

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

DETERMINAÇÃO DE REGIOES HOMOGENEAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

CARMEM TEREZINHA BECKER

436
CAMPINA GRANDE - PB
JUNHO DE 1992

CARMEM TEREZINHA BECKER

DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

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

JUAN CARLOS CEBALLOS
(Orientador)

CELIA CAMPOS BRAGA
(Co - Orientadora)

CAMPINA GRANDE - PB
JUNHO DE 1992



B395d Becker, Carmem Terezinha
Determinações de regiões homogêneas de precipitação e temperatura no Estado do Rio Grande do Sul / Carmem Terezinha Becker. - Campina Grande, 1992.
79 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Meteorologia Climatológica 2. Precipitação - 3. Temperatura - 4. Climatologia Estatística 5. Dissertação I. Ceballos, Juan Carlos II. Braga, Celia Campos III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 551.502.3(043)

DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGENEAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA NO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

CARMEM TEREZINHA BECKER

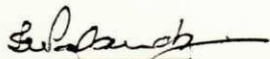
DISSERTAÇÃO APROVADA COM DISTINÇÃO EM 30/6/92

JUAN CARLOS CEBALLOS

Orientador

CÉLIA CAMPOS BRAGA

Co-Orientadora



TAKAKO WATANABE

Membro



BERNARDO BARBOSA DA SILVA

Membro

CAMPINA GRANDE

JUNHO - 1992

Meus pais,
NILDA e ARMANDO,
fiéis companheiros de luta,
dedico-lhes com o meu reconhecimento,
pois sem vocês a minha existência
e deste trabalho não teriam sentido.

Também ofereço este trabalho
aos meus irmãos, sobrinhas, familiares e amigos
que, mesmo distantes, compartilharam deste ideal
e o alimentaram incentivando-me a prosseguir
e nunca desistir daquilo em que acreditava,
fossem quais fossem os obstáculos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a todos aqueles que acreditaram e que de alguma forma contribuíram, para a realização deste estudo. Por outro lado, torna-se relevante salientar algumas pessoas e instituições que colaboraram efetivamente para a conclusão deste.

Agradeço, em especial, aos professores JUAN CARLOS CEBALLOS e CELIA CAMPOS BRAGA, pela imprescindível orientação, paciência e amizade, bem como pelo apoio material na execução dos trabalhos computacionais.

Ao professor BERNARDO BARBOSA DA SILVA, pelas importantes sugestões e fornecimento de bibliografia.

Ao Sr. ANTONIO DIVINO MOURA, pela doação de valiosa literatura para o desenvolvimento deste estudo.

Ao professor PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO e sua família, pela acolhida e apoio prestado durante este período do curso.

Ao IPAGRO (RS) na pessoa do Sr. MOACIR ANTONIO BERLATO, pela gentil doação dos dados utilizados.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

A professores, funcionários e colegas da Universidade Federal de Pelotas, pelo empenho na obtenção dos dados e literatura de interesse, em especial à amiga ELIANE GRALA PEREIRA ALVES, pelo seu incentivo, amizade e desprendimento no sentido de colaborar com este estudo.

Finalmente, agradeço com muito carinho à família PEREIRA SILVA, pela inesquecível convivência e sincera amizade, em particular à Sra. IRACI, a quem muito admiro.

RESUMO

Foram determinadas sub-regiões homogêneas, do ponto de vista climatológico da temperatura e precipitação, no estado do Rio Grande do Sul. Utilizaram-se técnicas objetivas da Análise Multivariada: Análise de Agrupamento (TAA) e Análise de Componentes Principais (ACP). Os dados disponíveis foram médias climatológicas mensais e decendiais para 41 estações, fornecidas pelo Atlas Agroclimático do Rio Grande do Sul- IPAGRO. As variáveis foram analisadas separadamente.

A TAA para temperatura apresentou cinco grupos (base mensal) e quatro grupos (base decendial), delimitando regiões segundo isotermas (e, indiretamente, o relevo do Estado). A ACP evidencia a presença de um único regime predominante em toda a região. Conclui-se que a temperatura é homogênea no Estado e que os grupos delimitados pela TAA são coerentes. A diferença de comportamento entre dois locais é basicamente determinada pelas suas médias e desvios padrões, tornando irrelevante o emprego da ACP para esta variável.

Para precipitação, foram considerados cinco critérios de regionalização, utilizando-se tanto TAA como ACP e combinações de ambas. O critério que divide o Estado em oito grupos com base em componentes consideradas mais significativas foi considerado o mais apropriado, principalmente para efeito de aproximação e simulação de séries de dados. Este agrupamento delimita regiões caracterizadas por uma combinação de efeitos de relevo e de maritimidade-continentalidade. A ACP e a TAA não conseguem separar claramente, a nível climatológico, a influência dos diversos sistemas meteorológicos agindo no tempo e no espaço na região. Recomenda-se, para isso, a análise de séries temporais mais curtas e detalhadas.

Foram avaliados novos autovetores para precipitação, específicos para os oito grupos encontrados. A simulação de séries de precipitação decendial baseada nesses novos autovetores (método desenvolvido por CEBALLOS & BRAGA, 1991) apresentou bons resultados, requerendo, em geral, não mais que duas componentes principais para obter desvios médios inferiores a 30% do desvio padrão anual de cada grupo.

ABSTRACT

Homogeneous regions for Rio Grande do Sul state (Brazil) were identified, in a climatological context, for temperature and rainfall. Multivariate analysis techniques were used: Cluster Analysis (CA) and Principal Component Analysis (PCA). Available data were monthly and ten-day means for 41 stations, published in the Atlas Agroclimatico do Rio Grande do Sul-IPAGRO. Each variable was analyzed separately.

CA for temperature defines five groups (monthly data) and four (ten-day data), which clearly outline isothermal bands and regional topography. PCA makes evident the existence of only one PC, which defines state regime. Thus, not only groups are internally coherent but time differences between two stations are mainly determined by their means and standard deviations.

