice de agregação no dendograma, mais heterogêneas são as partes agrupadas; quanto maior o número de classes menor a inércia e, conseqüentemente, o nível de agregação.

Os grupos homogêneos de estações foram determinados por cortes transversais no dendograma. Os cortes foram efetuados inicialmente segundo um critério matemático de inércia. A seguir, eles foram ligeiramente modificados, de forma subjetiva, de modo a permitir um número mais adequado de grupos.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - Distribuição média da precipitação decendial no Estado da Paraíba.

Neste trabalho utilizou-se um período de observação comum a todas as localidades, apesar desse procedimento ter acarretado a redução do número de anos e mesmo do número de estações (postos) disponíveis. Assim sendo, com algumas restrições foi possível selecionar 68 estações (postos) distribuídas em todo o Estado para o período de 1930 a 1993.

A Figura 5.1 ilustra que a variabilidade espacial da precipitação é bastante acentuada na direção leste-oeste e, em particular, a leste do meridiano de 36°W . Valores médios decendiais entre 16 e 24mm se verificam quase dois terços do Estado. A região mais sujeita à ocorrência de secas, que apresenta valores médios decendiais inferiores a 12mm, está centrada em torno do meridiano de $36,5^{\circ}\text{W}$. A partir daí, a precipitação aumenta para o interior, atingindo valores superiores a 24mm no alto sertão de Cajazeiras, e para leste alcançando valores superiores a 40mm na região mais litorânea. Essas irregularidades devem estar relacionadas com os sistemas de grande, meso e pequena escala que atuam na região.

A análise das médias dos totais decendiais dos anos climatológicos quando retirados os anos com fortes eventos de El Niño (5 anos) revelou uma configuração similar àquela obtida para todo o período 1930-93 (Figura 5.1), dispensando maiores comentários. Tal resultado era esperado, tendo em vista o número relativamente pequeno de anos com fortes eventos de El Niño no período estudado. A configuração das médias dos totais decendiais dos anos em que ocorreram eventos fortes de ENOS é mostrada na Figura 5.2.

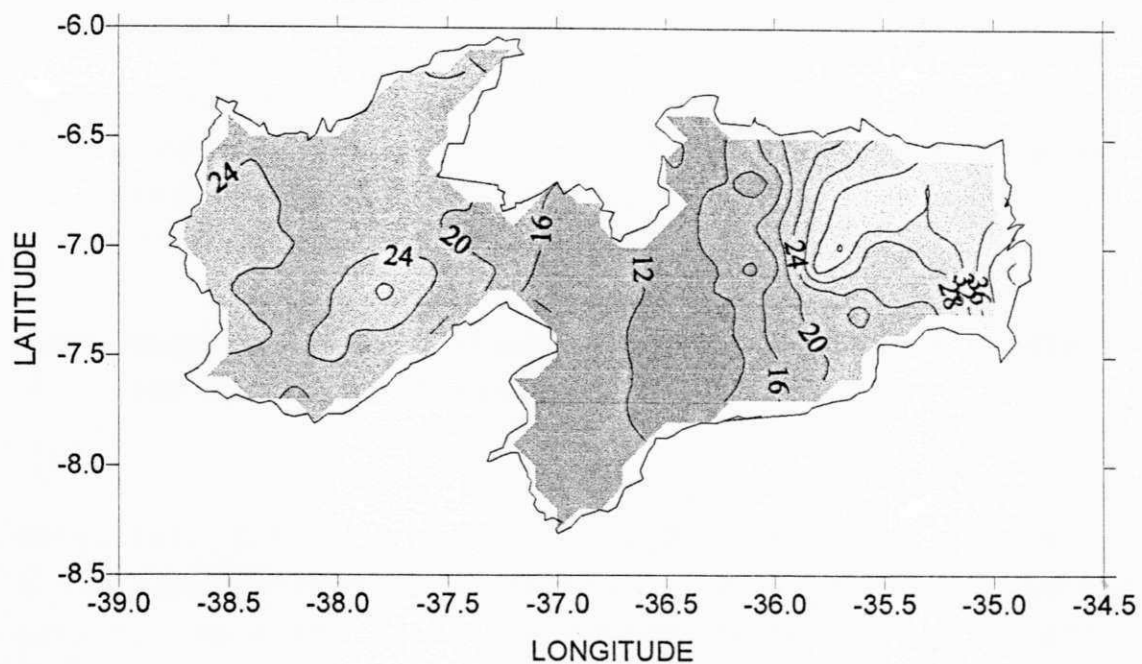


Figura 5.1 - Distribuição espacial da precipitação média decenal (mm) para o período 1930-1993.

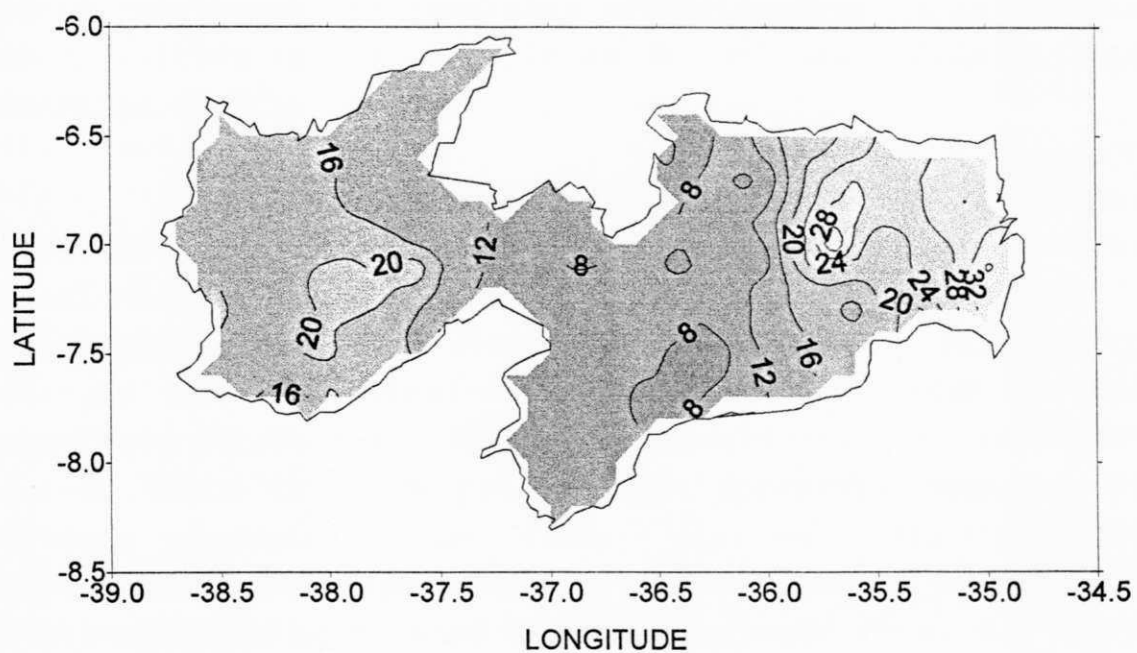


Figura 5.2 - Distribuição espacial da precipitação média decenal (mm) para os anos em que ocorreram eventos fortes de El Niño.

Comparando-se as Figuras 5.1 e 5.2 observa-se valores menores na segunda, o que evidencia que eventos fortes de El Niño afetam a distribuição média espacial da precipitação em todo o Estado.

5.2 - Regionalização através de componentes principais (CP's): série climatológica

A matriz $\mathbf{X}$ de dados do campo da precipitação decendial, dispostos numa matriz $\mathbf{X} = (X_{ij})$ com dimensão $n \times p$, n indicando o número de decêndios ($n = 36$) e p o número de estações ($p = 68$), onde o elemento genérico X_{ij} representa o valor do i -ésimo decêndio ($i=1, \dots, n$) da j -ésima estação ($j=1, \dots, p$). Determinou-se então a matriz de correlação $\mathbf{R}$ e os seus respectivos autovalores e autovetores. O número escolhido de autovalores para a análise em componentes principais foi determinado pelo critério de truncamento de KAISER, que considera como mais significativos os autovalores cujos valores sejam superiores à unidade (ALDAZ, 1984; GARAYALDE et alii, 1986).

A análise em componentes principais foi aplicada à matriz de correlação obtendo-se os fatores rotacionados e não rotacionados para os dados de precipitação decendial. A aplicação da ACP aos dados não rotacionados resultou na retenção dos dois primeiros autovetores associados aos dois primeiros autovalores mais significativos. Os resultados mostram que o campo de precipitação apresenta comportamento bastante homogêneo, de forma que as duas primeiras componentes são responsáveis pela variância do regime anual da precipitação acumulando 96,5% da variação total dos dados. Por outro lado, após submetidos a uma rotação VARIMAX os resultados obtidos evidenciam que os dois primeiros autovetores explicam a totalidade da variância dos dados, ou seja, 100%.

A Tabela 5.1 mostra que as duas primeiras componentes principais associadas aos dois primeiros autovalores mais significativos acumulam cerca de 96% da variância total da série que é, portanto, bem representadas pelos dois primeiros autovetores.

A Figura 5.3 mostra os autovalores em função do número de componentes principais. Nota-se que, da terceira componente em diante, a curva se aproxima de zero, indicando que o restante das componentes tem contribuição mínima na descrição da variância. Isto equivale a considerar apenas as duas primeiras componentes, pois elas explicam quase que a totalidade da variância espacial da série.

O comportamento espacial foi examinado pela distribuição dos fatores de ponderação f_{kj} das componentes principais. As Figuras 5.4 e 5.5 ilustram as distribuições dos fatores referentes aos autovetores com $k = 1$ e $k = 2$ ou seja, primeiro e segundo fatores de ponderação.

A Figura 5.4 mostra a distribuição espacial dos fatores de ponderação que explicam cerca de 76% da variância total dos dados. Nesta primeira direção principal a distribuição espacial da precipitação é quase homogênea a oeste do meridiano de $36,5^{\circ}\text{W}$. A homogeneidade diminui para leste, sendo que correlações inferiores a 0,8 definem a faixa litoral leste do Estado. A pequena variação dos valores de correlação no Estado sugere uma associação entre esta CP e sistemas de grande escala como a zona de convergência intertropical (ZCIT) e os vórtices ciclônicos da alta troposfera, com predominância do primeiro. Por outro lado, a segunda direção principal (Figura 5.5), que representa 20,1% da variância total, não se apresenta homogênea em todo o Estado. Este segundo fator de ponderação permitiu detectar a existência de regiões mais específicas, ou seja, a zona de transição marcada pela linha zero situada em torno de $36,5^{\circ}\text{W}$.

Tabela 5.1 - Sequência de autovalores na ordem decrescente e a contribuição (em %) à variância total do campo de precipitação para $n = 68$ estações para os dados não rotacionados.

FATOR	AUTOVALOR	VARIÂNCIA (%)	Var. Total Acumulada (%)
1	51,96	76,42	76,42
2	13,66	20,08	96,50
3	0,42	0,62	97,12
4	0,29	0,43	97,55
.	.	.	.
.	.	.	.
68	.	.	100

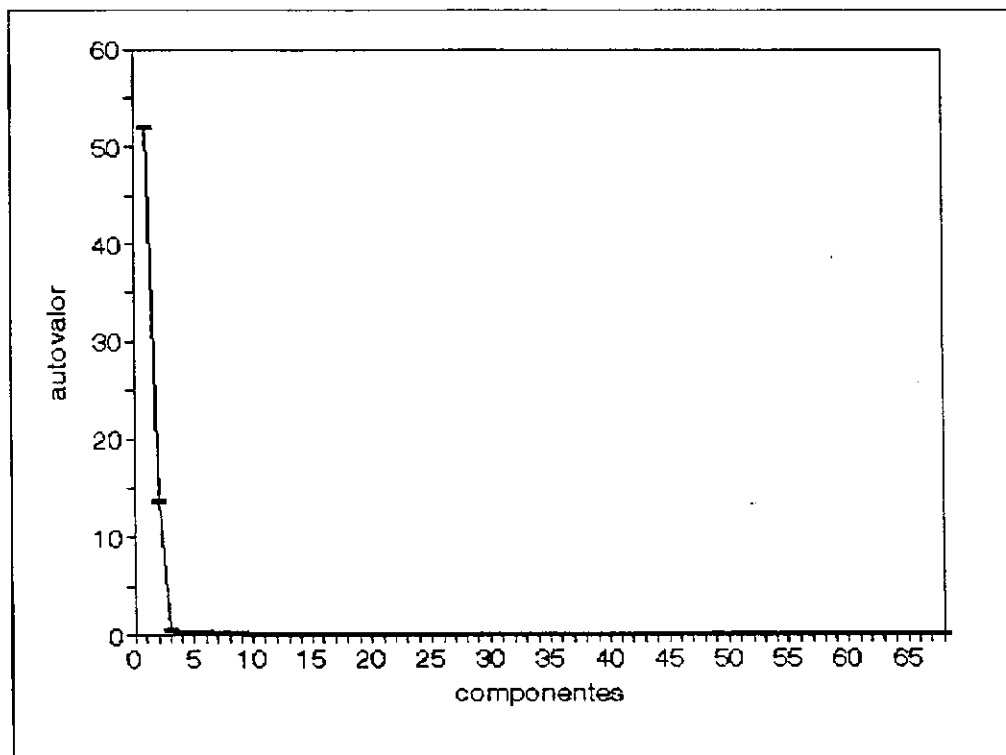


Figura 5.3 - Curva de autovalores em função das CP's.

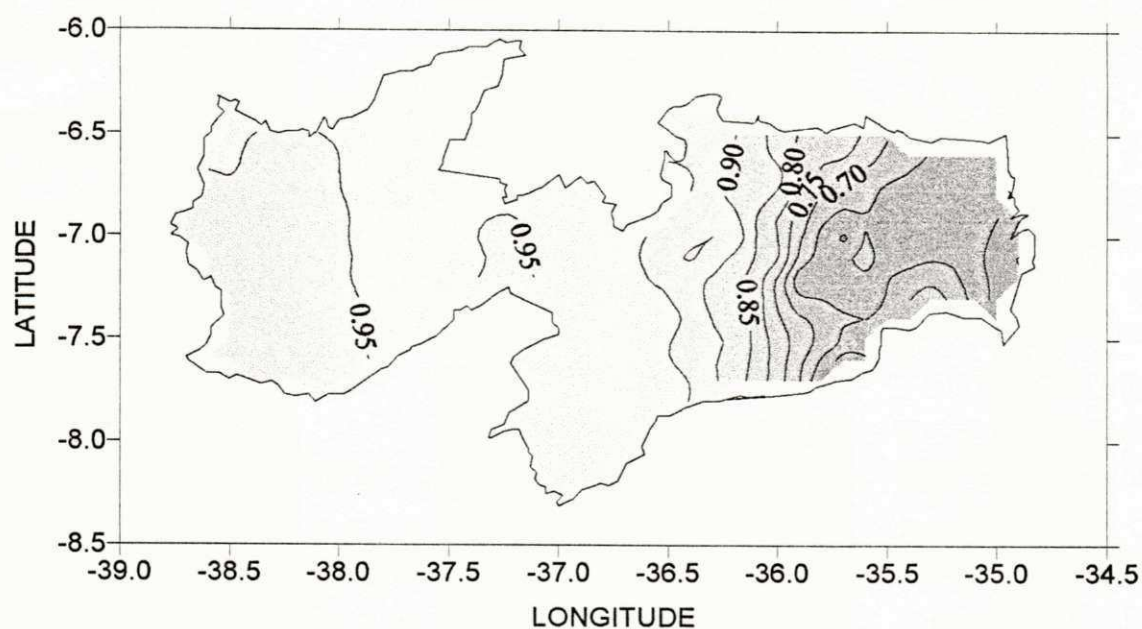


Figura 5.4 - Distribuição espacial do primeiro fator de ponderação explicando 76,4% da variância total dos dados médios decendiais. O intervalo de análise é de 0,05.

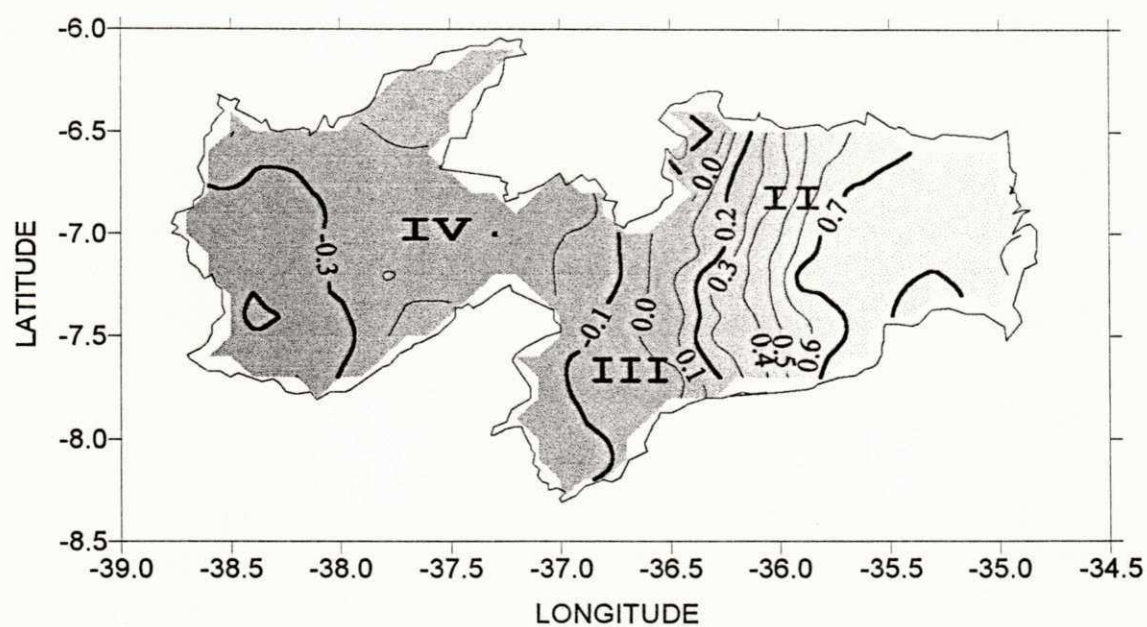


Figura 5.5 - Distribuição espacial do segundo fator de ponderação explicando 20,1% da variância total dos dados médios decendiais. O intervalo de análise é de 0,1.

Os fatores de ponderação f_{2j} (Figura 5.5) aumentam progressivamente para leste atingindo valores mais elevados no litoral e para oeste, com comportamento oposto, abrangendo as localidades do sertão de Cajazeiras.

Observa-se uma semelhança muito acentuada entre os altos índices de precipitação média dos totais decendiais (Figura 5.1) na parte leste do Estado e os fatores de ponderação, sugerindo uma associação entre esta CP e a penetração no Estado de sistemas de grande, meso e pequena escala.

A Figura 5.6 mostra a marcha anual (temporal) das duas primeiras componentes principais decendiais. A primeira CP (Figura 5.6a) apresenta contribuições positivas de fevereiro a maio, atingindo seu valor mais alto no último decêndio de março. Seu mínimo ocorre no mês de outubro. Por outro lado, as contribuições positivas da segunda CP (Figura 5.6b) encontram-se nos meses de abril a agosto, atingindo valores mais elevados em maio e junho. O mínimo da segunda CP ocorre em fevereiro.