Five regionalization criterions were considered for precipitation, by using CA, PCA and combinations of both. The more appropriate seems to be the association of the first six eigenvectors through CA. This clustering criterion outlines eight regions characterized by the combined effects of topography and maritimty-continentality. PCA and CA do not allow to clearly separate the influence of the various meteorological systems time and spatially active over the region. This objective should be aimed by working with shorter and more detailed regional time series.

New eigenvectors were assessed for rainfall, specifically for each of eight groups. Simulation of rainfall time series based on these new eigenvectors (method developed by CEBALLOS & BRAGA, 1991) exhibits good results, usually requiring not more than two PC's to obtain desviations lower than 30% of annual standard deviation for each group.

SUMARIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	01
LISTA DE TABELAS	03
1. INTRODUÇÃO	04
1.1 Breve descrição da área em estudo	06
1.2 Objetivos do trabalho	08
2. FUNDAMENTOS CONCEITUAIS	10
2.1 Análise de Agrupamento ("Cluster Analysis")	12
2.1.1 Técnicas de hierarquização	12
2.1.2 Função de agrupamento	13
2.1.3 Critério de agrupamento	14
2.2 Análise de Componentes Principais	15
2.2.1 A ACP do ponto de vista estatístico	18
2.2.2 Simulação de séries climatológicas	21
3. MATERIAIS E METODOS	24
3.1 Dados utilizados	24
3.2 Determinação de regiões homogêneas	26
3.2.1 Técnicas de agrupamento	26
3.2.2 Técnicas de componentes principais	27
3.3 Análise do ciclo anual da precipitação	28

4. DISCUSSAO DE RESULTADOS	29
4.1 Temperatura	29
4.1.1 Regionalização por agrupamento	29
4.1.2 Regionalização por componentes principais .	36
4.2 Precipitação	39
4.2.1 Regionalização por agrupamento	39
4.2.2 Regionalização por componentes principais .	43
4.2.3 Simulação de séries climatológicas	63
5. ANALISE FINAL	66
5.1 CONCLUSOES	66
5.2 SUGESTOES	68
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	70
ANEXO A	74

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1	Distribuição geográfica das estações meteorológicas em estudo 07
Figura 2	Esquema da divisão climática do Rio Grande do Sul 09
Figura 4.1	a) Curva da inércia para temperatura média b) Decrementos de inércia 30
Figura 4.2	a) Dendrograma da temperatura mensal b) Dendrograma da temperatura decendial 31
Figura 4.3	a) Agrupamento da temperatura mensal b) Agrupamento da temperatura decendial c) Isotermas anuais de temperatura d) Agrupamento da temperatura decendial para 5 grupos 35
Figura 4.4	Marcha anual da 1 ^a CP decendial e da temperatura para estações do R. G. do Sul 38
Figura 4.5	a) Dendrograma da precipitação mensal b) Dendrograma da precipitação decendial 40
Figura 4.6	a) Agrupamento da precipitação mensal b) Agrupamento da precipitação decendial 42

Figura 4.7	Diagrama de autovalores como função das CP's ..	44
Figura 4.8	Distribuição espacial dos fatores de ponderação	
	a) para k=1	
	b) para k=2	
	c) para k=3	46
Figura 4.9	a) Marcha anual da 1 ^a CP	
	b) Marcha anual das 2 ^a e 3 ^a CP's	48
Figura 4.10	Isoietas para as estações do ano (segundo MATSCHINSKE, 1990)	49
Figura 4.11	a) Grupos sugeridos pela análise semi-objetiva da 2 ^a e 3 ^a CP's	
	b) TAA aplicada a 2 ^a e 3 ^a DP's	53
Figura 4.12	a) Diagrama de dispersão das 2 ^a e 3 ^a DP's	
	b) Retas formadas	55
Figura 4.13	Agrupamento das CP's significativas.	
	a) 8 grupos	
	b) 4 grupos	58
Figura 4.14	Ciclo anual da 1 ^a CP do Estado e grupos	60
Figura 4.15	a) Relação entre as séries simulada e observada	
	b) Desvio ($Y_{estimado}-Y$) em mm	65

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 1	Estações meteorológicas e suas coordenadas geográficas	25
Tabela 4.1	Número de grupos delimitados para temperatura .	32
Tabela 4.2	Número de grupos delimitados para precipitação	39
Tabela 4.3	Sequência de autovalores e contribuição à variância do sistema de $p = 41$ estações	45
Tabela 4.4	Sequência de autovalores e contribuição à variância de cada grupo	59
Tabela A ₁	Coefficiente de WARD	75
Tabela A ₂	Matriz A de autovetores decendiais para o Estado	76
Tabela A ₃	Matriz Z de componentes principais para o Estado	77
Tabela A ₄	Matrizes A de autovetores para os grupos	78
Tabela A ₅	Erro médio de aproximação para o Estado	80
Tabela A ₆	Matriz L de coeficientes de simulação	80

1. INTRODUÇÃO

A viabilidade e distribuição das culturas, bem como a variabilidade dos rendimentos anuais, depende em grande parte do clima. As secas, geadas e excessos hídricos se constituem nos principais fatores adversos a agricultura, tornando-se imprescindível o conhecimento das variáveis climatológicas causadoras de tais adversidades (MOTA et al., 1986). O estado do Rio Grande do Sul coloca-se dentre os mais bem desenvolvidos nas atividades agropecuárias de nosso país; logo, a descrição exata e a caracterização do regime destas variáveis passa a ser um elemento decisivo para o êxito desta atividade e melhor convivência com os fenômenos adversos.

Nesse contexto, o estudo do comportamento temporal e espacial da precipitação e temperatura tornou-se um dos principais interesses de climatologistas pois, além da utilidade para a agricultura, definem condições para o planejamento e execução de importantes atividades do homem nos mais variados campos, tais como construção civil, recursos hídricos, geração de energia etc.

Um grande número de trabalhos envolvem o mapeamento das variáveis relevantes para o tema estudado. Tradicionalmente, são utilizados métodos ditos "subjetivos", nos quais regiões homogêneas são delimitadas a partir do simples traçado de isolinhas de médias temporais. Os resultados obtidos a partir desse método podem dificultar o aprofundamento de uma análise espacial do comportamento climático regional, na medida em que não definem regimes. Entendemos por regime, não só a existência de uma média semelhante para dada região, mas também um comportamento com alta correlação espacial e temporal.

Como alternativa aos métodos "subjetivos" de regionalização, tem sido desenvolvidas variadas técnicas estatísticas, dentre elas a Análise Multivariada (MARDIA et al., 1988). Estas técnicas seguem a definição de semelhanças entre indivíduos a partir de "métodos objetivos", como por exemplo definir grupos de locais com base em propriedades de mínima distância ou máxima correlação entre as variáveis a eles associados. Um caso particular é a técnica de Análise de Agrupamento (EVERITT, 1974; BOUROCHE & SAPORTA, 1982; DIDAY et al., 1982).

Uma outra técnica multivariada, a Análise de Componentes Principais, aparece como uma ferramenta de grande utilidade, tanto para identificar regiões homogêneas do ponto de vista espacial e temporal, como para reduzir o número de variáveis suficientes para descrever séries temporais de uma região.

Na última década, estas técnicas começaram a ser empregadas com certa frequência no Brasil (vide seção 2.0). A bibliografia consultada registra escassos trabalhos específicos de Análise de Componentes Principais e nenhum de Análise de Agrupamento dedicados a caracterizar a climatologia do estado do Rio Grande do Sul. Portanto, a sua aplicação a esse Estado levaria uma interessante contribuição à análise objetiva de seu regime climático.

1.1 Breve descrição da área em estudo

Localizado na área mais meridional do Brasil, entre as latitudes de $27^{\circ}05'S$ e $33^{\circ}45'S$ e longitudes de $49^{\circ}43'O$ e $57^{\circ}39'O$, o estado do Rio Grande do Sul (Figura 1) possui uma extensão territorial de aproximadamente 282.184 Km^2 (da qual 5,2% corresponde a grandes lagunas e ambientes lacustres) bem como 622 Km de costa marítima.

As variações tanto de precipitação como de temperatura estão intimamente ligadas à invasões de massas de ar oriundas ou do anticiclone do Atlântico ou do anticiclone Polar, bem como à altitude, maritimidade e continentalidade. MACHADO (1950), num clássico da climatologia do Rio Grande do Sul, dividiu-o em oito regiões climáticas (Figura 2), caracterizadas pelos fatores que mais as influenciam, sejam elas: Campanha, Serra do Sudeste, Litoral, Depressão Central, Vale do Uruguai, Missões, Planalto e Serra do Nordeste. Deste, podem-se destacar, de uma forma geral, as seguintes características climáticas do Rio Grande do Sul:

- a) as mais baixas temperaturas são verificadas na Serra do Nordeste e as mais elevadas na região do Vale do Uruguai (Figura 4.3c);
- b) temperatura média anual em torno de 18°C ;
- c) estações do ano bem caracterizadas: verão quente e inverno frio, com o outono um pouco mais frio que a primavera.
- d) normais pluviométricas anuais variando espacialmente entre 1100 mm e 2500 mm;
- e) existência de duas zonas bem distintas quanto aos totais pluviométricos: o Litoral, com baixos valores, e a Serra do Nordeste, onde mais precipita; nas demais regiões os totais pouco diferem.