A análise das Figuras 5.4 e 5.6a permite concluir que, a nível da primeira componente, o ciclo anual da precipitação apresenta contribuições positivas maiores nos meses de março-abril, atingindo o máximo no terceiro decêndio de março. Conseqüentemente, os valores mais altos de correlação vistos no oeste do Estado devem estar associados à precipitação causada pela ZCIT, principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas no trimestre mais chuvoso (FMA) do sertão e alto sertão da Paraíba. A mesma análise feita para a segunda componente (Figuras 5.5 e 5.6b) mostra contribuições positivas deslocadas para abril-agosto, evidenciando desta maneira a dessemelhança no regime pluviométrico da parte leste e oeste do Estado.

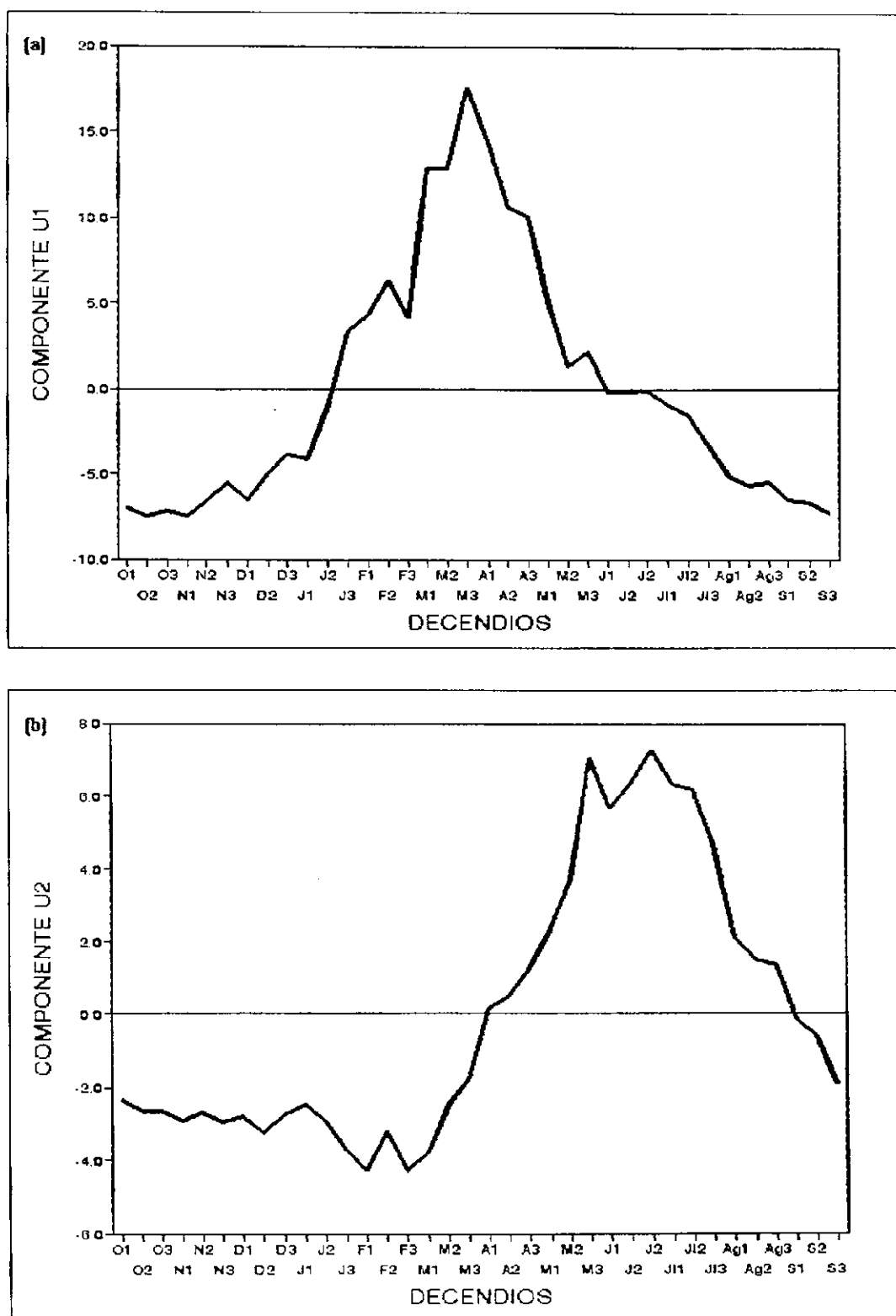


Figura 5.6 - Comportamento temporal da primeira CP (a) e da segunda CP (b).

A presença de valores mais altos de correlação na extremidade leste do Estado sugere que essa componente está associada a sistemas atmosféricos que provocam chuva preferencialmente no leste do Estado tais como os distúrbios de leste, os sistemas de brisa e suas interações. Por outro lado, considerando as Figuras 5.6a-b e 5.7, nota-se que a primeira e a segunda CP podem ser consideradas como uma primeira aproximação às relações lineares existentes na série de dados decendiais, sendo que o ciclo anual descreve o regime médio predominante no conjunto de dados do Estado.

A análise do comportamento temporal das duas primeiras direções principais evidencia a dessemelhança entre os regimes de precipitação da parte leste (litoral) e da parte oeste (sertão) do Estado.

A determinação de regiões homogêneas do ponto de vista da precipitação admite mais de um critério, dependendo dos fins e do grau de detalhamento desejado. Nesta primeira aproximação utilizou-se a análise semi-subjetiva da primeira e segunda CP's e dos fatores de ponderação. A análise limitou-se ao cruzamento de informações dos fatores de ponderação $f_{(1,2)j}$ de acordo com o seu sinal, de forma que tivessem maior correlação com as respectivas CP's. Observando subjetivamente o comportamento das CP's, $U_1(t)$ e $U_2(t)$ (Figuras 5.6a e b), conjuntamente com as distribuições espaciais dos fatores de ponderação $f_{(1,2)j}$ (figuras 5.4 e 5.5) ficam determinadas cinco sub-regiões homogêneas (Figura 5.5). Essa subdivisão do Estado é resultado da influência de diversos fatores dentre os quais se destacam a circulação atmosférica ou, em outras palavras, o vento, o relevo e o contraste térmico entre continente e oceano.

A sub-região I compreende a faixa úmida na parte mais oriental que se estende desde o litoral até o declive oriental do Planalto da Borborema, com totais médios

decendiais variando entre 32 e 44mm e estação chuvosa no outono e inverno. O Planalto da Borborema propriamente dito engloba as sub-regiões II e III, tendo totais médios decendiais entre 12 e 24mm e estação chuvosa no verão e outono. A parte ocidental do Estado, beneficiada com totais decendiais médios entre 20 e 24mm tem seu período chuvoso no verão e outono e compreende as sub-regiões IV e V.

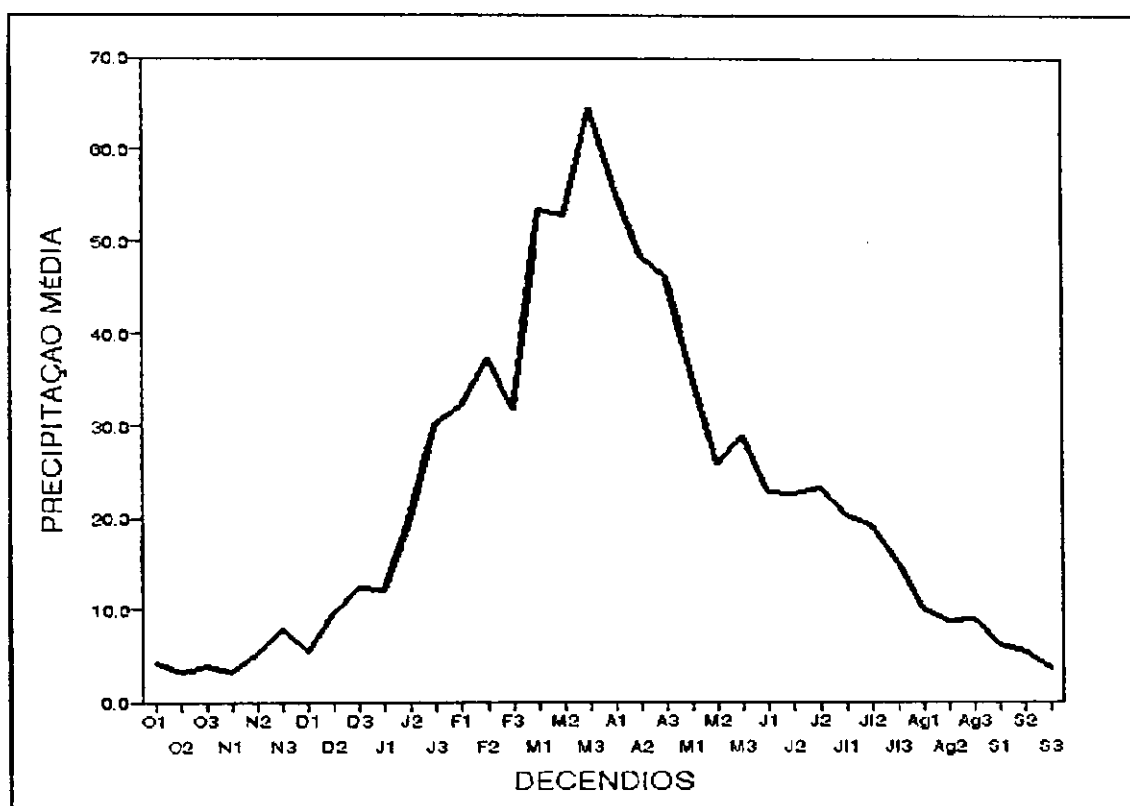


Figura 5.7 - Comportamento temporal da precipitação média do total decendial (mm) para o período 1930/93.