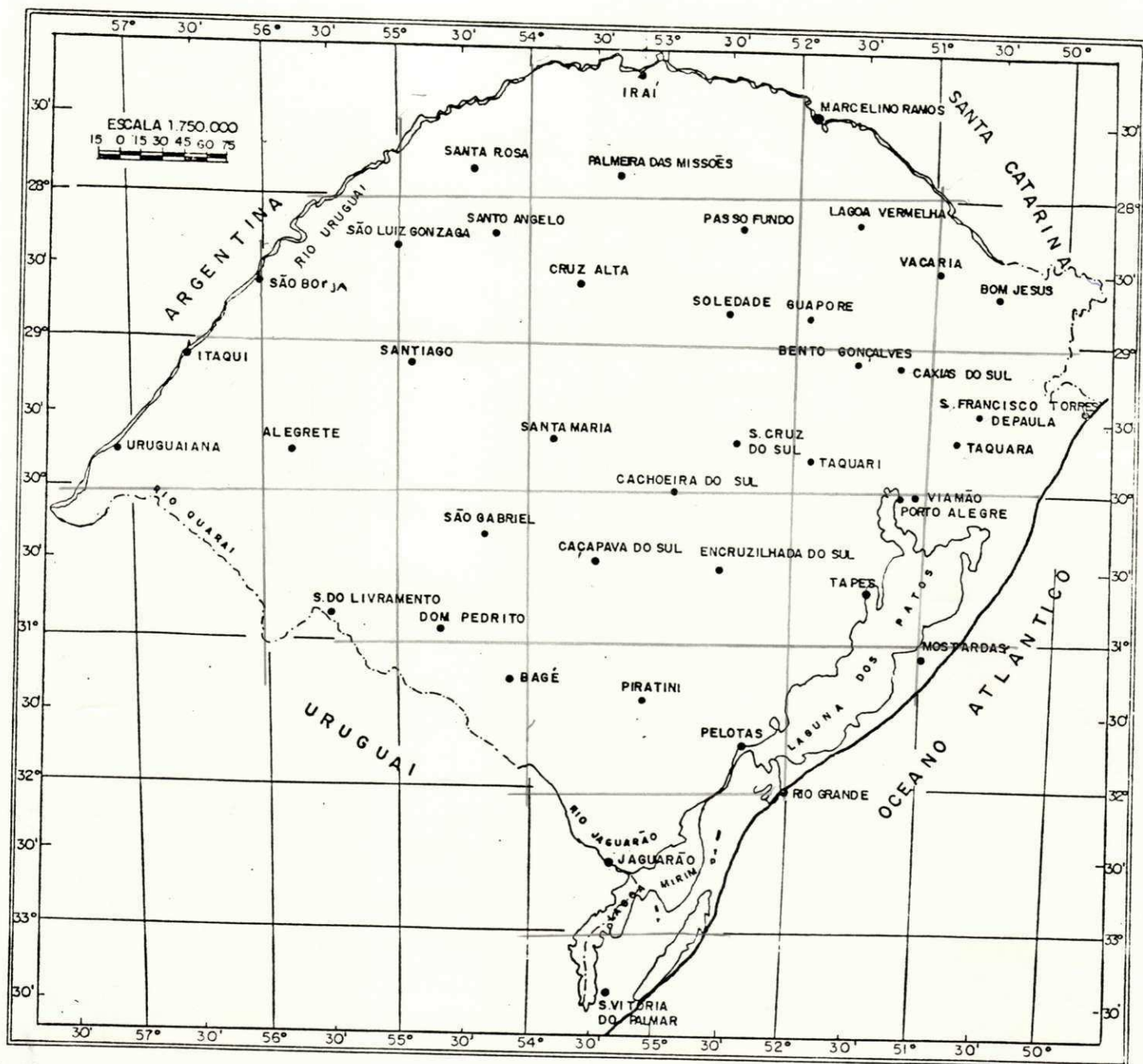


Figura 1 - Distribuição geográfica das estações meteorológicas em estudo.

1.2 Objetivos do trabalho

O presente trabalho objetiva oferecer uma contribuição ao estudo climático do estado do Rio Grande do Sul a partir da identificação de sub-regiões temperatura, fundamentadas em análises objetivas.

Para tal, pretende-se:

- i) conduzir técnicas de Análise Multivariada: Análise de Agrupamento e Análise de Componentes Principais, aplicadas a dados mensais e decendiais das variáveis climatológicas selecionadas para o estudo;
- ii) regionalizar e analisar o comportamento espacial e temporal destas, determinando características de seu regime anual;
- iii) aplicar a Técnica de Análise de Componentes Principais ao problema de preenchimento de falhas a partir da determinação de coeficientes de estimativas.

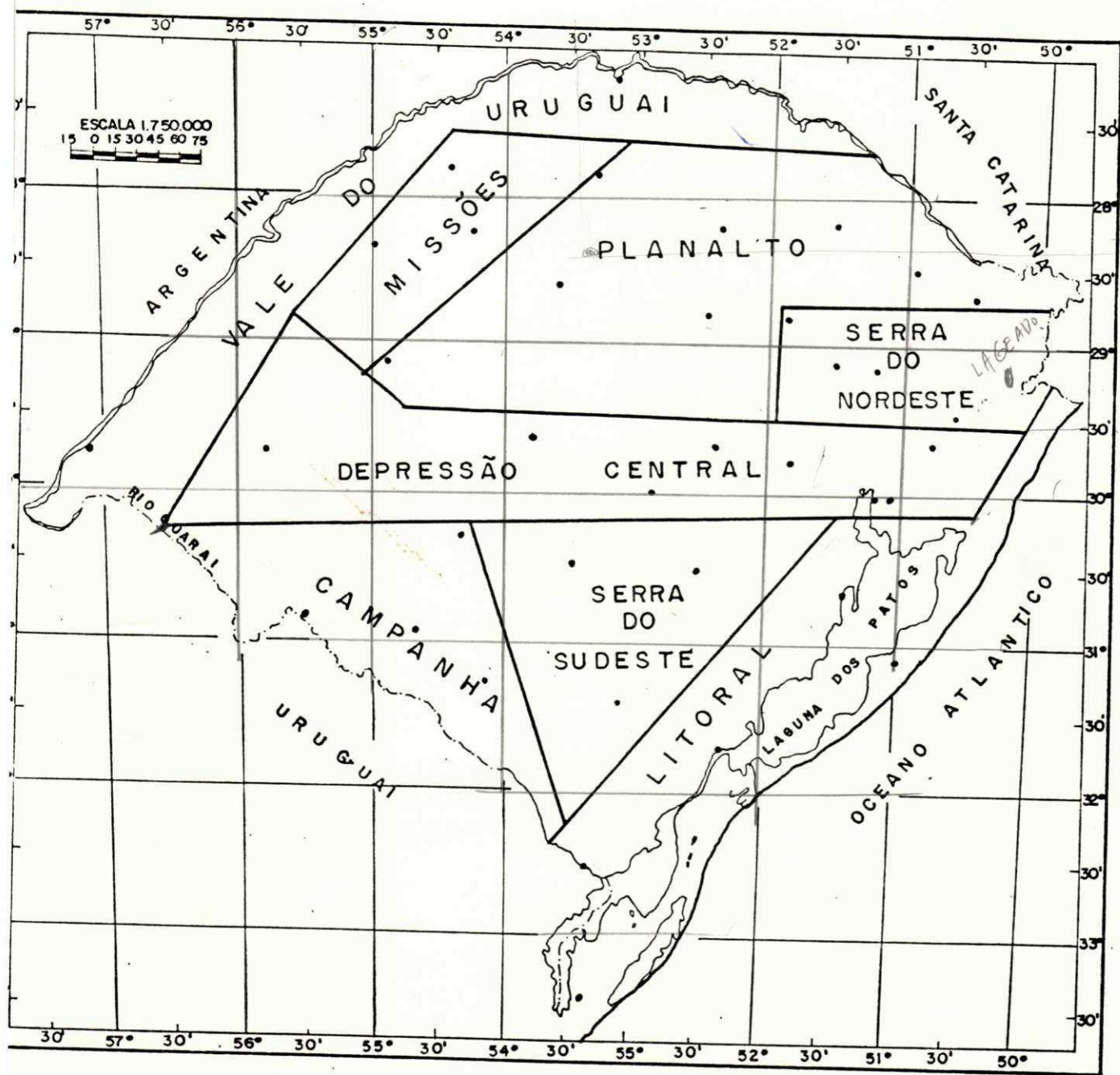


Figura 2 - Esquema da divisão climática do Rio Grande do Sul.

2. FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

Devido ao seu vasto potencial de aplicação para uma variedade de situações, a Análise Multivariada tem sido ferramenta de estudo de inúmeros pesquisadores. Embora pouco explorada em climatologia no Brasil, pode-se citar os trabalhos de ALDAZ (1984), SALVI (1984), GARAYALDE et al. (1986), ELSNER & SIKDAR (1987), TANAKA et al. (1988), TSUCHIYA et al. (1988), BRAGA & SILVA (1990), SILVA et al. (1990), SANSIGOLO (1990), CEBALLOS & BRAGA (1991) e outros.

A Análise Multivariada é um ramo da estatística aplicado a problemas que envolvem um grande número de variáveis num mesmo fenómeno; seu principal objetivo é o de reduzir ao máximo o número de variáveis que descrevam um problema, com a menor perda possível de informação. Objetiva, especificamente:

- i) reduzir a dimensão de uma dada matriz de dados;
- ii) investigar o comportamento espacial e temporal das variáveis consideradas;
- iii) detectar grupos de variáveis com comportamento homogêneo.

CANTON (1982) e JUDEZ et al. (1984) sugerem que as técnicas de Análise Multivariada podem dividir-se em dois grandes grupos:

- a) Técnicas de Análise Fatorial. A Análise Fatorial pode ser dividida em outros sub-grupos ou métodos, onde a Análise de Componentes Principais constitui-se num destes métodos.
- b) Técnicas de Classificação Automática, ou simplesmente Técnicas de Classificação, que são as técnicas de Análise de Agrupamento ou "Cluster Analysis".

Estes metodos de Analise Multivariada incluem uma série de passos matematicos e estatisticos para chegar aos resultados representativos das variáveis consideradas. Todos partem de uma matriz X de dados, de forma que se existem " p " individuos (estações no caso de uma análise climatológica) I_1, I_2, \dots, I_p , com " n " características (observações) C_1, C_2, \dots, C_n , a informação básica com o conjunto de individuos pode ser organizada em termos de uma matriz de dados X ($n \times p$):

$$X(n \times p) = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \vec{x}_n \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Ao se referir a uma rede climatológica composta por " p " estações, cada coluna pode representar " n " informações relacionadas a cada estação. Essas informações podem ser, por exemplo:

- a) médias climatológicas de " n " variáveis (pressão, temperatura, umidade relativa etc);
- b) se a matriz referir-se a uma única variável meteorológica, a primeira coluna pode descrever a série temporal de observações para a primeira estação.

Para fins de uma descrição compacta, cada linha da matriz X pode ser interpretada como um vetor de dimensão " p " e a matriz X teria portanto " n " vetores.

2.1 Análise de Agrupamento ("Cluster Analysis")

As Técnicas de Análise de Agrupamento (TAA, no que segue) consistem em reunir indivíduos semelhantes em uma mesma classe, formando grupos caracterizados por homogeneidade interna e diferenciados entre si. Vários autores vem mostrando nos últimos anos a preocupação de se definir uma classificação para a variedade de TAA disponíveis. De acordo com GAMA (1980) a classificação de EVERITT (1974) é sugerida como a mais completa dentre as existentes, sejam elas:

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

No presente estudo é empregado um método aglomerativo de hierarquização (EVERITT, 1974), baseado no critério de inércia proposto por WARD (1963) que, pela bibliografia revisada, constitui-se numa das técnicas de maior aplicação. Cita-se, por exemplo, BRAGA & SILVA (1990) que utilizaram tal método com a finalidade de determinar sub-regiões homogêneas de precipitação decenal no Estado da Paraíba e FERNAU & SAMSON (1990) com o propósito de chegar a um monitoramento químico de locais no leste da América do Norte.

2.1.1 Técnicas de Hierarquização

Na Análise de Agrupamento todos os processos de hierarquização são similares*. Considerando apenas a forma ascendente, este método é capaz de construir uma sequência de partições em $n, n-1, n-2, \dots, k, \dots, 1$ classes embutidas umas nas outras, de maneira que as partições em k classes sejam obtidas

* Usa-se o termo "hierarquia" ou "hierarquização" devido a cada classe de uma partição ser incluída numa classe da partição seguinte.

pelo agrupamento de duas destas classes em $k-1$ classes a partir de uma função e um critério de agrupamento. A hierarquia precedente é indexada, pois a cada partição corresponde um valor numérico que representa o nível do qual tem lugar os agrupamentos; esta sequência de partições pode ser representada na forma de uma árvore de ligação, ou dendrograma (BOUROCHE & SAPORTA, 1982; DIDAY et al., 1982).

2.1.2 Função de Agrupamento

A função de agrupamento mostra medidas de similaridade, dissimilaridade ou distância entre indivíduos.

As medidas de distância fornecem informações necessárias para decidir se um indivíduo de determinado conjunto G de indivíduos será alocado em determinado grupo, ou não, de acordo com o critério de agrupamento escolhido.

O método de WARD tem a distância euclidiana como função de agrupamento, um caso particular da métrica de MINKOWSKI:

$$d(x_i, x_j) = \left[\sum_{q=1}^P p_q (x_{qi} - x_{qj})^r \right]^{1/r} \quad (2.2)$$

Para $r=2$, tem-se a distância euclidiana, dada por:

$$d(x_i, x_j) = \left[\sum_{q=1}^P p_q (x_{qi} - x_{qj})^2 \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

onde x_{qi} é o valor da q -ésima característica para o i -ésimo elemento (eq. 2.1). O parâmetro p_q é um "peso" associado a cada

variável (ou característica) dentro do grupo. Em particular, se as variáveis associadas aos indivíduos são grandezas físicas com dimensões diferentes (temperatura, pressão, precipitação,...), o peso p_q serve para padronizar tais variáveis. Usualmente, seu valor é $1/s_q^2$, onde s_q^2 é igual à variância amostral da q -ésima variável. Este procedimento é equivalente a padronizar ("normalizar") as variáveis x_{qi} do i -ésimo elemento. Em princípio, ao trabalhar com uma única variável por indivíduo, o peso p_q não precisa ser definido.

2.1.3 Critério de Agrupamento

EVERITT (1974) menciona que a dispersão de uma nuvem de pontos pode ser caracterizada por sua inércia, ou seja, pela média dos quadrados das distâncias ao centro de gravidade.