5.3 - Regionalização através de componentes principais: série climatológica retirados os anos com eventos fortes de ENOS

A aplicação da ACP aos dados após a retirada dos anos em que ocorreram eventos fortes de El Niño permitiu reter cerca de 96% da variabilidade do conjunto inicial com a utilização das duas primeiras componentes. Uma rotação VARIMAX também mostrou duas componentes principais retidas. Os coeficientes bem como as respectivas variâncias acumuladas encontram-se na Tabela 5.2.

As configurações obtidas para estes autovetores são similares àquelas obtidas para os dados médios decendiais climatológicos dispensando assim maiores comentários.

Tabela 5.2 - Percentagens das variâncias associadas com os dois primeiros fatores para os dados decendiais médios após a retirada dos anos com ENOS.

FATOR	NÃO ROTACIONADOS		ROTACIONADOS	
	Variância	Var.Acum.	Variância	Var.Acum.
I	76,5(%)	76,5(%)	79,5(%)	79,5(%)
II	19,7(%)	96,3(%)	20,5(%)	100(%)

5.4 - Regionalização através de componentes principais: conjunto dos anos com eventos fortes de ENOS

Neste trabalho, além da análise climatológica, levou-se em consideração anos anômalos, ou seja, anos em que ocorreram fortes eventos de ENOS. Espera-se que apesar da amostragem pequena (cinco anos), os resultados obtidos sejam representativos da distribuição temporal e espacial da precipitação em anos como os aqui considerados.

O procedimento empregado foi o mesmo adotado para a série climatológica. A aplicação da ACP ao conjunto de anos com eventos fortes de ENOS revelou a existência de seis autovetores mais significativos, com base no mesmo critério adotado anteriormente (KAISER). Como pode ser visto na Tabela 5.3, os três primeiros fatores, após rotação VARIMAX, explicam cerca de 92% da variância espacial total dos dados.

O comportamento geral da precipitação no Estado e do conjunto dos agentes responsáveis pela variabilidade espacial e temporal da precipitação (figuras 5.9, 5.10 e 5.11) é representado pela distribuição espacial do primeiro fator de ponderação f_{1j} da primeira CP que explica 63,9% da variância espacial total dos dados (Tabela 5.3). É evidente que a distribuição do primeiro fator de ponderação é bastante homogênea, já que ele assume valores entre 0,7 e 0,8 (Figura 5.9). A sobreposição das Figuras 5.8 e 5.9 mostra que o ciclo anual tem contribuições positivas maiores nos meses de fevereiro, março, abril e meados de maio, trimestre mais chuvoso na parte oeste do Estado, evidenciando desta forma dois regimes de precipitação (leste e oeste).

As Figuras 5.10 e 5.11 ilustram a distribuição dos fatores de ponderação referentes aos autovetores $k=2$ e $k=3$, ou seja, 2ª e 3ª direção principal, respectivamente. A 2ª direção principal tem um comportamento que não é homogêneo em

todo o Estado. O fator de ponderação delimita uma zona de transição entre 36° e 37°W , onde $f_{2j}=0$, havendo contribuições positivas a oeste e negativas a leste da mesma.

É interessante observar na segunda componente principal $U_2(t)$ (Figura 5.8), que seu comportamento temporal é bastante irregular. Ela tem contribuições positivas menores de outubro à fevereiro, torna-se negativa no primeiro decêndio de março e volta a ser positiva, com maior intensidade do, 2º decêndio de março até o 1º decêndio de abril, sendo negativa no restante do ano hidrológico. Tais variações não se verificam na série climatológica (Figura 5.6). A variabilidade temporal dessa CP pode ser uma característica de anos em que ocorre o fenômeno ENOS. Entretanto, parte dessa variabilidade deve estar relacionada com o pequeno tamanho da amostra utilizada (5 anos).

A terceira direção principal evidencia a existência de regiões mais específicas (Figura 5.11), uma isolinha zero ($f_{3j}=0$) delimita a região do Cariri e Curimataú do Agreste, e outra delimita do Sertão de Piancó, Serra de Teixeira e Alto Sertão.

A análise subjetiva dos três primeiros fatores de ponderação com U_{1j} , U_{2j} e U_{3j} permitiu detectar a existência de 5 regiões com comportamento semelhante de precipitação definidas com base na distribuição vista na Figura 5.11. Vale salientar que a ACP constitui uma ferramenta auxiliar no estudo dessa variável meteorológica. Desta forma o conhecimento da climatologia e dos sistemas atuantes na região é imprescindível na análise dos resultados obtidos. As outras direções principais com pequenas contribuições à variância podem ser interpretadas como ruído, no caso desprezadas, já que as três primeiras CP's não rotacionadas são suficientes por acumularem 81,8% da variância total.

Tabela 5.3 - Percentagens das variâncias associadas com os seis primeiros fatores dos dados médios do conjunto de anos com eventos fortes de ENOS.

FATOR	Não Rotacionados		ROTACIONADOS	
	Variânc. %	Var.Acum. %	Variânc. %	Var.Acum. %
I	63,9	63,9	72,1	72,1
II	13,0	76,9	14,5	86,6
III	4,9	81,8	5,3	91,9
IV	3,5	85,3	3,8	95,7
V	2,4	87,7	2,5	98,2
VI	1,8	89,5	1,8	100

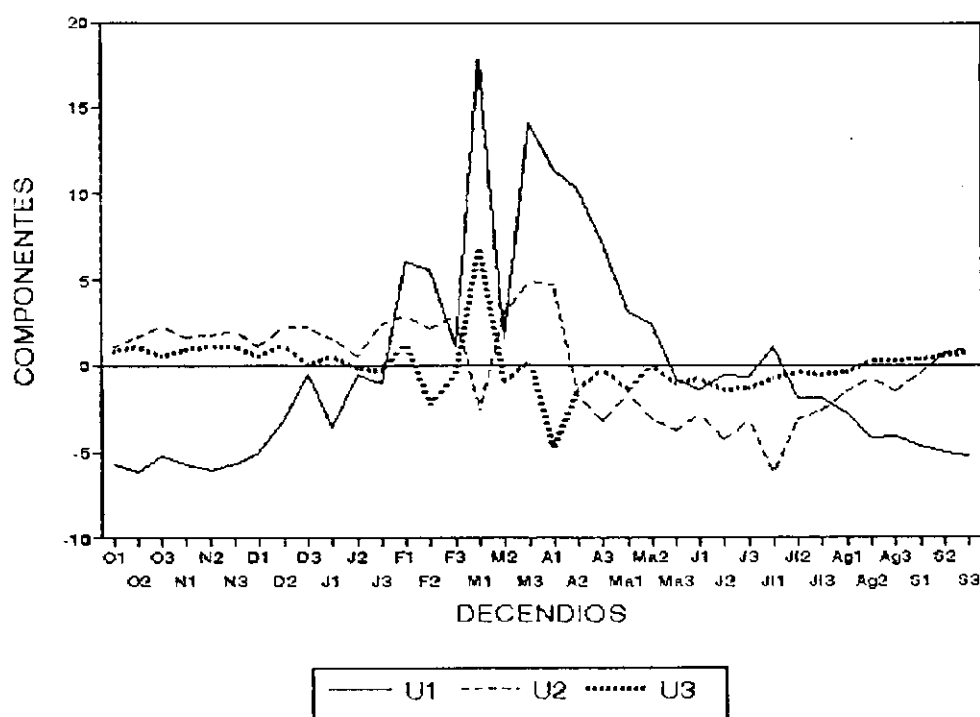


Figura 5.8 - Comportamento temporal das três primeiras componentes para o conjunto de anos com eventos fortes de ENOS.

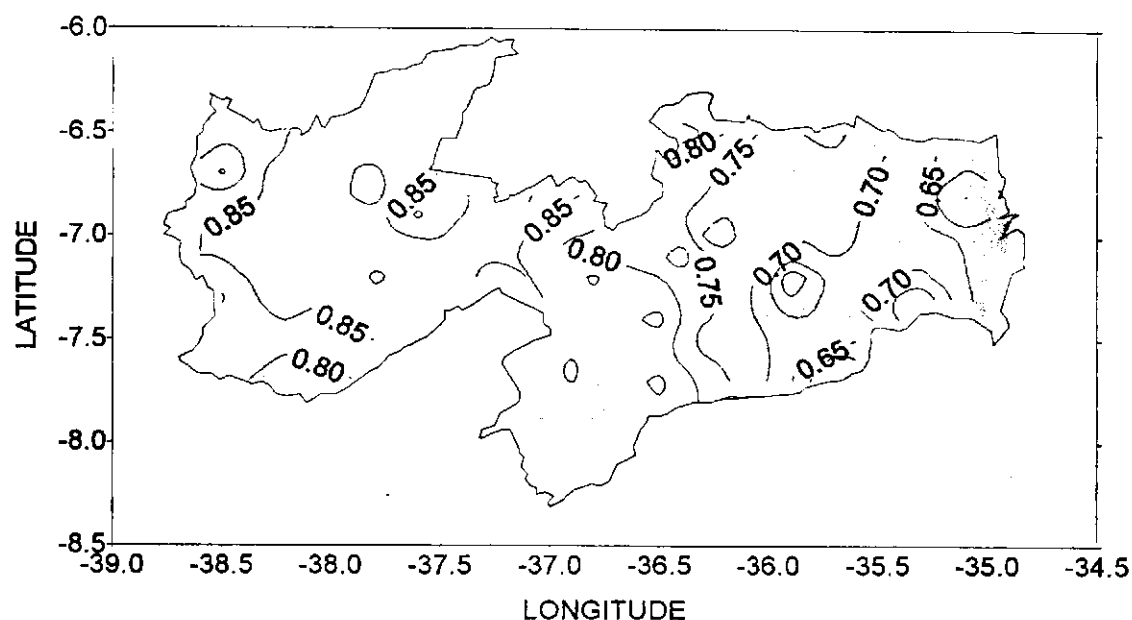


Figura 5.9 - Distribuição espacial do primeiro fator de ponderação, explicando 63,9% da variância total dos dados médios decendiais para o conjunto de anos com eventos fortes de ENOS. O intervalo de análise é de 0,05.

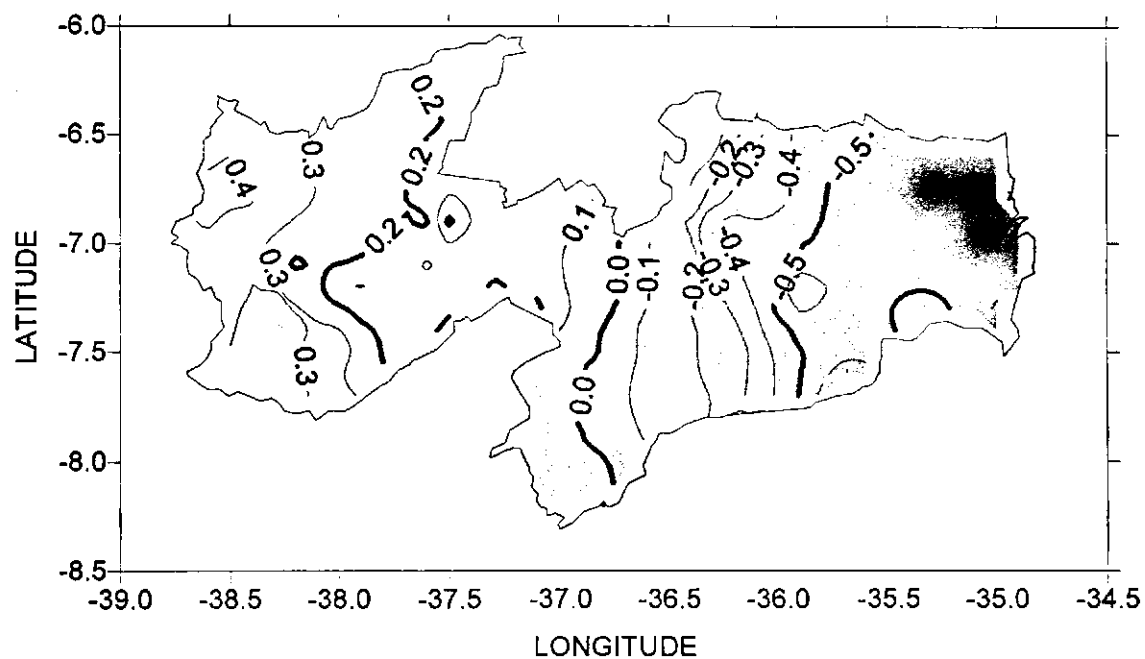


Figura 5.10 - Distribuição espacial do segundo fator de ponderação, explicando 13% da variância total dos dados médios decendiais para o conjunto de anos com eventos fortes de ENOS. O intervalo de análise é de 0,1.

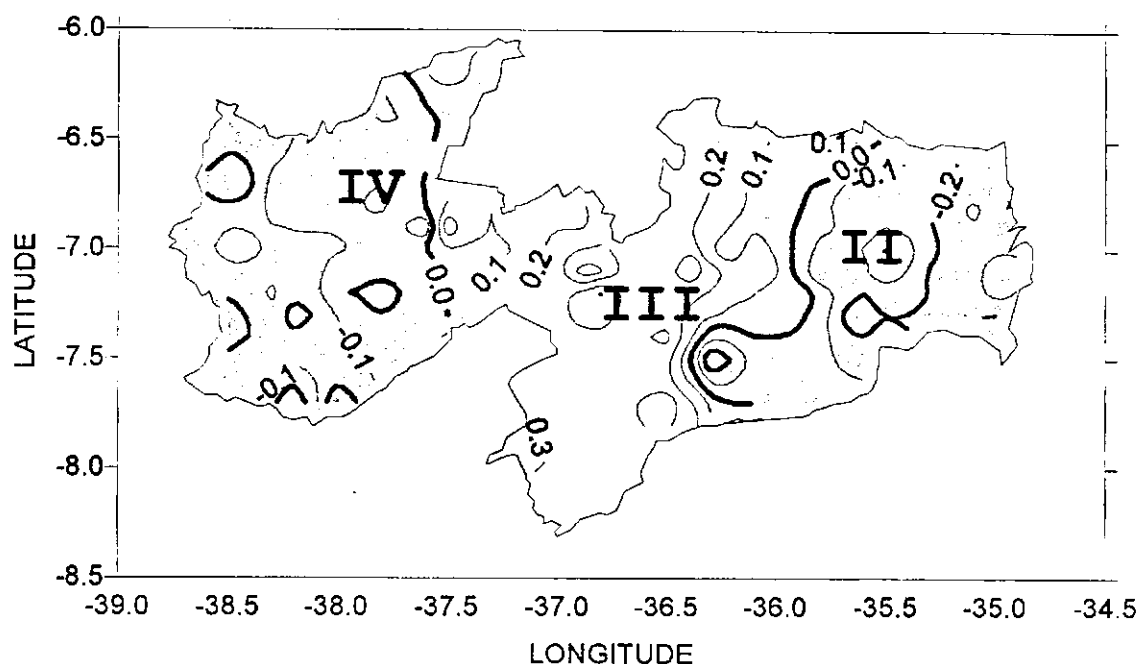


Figura 5.11 - Distribuição espacial do terceiro fator de ponderação, explicando 4,9% da variância total dos dados médios decendiais para o conjunto de anos com eventos fortes de ENOS. O intervalo de análise é de 0,1.

5.5 - Regionalização da precipitação através da Análise de Agrupamentos: série climatológica

A regionalização através da CP's foi baseada na análise subjetiva das componentes principais mais significativas (seção 5.4). Para aumentar o detalhamento dessas regiões homogêneas e diminuir a contribuição da subjetividade na porcentagem de erro, foram aplicadas técnicas objetivas de agrupamento aos fatores de ponderação. Além dos fatores de ponderação, foram agrupados os valores médios decendiais da precipitação para o conjunto de dados. Esses resultados foram obtidos mediante o subprograma Clusters do utilitário SPSS.

5.5.1 - Critério de Agrupamento

As variáveis originais foram dispostas numa matriz de dados $X_{n \times p}$, enquanto que para os fatores de ponderação (no caso das variáveis serem fatores obtidos na ACP), obteve-se uma matriz $F_{n \times p}$. Em ambos os casos, n (número de linhas das matrizes) corresponde ao número de estações, enquanto p (número de colunas das matrizes) corresponde aos decêndios, para a matriz de dados X , e ao número de fatores, para a matriz de fatores F .

O agrupamento das estações foi feito através de vários métodos de agrupamento hierárquico entre os quais estavam o de ligação completa e o de Ward (EVERITT, 1974). A opção feita foi pelas informações obtidas pelo método de Ward.

5.5.2 - Determinação do número de grupos

No método aglomerativo o processo inicia-se com cada indivíduo (estação) fazendo parte de um grupo individual. Eles vão se fundindo uns aos outros, agrupando-se primeiramente aqueles mais semelhantes até formarem um único grupo. O resultado final é obtido sob a forma de dendograma, mostrando as sucessivas fusões de indivíduos (estações) que culminam nos estágios onde todos os indivíduos pertencem a um único grupo.

Nas Figuras 5.12a e 5.12b são mostradas as curvas de inércia intra-classe e seus respectivos saltos sequenciais associados a sucessivos agrupamentos da precipitação média decendial e seus fatores de ponderação mais significativos, para as 68 estações meteorológicas. Cada estágio da partição em K classes indica um nível de agregação. O nível de agregação aumenta a medida que diminui o número de grupos.

O corte no dendograma é efetuado de acordo com a inclinação máxima nas curvas de inércia. Essas curvas são obtidas com o objetivo de auxiliar o pesquisador na definição do número de grupos a escolher. Entretanto, em alguns casos o corte baseado apenas no salto máximo pode sonegar informações importantes no que diz respeito ao conhecimento da região. Sendo assim, para determinação do número de grupos mais refinado, levou-se em consideração o critério intra-classe e o conhecimento prévio da distribuição espacial da precipitação da área em estudo.

O dendograma com seus respectivos cortes e fusões das estações em cada grupo consta na Figura 5.13.

A sobreposição da análise de agrupamento hierárquico aos valores médios decendiais da precipitação e aos fatores de ponderação mais significativos, permite dividir o Estado da Paraíba em seis (6) regiões pluviometricamente homogêneas (Figura 5.14): litoral (grupo I), brejo (grupo II), agreste (grupo III), cariri e curimataú (grupo IV), sertão (grupo V) e alto sertão (grupo VI).

No grupo I, constituído pelas estações de Alhandra, João Pessoa e Santa Rita, os máximos pluviométricos ocorrem no outono e inverno (NIMER, 1989; RAO et alii, 1993). Os índices anuais de precipitação nesta região são sempre superiores a 1.500mm

As estações de Alagoa Grande, Alagoa Nova, Areia, Bananeiras, Guarabira, Mamanguape, Sapé, Serraria pertencem ao grupo II. O regime de chuva deste grupo assemelha-se ao do litoral, porém com alturas pluviométricas anuais menores. Neste grupo os totais pluviométricos se situam entre 1.000 e 1.500mm anuais.