Segundo DIDAY et al. (1982), a qualidade de uma partição de grupos de indivíduos, determinada pela classificação do tipo hierárquica, é frequentemente medida pelo critério de inércia intra-classe de WARD (1963). Ele propõe que em qualquer estágio de uma análise, a perda de informação resultante de um agrupamento pode ser medida pela soma total dos quadrados dos desvios (SQD) de cada ponto à média do grupo ao qual ele pertence. Este critério de inércia generaliza o teorema de HUYGHENS em que a inércia total (I_t) de uma nuvem de pontos é constante e igual à soma da inércia intra-classe e da inércia inter-classe ($I_{intra} + I_{inter}$).

Logo, para "p" elementos organizados em "k" classes,

$$I_t = \sum_{i=1}^{p'} p_i d^2(i, G^{(i)}) + \sum_{k=1}^{p'} p_k d^2(G_k, G) \quad (2.4)$$

onde p_i e p_k são pesos atribuídos aos indivíduos i e classes k ,

G_k e G são os centros de gravidade de cada classe e população, respectivamente, e $G^{(i)}$ é o centro de gravidade do grupo ao qual pertence o i -ésimo elemento.

Assim, a minimização da inércia intra-classe e maximização da inércia inter-classe irá assegurar uma boa homogeneidade em cada classe e maior dissimilaridade entre os grupos formados. Se os grupos ficam razoavelmente bem definidos, é suficiente avaliar a inércia I_t restrita aos termos da inércia intra-classe. Nesse caso, para um agrupamento G_k , tem-se uma SQD determinada por:

$$SQD = \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^{p'} x_{qi}^2 - n \sum_{q=1}^{p'} \bar{x}_q^2 \quad (2.5)$$

2.2 Análise de Componentes Principais

As séries temporais de "N" dados de "p" estações podem ser interpretadas como vetores descrevendo um conjunto de N pontos num espaço vetorial com dimensão "p". Obtém-se assim uma "nuvem de pontos" nesse espaço, orientada segundo certas direções preferenciais (direções principais ou DP). A Análise de Componentes Principais (ACP, no que segue) procura determinar quais são essas direções definidas pelos "p" possíveis vetores $a_k = (a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{pk})$. O conjunto dos "p" vetores a_k é ortogonal e define uma nova base de referência das variáveis y_i . As novas variáveis z_k representam as projeções das y_i sobre as direções a_k . Torna-se importante mencionar três propriedades das CP's:

- 1) As CP's (também denominadas de FOE ("Funções Ortogonais Empíricas")) não são correlacionadas. Neste sentido, as "p" variáveis y_i (correlacionadas) são representadas **exatamente**

por uma combinação linear das z_k ortogonais (HAAN, 1979), de forma que

$$z_k = y_1 a_{1k} + \dots + y_j a_{jk} + \dots + y_p a_{pk}, \quad (2.6)$$

$$y_j = z_1 a_{1j} + \dots + z_k a_{kj} + \dots + z_p a_{jp}$$

onde (a_{1k}, \dots, a_{pk}) são as componentes do k -ésimo autovetor.

2) A cada autovetor a_k se corresponde um autovalor λ_k ; as variâncias das CP's cumprem com $\text{Var}(z_k) = \lambda_k$. Demonstra-se que a variância total S^2 cumpre com $S^2 = \sum_k \lambda_k$. Assim, os λ_k representam em termos gerais a contribuição de cada CP à variância total dos dados.

3) Ordenando os autovetores a_k segundo a ordem decrescente dos λ_k percebe-se que cada variável y_j poderia ser aproximada satisfatoriamente por uma expressão:

$$y_j = \sum_k z_k a_{kj}, \quad k=1, 2, \dots, p^* < p, \quad (2.7)$$

sempre que $\sum_k \lambda_k$ ($k=p^*+1, p^*+2, \dots, p$) represente uma pequena fração da variância total.

Um dos pioneiros na introdução de FOE em problemas de meteorologia foi LORENZ (1956), que utilizou como previsores climáticos os coeficientes a_{ik} associados a funções ortogonais temporais a partir de campos de pressão ao nível do mar. ALDAZ (1984) aplicou a técnica de FOE à precipitação do Nordeste brasileiro com a finalidade de calcular as direções principais da variação cronológica de seus totais médios mensais em 30 anos consecutivos e determinar os multiplicadores a_{ik} correspondentes. Considerando 12 indivíduos (meses) com 101 características (estações), as quatro primeiras direções principais explicaram 97% da variância total da série. Segundo o mesmo autor, FOE podem ser empregadas em problemas de:

- concentração de multiplicidade de observações;
- previsão;
- redução de configurações;
- filtragem de observações;
- estimativa de dados.

GARAYALDE et al. (1986) conduziram a técnica de Componentes Principais aplicadas a precipitação dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, utilizando-se de totais medios mensais de 20 anos para 25 postos pluviométricos. De forma semelhante a ALDAZ (1984) foram considerados 12 indivíduos com 25 características. Os autovetores descrevem o ciclo anual da precipitação, enquanto que cada CP tem 25 características que podem ser representadas geograficamente sobre uma área de 378.200 km² descrevendo correlações entre pares de meses. As três primeiras DP's explicaram 81,4% da variância dos dados e foram empregadas na determinação de mesorregiões climáticas significativas em termos de precipitação.

A TAA pode ser aplicada para determinar regiões homogêneas, com base em séries temporais (de tamanho N) para "p" locais. Por outro lado, de acordo com a eq.(2.7), a ACP permite reduzir o numero de variáveis que descreve o comportamento temporal de uma região. A TAA aplicada aos fatores de ponderação a_{jk} ($k=1,2, \dots, p^*$) pode aperfeiçoar a análise, permitindo definir sub-regiões homogêneas com relação à influência das CP's. O problema colocado é o de agrupar agora "p" indivíduos (locais), cada um com $p^* < p$ características (projeções das DP's significativas). POSSOLI (1984), na tentativa de determinar um índice de nível de saúde para o estado do Rio Grande do Sul, considerou ambas as técnicas.

ACP foi usada por GOOSSENS (1985) para, dentro de regiões homogêneas, agrupar registros anuais de precipitação de estações ao longo do Mediterrâneo Europeu. A Análise de Agrupamento baseada nos cinco maiores autovetores mostrou a existência de cinco regiões pluviometricamente homogêneas para

aquela região.