O grupo III engloba as estações de Araruna, Campina Grande, Ingá, Itabaiana, Mulungu, Pilar e Umbuzeiro. Nesta região as precipitações máximas também ocorrem no outono e inverno, influenciada pelo regime de pluviosidade que atinge os grupos I e II, porém com índices pluviométricos anuais variando entre 700 e 1000mm.

O grupo IV está constituído pelas estações (postos) de: Picuí, Pedra Lavrada, Barra de Santa Rosa, Olivêdos, Pocinhos, Soledade, Boa Vista, São João do Cariri, Cabaceiras, Caraúbas, Sumé, Monteiro, São João do Tigre, Taperoá, Desterro e Salgadinho. Situado na parte central do Estado, este setor apresenta os menores índices de chuva, com totais anuais variando entre 300 e 700mm. O período chuvoso deste grupo ocorre no final do verão e outono, com máximo de precipitação em março e abril.

O grupo V engloba as localidades de: Santa Luzia, Teixeira, Patos, Imaculada, Malta, Condado, Água Branca, Pombal, Manaíra, Serra Grande, Catolé do Rocha, Belém de Brejo do Cruz e Brejo do Cruz. Climatologicamente esta região do Estado apresenta o seu período chuvoso centrado no trimestre de fevereiro a abril (NIMER, 1989). Em média, neste setor, 80% do total anual de precipitação se concentra nos seis primeiros meses do ano, enquanto os 20% restante se distribuem ao longo dos outros seis meses.

O grupo VI está constituído pelas estações (postos) de: Princesa Isabel, Nova Olinda, Bonito de Santa Fé, Itaporanga, Olho D'Água, Catingueira, Coremas, Souza, Timbaúba, Nazarezinho, Cajazeiras, Antenor Navarro, Barra do Juá, Pilões e São Gonçalo. Os índices pluviométricos anuais neste setor do Estado variam entre 700 e 1.200mm. Sua estação chuvosa ocorre no verão e outono, com precipitação máxima nos meses de fevereiro a abril.

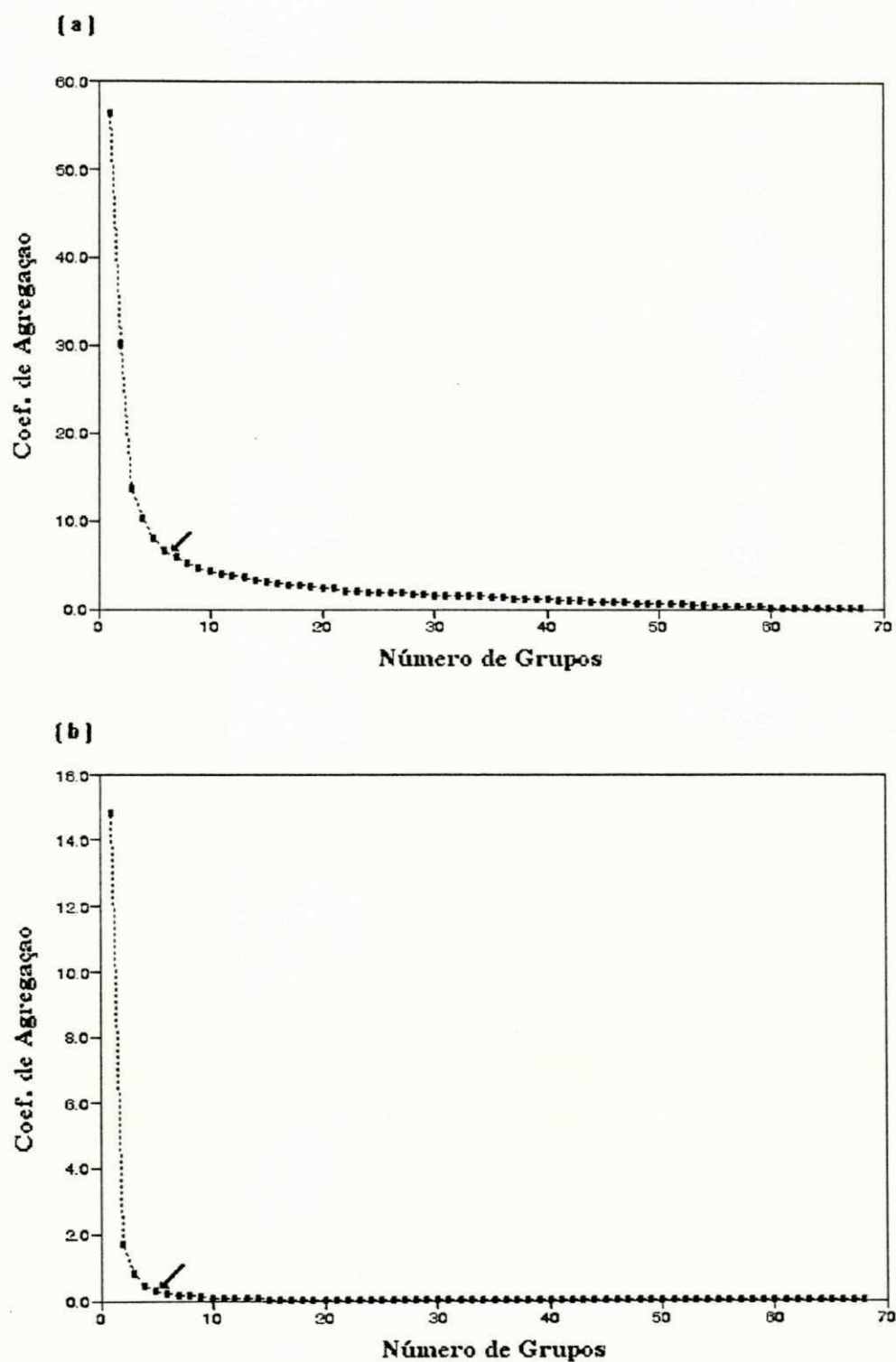


Figura 5.12 - Curvas da inércia referentes a: (a) dados dos anos climatológicos e (b) fatores de ponderação associados aos anos climatológicos.

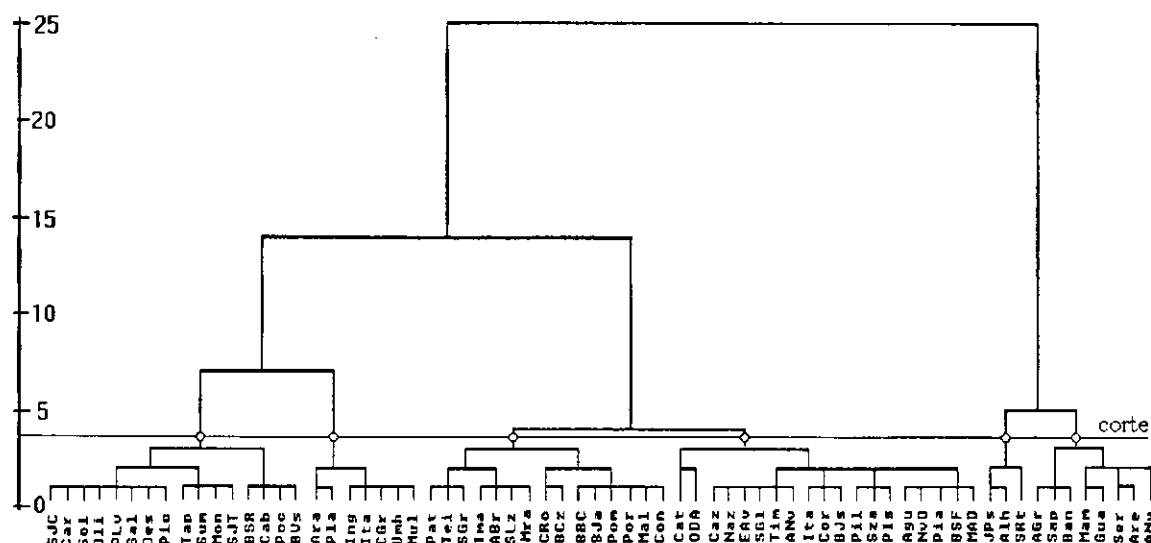


Figura 5.13 - Dendrograma referente aos dados decenciais médios utilizando o método de WARD.

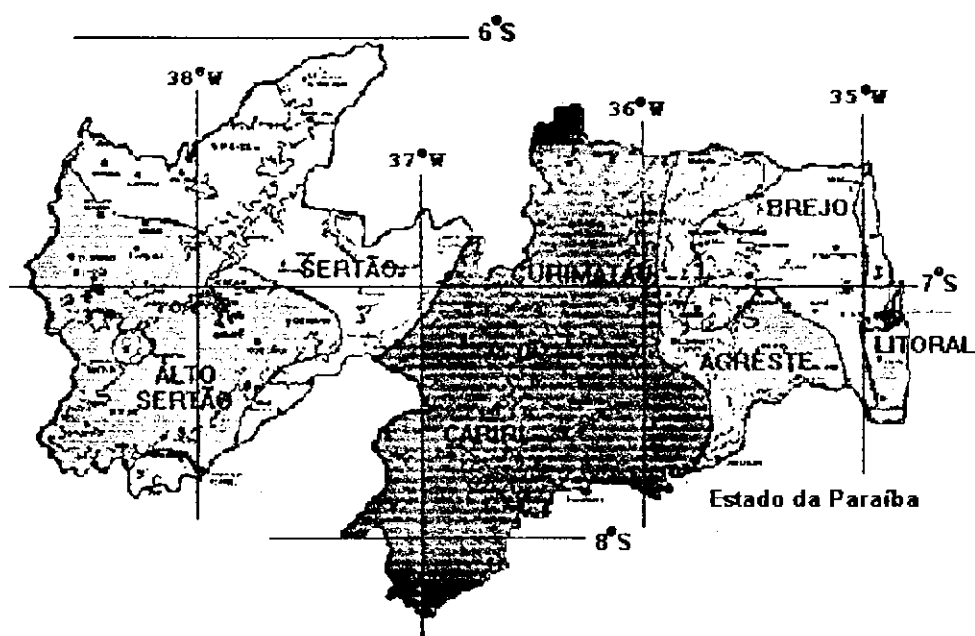


Figura 5.14 - Zoneamento da distribuição espacial da precipitação média decencial no Estado da Paraíba, a partir da sobreposição da análise dos fatores de ponderação e valores médios decenciais do período 1930/93.

5.6 - Regionalização da precipitação através da Análise de Agrupamentos: conjunto dos anos com eventos fortes de ENOS

Empregou-se nesta situação o mesmo procedimento de regionalização descrito no item 5.5. Trata-se, portanto, de agrupar os valores médios decendiais da precipitação e seus respectivos fatores de ponderação mais significativos, extraídos pela análise em componentes principais, para anos considerados anômalos.

Analizando o dendograma obtido pelo método aglomerativo proposto por WARD (Figura 5.16), optou-se pelo número de grupos que melhor definisse as sub-regiões no Estado, utilizando os mesmos critérios adotados para os anos climatológicos.

As informações obtidas através da análise objetiva de agrupamentos para valores médios decendiais e fatores de ponderação mais significativos, sugerem a existência de cinco regiões genéricas e algumas micro-regiões no Estado. Nestes anos secos, as regiões genéricas se conservam, embora sofram algumas alterações significativas, como por exemplo, o grupo do agreste avança na direção do litoral formando um único grupo com o brejo. Já na parte oeste do Estado o sertão penetra de maneira significativa na região do cariri e curimataú (figura 5.17).

Os resultados da análise para estes anos anômalos selecionados vêm se somar aos obtidos no item 5.4, evidenciando que todo o Estado da Paraíba é afetado pelo evento ENOS, influenciando diretamente na distribuição espacial da precipitação.

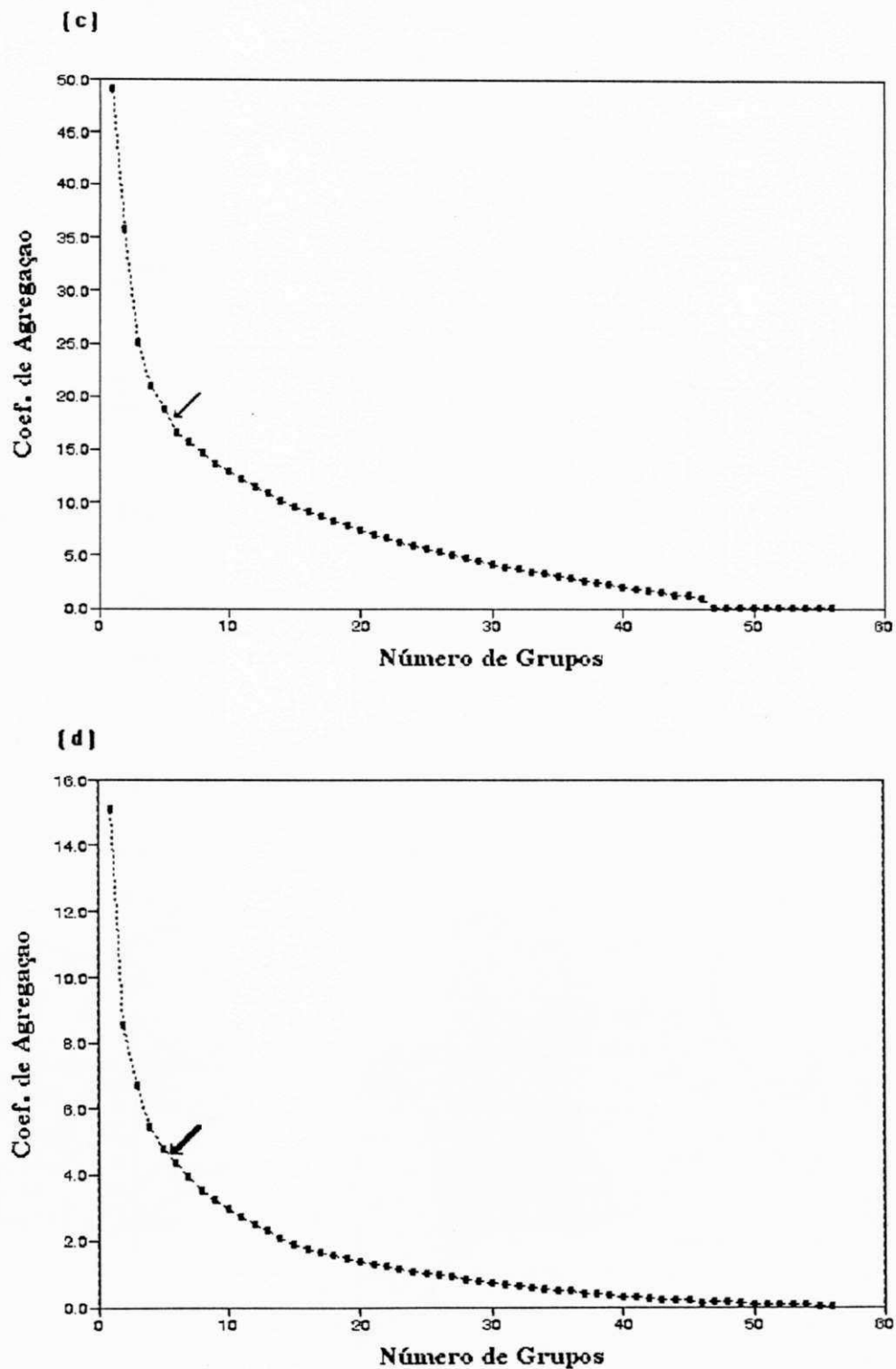


Figura 5.15 - Curvas da inércia referentes a: (c) dados médios dos anos com eventos fortes de ENOS e (d) fatores de ponderação associados aos anos com ENOS.

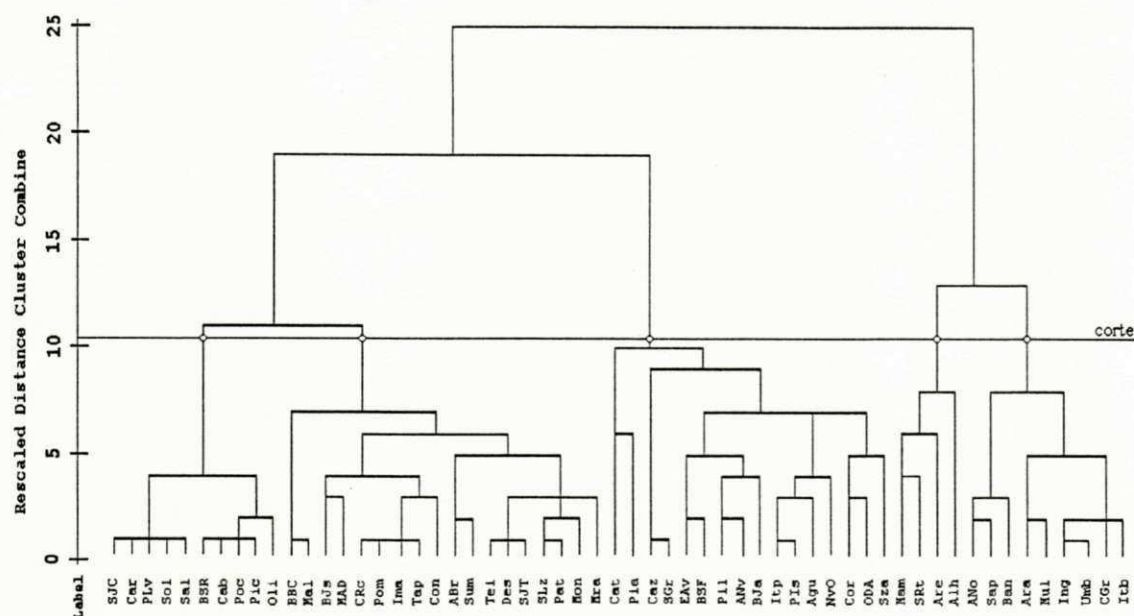


Figura 5.16 - Dendrograma referente aos dados médios decenciais dos anos com eventos fortes de El-Niño utilizando o método de Ward.

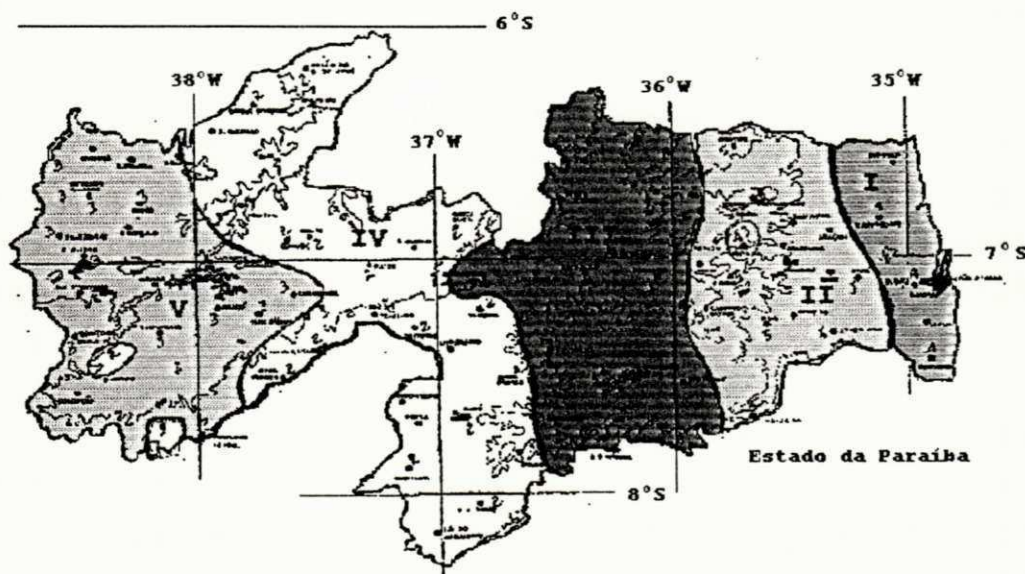


Figura 5.17 - Zoneamento da distribuição espacial da precipitação média decenal no Estado da Paraíba, a partir sobreposição da análise dos fatores de ponderação $f_{(1,2,3)}$ e valores médios decenciais para o conjunto dos anos com eventos fortes de El Niño.