ANYADIKE (1987) utilizou-se de análise fatorial para a redução do número das variáveis estudadas; 17 variáveis meteorológicas do oeste africano foram explicadas por quatro fatores ortogonais responsáveis por 89% da variância nos dados da matriz original. A matriz 4X109 estações foi submetida ao agrupamento hierárquico baseado no critério de WARD (1963) para a obtenção de um agrupamento climático ótimo para a região estudada.

2.2.1 A ACP do ponto de vista estatístico

A matriz de dados X descrita pela equação 2.1 representa a série temporal de " n " dados das estações de uma rede com " p " estações, limitando-se a uma única variável meteorológica. Cada linha da matriz corresponde a um vetor X_j com dimensão " p ". Definindo-se como $S_j^2 = \text{Var}(x_{ij})$, $j=1,2, \dots, p$, a variância da j -ésima componente dos vetores X_j (ou seja, a variância dos dados da j -ésima estação), pode-se obter a matriz de variâncias e covariâncias S através de:

$$S = 1/n \mathbf{X}\mathbf{X}^t, \quad (2.8)$$

onde \mathbf{X}^t é a transposta de \mathbf{X} . Se as variáveis X_1, X_2, \dots, X_p forem normalizadas através da média e desvio padrão (com média zero e variância um), a matriz de variâncias e covariâncias será igual à matriz de correlação, ou seja:

$$S = R = 1/n \mathbf{Y}\mathbf{Y}^t, \quad (2.9)$$

onde \mathbf{Y} é a matriz de dados normalizados.

Sendo a matriz de correlação R uma matriz simétrica de dimensão $(p \times p)$, ela é diagonalizável por uma matriz ortogonal A , denominada de matriz de direções principais ou de autovetores.

Este raciocínio aplica-se da mesma forma para matrizes de variâncias e covariâncias. Algebricamente, a matriz diagonal D , cujos elementos diagonais são os autovalores de R , é obtida por:

$$D = A^{-1} R A$$

A é uma matriz ortogonal e, portanto, $A^{-1} = A^t$; deste modo,

$$D = A^t R A \quad (2.10)$$

O fato de A ser uma matriz ortogonal, permite utilizá-la para gerar uma mudança de base para um novo sistema de referência, composto pelos autovetores de R . As imagens dos vetores Y na nova base são vetores Z com componentes z_1, z_2, \dots, z_p das variáveis Y_1, Y_2, \dots, Y_p , tais que:

$$Y = Z A ; \quad Z = Y A^t \quad (2.11)$$

É importante deixar bem claro a nomenclatura utilizada para as eqs. (2.11). Neste trabalho, uma matriz Y de dados corresponde a um conjunto de " n " vetores linha Y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) num espaço vetorial com dimensão " p ". Se A representar uma matriz de mudança de base, de forma que os vetores Y (linha) tenham uma imagem Z (linha), então deverá ser construída com suas linhas correspondendo aos autovetores a_k da matriz R ($R = 1, 2, \dots, p$), normalizados. Obviamente, a matriz A^t na eq. (2.11) contém suas colunas correspondendo à sequência de autovalores de a_k . Observa-se, ainda, que as matrizes A e A^t realizam produtos sobre $Y \cdot Z$ à direita.

O ordenamento dos autovetores a_k em A é escolhido segundo a ordem decrescente dos autovalores de R . No presente trabalho, os autovetores serão considerados normalizados; como consequência, as componentes principais z_{ik} dos vetores Z_i têm

variância igual a λ_k .

Embora as variáveis z_i não sejam correlacionadas entre si, elas o são com as componentes y_j . Com efeito, o coeficiente de correlação vale:

$$\rho(z_k, y_j) = \text{Cov}(z_k, y_j) / S(z_k)S(y_j),$$

$$S(z_k) = \lambda_k^{1/2}, \quad S(y_j) = 1, \quad \bar{z}_k = \bar{y}_j = 0.$$

portanto,

$$\begin{aligned} \rho(z_k, y_j) &= \lambda_k^{-1/2} E(z_k y_j) = \lambda_k^{-1/2} E(z_k \sum_i a_{ji} z_i) \\ &= \lambda_k^{-1/2} \sum_i a_{ji} E(z_k z_i). \end{aligned}$$

Sendo que $E(z_k z_i) = \delta_{ki} \lambda_k$ (δ_{ki} = delta de Kronecker), resulta

$$\rho(z_k, y_j) = \lambda_k^{1/2} a_{jk} = f_{jk}$$

O fator de correlação f_{jk} é denominado "fator loading" na bibliografia usual. No que segue, as componentes a_{jk} dos autovetores de R serão denominados de "fatores de ponderação".

Para uma dada direção principal, os seus fatores de correlação podem ser utilizados para regionalizar a correlação espacial entre a componente principal respectiva e a região em estudo. Ademais, uma regionalização equivalente pode ser obtida mediante a distribuição dos fatores de ponderação.

2.2.2 Simulação de séries climatológicas

Das equações (2.6) torna-se claro que, na medida em que a influencia de uma CP z_k decaia progressivamente com seu índice k crescente, pode-se esperar que apos um certo k , sua contribuição a serie temporal de $y_p(t)$ seja desprezível. Desta forma, a serie temporal de um local $y_j(t)$ em particular pode ser razoavelmente reconstituída a partir de $k < p$ da matriz A de modo que:

$$y_{pk}(t) \cong \sum_{k=1}^K z_k(t) a_{kj}, \quad k < p. \quad (2.12)$$

A ordem de grandeza do residuo ($= y_j - y_j^{(k)}$) de uma aproximação $y_j(k)$ é melhor representada por sua variância ζ^2 , (CEBALLOS & BRAGA, 1991) de forma que:

$$\zeta^2 = \sum_{k > K} a_{kp}^2 \lambda_k \leq 1, \quad (2.13)$$

já que

$$\text{Var}\langle y_p \rangle = \sum_{k=1}^K a_{kp}^2 \lambda_k = 1 \quad (2.14)$$