6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 - CONCLUSÕES

A aplicação da ACP para anos climatológicos dos valores médios dos totais decendiais mostrou que duas componentes explicam 96% da variância espacial total enquanto que para anos de eventos fortes de ENOS três componentes explicam 82% da variância espacial.

As componentes $U_k(t)$ dos dados climatológicos mostram particularidades sazonais de cada componente, associando seus picos máximos ao trimestre mais chuvosos. Estas duas primeiras componentes explicam a marcha anual da precipitação, para os dois principais regimes de precipitação do Estado. A primeira CP evidencia correlações das chuvas proveniente da ZCIT (chuvas de verão e outono) atuando de forma mais significativa na parte oeste do Estado enquanto que a segunda CP está relacionada com sistemas atmosféricos tais como os distúrbios de leste, os sistemas de brisa e suas interações na parte leste do Estado.

A regionalização através da ACP dos autovetores mais significativos seguida da análise de agrupamentos, usando o método de Ward, para anos climatológicos, revelam a existência de cinco (06) sub-regiões no Estado da Paraíba (Figura 5.14).

A regionalização conjunta entre as CP's mais significativas obtida para os anos com eventos fortes de ENOS seguida pela análise de agrupamento através do método de Ward classifica o Estado em cinco (05) sub-regiões homogêneas (Figura 5.17). Observa-se que nesta situação as regiões homogêneas sofreram alterações nas distribuições temporal e espacial, quando comparadas com os anos climatológicos. Para se obter uma melhor aproximação na delimitação das regiões para esse tipo de análise faz-se

necessário aumentar o número de anos em que ocorre o fenômeno ENOS.

Os resultados obtidos para os dois conjuntos de dados, ou seja, anos climatológicos e anos com eventos fortes de ENOS, evidencia que existem diferenças significativas na distribuição espacial da chuva no Estado da Paraíba.

6.2 - SUGESTÕES

- * Acrescentar uma nova variável (ex: ATSM, IOS, vento), pois ao se considerar médias decendiais climatológicas torna-se interessante a combinação de mais de uma variável.
- * Introduzir eventos ENOS do tipo moderado, pois desta forma aumenta-se o número de anos do subconjunto b.
- * Introduzir estações dos Estados vizinhos que fazem fronteira com a PB (CE, RN e PE).

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATLAS CLIMATOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1984. (Sem paginação).
- ACEITUNO, P. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. **Monthly Weather Review**, 116: 505-524, 1988.
- ALDAZ, L.I. Classificacion de regiones climaticas por medio de los vectores propios cronologicos de la variacion intra-anual de la precipitacion. **Revista de Meteorologia**, A.M.E., 1:7-27, 1984.
- ANYADIKE, R.N.C. A Multivariate Classification and regionalization of west Africa climates. **Journal of Climatology**, 7: 157-164, 1987.
- BOUROCHE, J.M. & SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982. 116p. [Tradução de: L'analyses des données, 1980, Paris, Presses Universitaires de France, 464p].
- BRAGA, C.C. Análise em Componentes Principais da precipitação média decendial no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO, 1, CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 5, 1992. Madrid. Instituto Nacional de Meteorologia. **Anais**, 1: 292-298, 1992.
- BRAGA, C.C. & SILVA, B.B. da, Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, 1990, Salvador. Sociedade Brasileira de Meteorologia. **Anais**, 1:200-205, 1990.

CAVIEDES, C.N. Secas and El Niño: Two simultaneous climatical hazards in South America. **Proceedings the Association of American Geographers**, 5: 44-49, 1973.

CEBALLOS, J.C. e BRAGA, C.C. Missing data assessment in a solarimetric network. **International Journal of Climatology**, 15: 325-340, 1995.

CURI, P.R. Análise de agrupamento complementada com ordenação pelos componentes principais e análise de variância multivariada. Um exemplo biológico. **Ciência e Cultura**. 37(6): 879-888, 1985.

DIDAY, E. ; LEMAIRE, J. ; POUGET, J. ; TESTU, F. **Éléments D'analyses des donnés**. Paris: Dunod-Bordas, 464p, 1982.

EVERITT, B. **Cluster Analysis**. London: Heinemann Educational Books Ltd, 1974. 122p.

FERNAU, M.E. and SAMSON, P.J. Use of cluster analysis to define periods of similar meteorology and precipitation chemistry measurements over the eastern in North America, Part I; transport patterns. **Journal Applied Meterology**, 29: 735-750, 1990.

—, Use of cluster analysis to define periods of similar meteorology and precipitation chemistry measurements over the eastern in North America, Parte II; Precipitation patterns and pollutant deposition. **Journal Applied Meterology**, 29: 751-761, 1990.

GAMA, Maurício de Pinho. **Bases da análise de grupamentos**. Brasília: Departamento de Estatística da Universidade de Brasília, 1980. 229p. (Dissertação, Mestrado em Estatística).

GARAYALDE, E.J.G.; SILVA, M.G.A.J. da; TAVARES, A. de SÁ, Classificação meso-climática da região Sul do Brasil pela análise de componentes principais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 4, Brasília, 1986. Sociedade Brasileira de meteorologia, **ANAIS**, 1: 119-124, 1986.

GOSSENS, Chr. Pricipal Component Analysis of Mediterranean Rainfall. **Journal of Climatology**, 5: 379-388, 1985.

HASTENRATH, S. and HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 103(435): 77-92, 1977.

LORENZ, E.N. Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Sci. Rep. nº1, Cambridge, Massachusetts (EUA), Statistical Forecasting Project Department of Meteorology, MIT, 49p., 1956.

NINER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.

PANDIZIC, K. Principal Component Analysis of precipitation in the Adriatic-Pananion area of Yugoslavia. **Journal of Climatology**, 8: 357-370, 1988.

PANDIZIC, K. and KISEGI, M. Principal component analysis of a local precipitation field within the global circulation. **Beitr. Phys. Atmosph.** 63(2): 101-106, 1990.

QUINN, W.H.; ZOFF, D.O.; SHORT, K.S. and YANG, R.T.W.K. Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño and Indonesia droughts. **Fishery Bulletin**. 76(3): 663-678, 1978.

- RAO, V.B.; SATYURTY, P. ; BRITO, J.I.B. de. On the 1983 drought in north-east Brazil. **Journal of Climatology**, 6(1): 43-51, 1986.
- RAO, V. B. and BRITO, J. I. B. de. Teleconnections between the rainfall over Northeast Brazil and the winter circulation of Northern Hemisphere. **Journal**, 123: 951-959, 1985.
- RAO, V.B.; LIMA, M.C. de; FRANCHITO, S.H. Seasonal and interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil, **Journal Climate**, 6: 1754-1723, 1993.
- RONCHAIL, J. La variabilidad de las precipitaciones en los Andes de Bolivia y El Niño-Southern Oscillation. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 2, Belo Horizonte, 1994. Sociedade Brasileira de Meteorologia. **Anais**, 1: 188-191, 1994.
- SANSIGOLO, C.A. Previsão das precipitações sazonais no nordeste através das componentes principais das temperaturas da superfície do Atlântico e Pacífico. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6, Salvador, 1990. Sociedade Brasileira de meteorologia. **Anais**, 1: 243 - 247, 1990.
- SIMONEAU, M., Spatial variability in the water quality of Quebec Rivers, Deselopments in water science statistical aspects of quality monitoring. Ed: El-Shaarawi, A.H. - Kwiatkowski, **R.E. Elsevier**, 1:117-133, 1986.
- TANAKA, M.; TSUCHIYA, A.; NISHIZAWA, T. The empirical orthogonal function analysis of the seasonal an interannual rainfall in Brazil, **Latin American Studies**, 10: 27-45, 1988.

TERRÓN, M.E.P. Aplicación de los componentes principales al análisis de los campos meteorológicos. **Revista Cubana de Meteorología**, 3: 70-75, 1990.

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal American Statistical Association**, 58: 236-244, 1963.

WALKER, G.T. Correlation in seasonal variations of weather VIII: A preliminary study of world weather. In: **Memoirs of the Indian Meteorological Department**, 24, part 4, Calcutta, 75-131, 1923.

—, Correlation in seasonal variations of weather, IX: A further study of world weather. **Memoirs of the Indian Meteorological Department**, 24, part 9, Calcutta, 275-232, 1924.

—, World weather III. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, II, 17: 97-106, 1928.

—, Ceará (Brazil) famines and the general air movement. **Beitr. Phys. Freien Atm.** 14: 88-93, 1928.

WYRTKI, S. The Southern Oscillation, Ocean-Atmosphere interaction and El Nino., **MTS Journal**, 16(1): 3-10, 1981.