CEBALLOS & BRAGA (1991) deduziram um critério de simulação com base no método dos mínimos quadrados, o qual consiste em se definir um vetor Z^* tal que a norma da diferença (D^2) entre a parte conhecida Y' do vetor Y e a sua estimativa Y'' seja mínima:

$$D^2 = (Y'' - Y')'(Y'' - Y') = \sum_{j \neq n} \left(\sum_k a_{kp} z_k' - y_p' \right)^2 \quad (2.15)$$

onde $\{z_k'\}$ é um conjunto dos estimadores das CP's. Desse sistema resultam as relações:

$$\sum v_{kj} z_k^* = u_j \quad (2.16)$$

Para o caso presente (matriz **A** linha) e que a j -ésima estação carece de dados, o cálculo de V é definido por uma matriz auxiliar **B** com dimensão $(p-1) \times K$ resultante da matriz **A** incompleta, ou seja, eliminada a j -ésima coluna referente a j -ésima estação faltosa, e conservadas $k < p$ linhas consideradas significativas. O vetor U é determinado pelo produto **incompleto** das linhas do vetor Y' com a matriz **A**. Assim,

$$V = BB^t, \quad U = (YB^t)' \quad (2.17)$$

Portanto, uma generalização para uma série temporal pode ser escrita como:

$$Z^* = UV^{-1}, \quad (2.18)$$

ou

$$Z^* = Y'S; \quad S = B^t (BB^t)^{-1}. \quad (2.19)$$

Deste modo, uma matriz A ($k \times p$) consistente das k primeiras linhas da matriz A pode reproduzir aproximadamente a série temporal Y , bem como estimar a série desconhecida da $\{y_{nj}\}$ para determinado local " j ", logo:

$$Y_{\text{estimado}} = Y'L; \quad L = SC \quad (2.20)$$

C representa a (j -ésima) coluna eliminada da matriz A de autovetores.

3. MATERIAIS E METODOS

3.1 Dados utilizados

As informações climatológicas utilizadas são provenientes do Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul/SEA-Instituto de Pesquisas Agronomicas (IPAGRO)/Rio Grande do Sul (1989). Foi escolhida para análise a rede de estações meteorológicas pertencente ao 8^o Distrito de Meteorologia do Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET) do Ministerio da Agricultura e ao Departamento Estadual de Porto, Rios e Canais (DEPREC) da Secretaria dos Transportes/RS apresentados na Tabela 1. Os registros de precipitação ou temperatura correspondem a um total de 43 postos ou estações meteorológicas (Figura 1). Abaixo são apresentados os parametros considerados para o presente estudo:

precipitação normal decendial
temperatura máxima normal decendial
temperatura média normal decendial
temperatura mínima normal decendial
precipitação normal mensal
temperatura máxima normal mensal
temperatura média normal mensal
temperatura mínima normal mensal

Os dados mensais consistem de médias de 30 anos (período 1931-1960), para 41 estações; com relação às médias decendiais, são apresentados registros para o período de 1945 a 1974, também para 41 estações. No Atlas Agroclimático, cada mês está dividido em três "decêndios" com base na informação diária, de forma que nos meses de 31 dias o último decêndio torna-se resultante de um período de 11 dias, enquanto que em fevereiro o é de um período de 8, ou 9 dias quando bissexto. Dentre as temperaturas médias fornecidos pelo Atlas, foram adotadas aquelas cujos valores diários se originam pela sua média compensada,

Tabela 1 - Estações meteorológicas estudadas e suas coordenadas geográficas.

LOCALIDADE	LATITUDE			LONGITUDE			ALTITUDE m	ORDEM		
	S:GG	MM	SS	W:GG	MM	SS		PD	TD	M
Alegrete	29	46	47	55	47	15	121	1	1	1
Bage	31	20	13	54	06	21	216	2	2	2
Bento Gonçalves	29	10	00	51	25	00	610	3	3	3
Bom Jesus	28	40	10	50	26	25	1047	4	4	4
Cacapava do Sul	30	30	32	53	29	22	450	5	5	5
Cachoeira do Sul	30	02	45	52	53	39	72	6	6	6
Caxias do Sul	29	10	25	51	12	21	787	7	7	7
Cruz Alta	28	38	21	53	36	34	730	8	8	8
Dom Pedrito	30	58	57	54	39	56	140	9	9	9
Encruzilhada do Sul	30	32	35	52	31	20	427	10	-	10
Guapore	28	55	44	51	54	45	471	11	10	11
Irai	27	11	45	53	14	01	222	12	11	12
Itaqui	29	07	10	56	32	52	76	13	12	13
Jaguarão	32	33	32	53	23	20	50	14	13	14
Júlio de Castilhos	29	13	26	53	40	45	516	-	-	15
Lagoa Vermelha	28	25	35	51	35	51	815	15	14	16
Marcelino Ramos	27	27	40	51	54	22	414	16	15	17
Mostardas	30	58	00	51	09	00	3	17	16	-
Palmeira das Missões	27	53	55	53	26	45	634	18	17	18
Passo Fundo	28	15	39	52	24	33	667	19	18	19
Pelotas	31	45	00	52	21	00	7	20	19	20
Piratini	31	26	54	53	06	09	345	21	20	21
Porto Alegre	30	01	53	51	13	19	10	22	21	22
Rio Grande	32	01	44	52	05	40	5	23	22	23
Santa Cruz do Sul	29	43	05	52	25	45	52	30	23	24
Santana do Livramento	30	53	18	55	31	56	210	25	24	26
Santa Maria	29	41	25	53	48	42	95	29	25	25
Santa Rosa	27	51	50	54	25	59	360	26	26	27
Santiago	29	11	00	54	53	10	425	24	28	29
Stª Vitória do Palmar	33	31	14	53	21	47	5	28	27	28
Santo Angelo	28	18	14	54	15	52	289	27	29	30
São Borja	28	39	44	56	00	15	96	31	30	31
São Fco. de Paula	29	20	00	51	30	21	912	32	31	32
São Gabriel	30	20	27	54	19	01	124	33	32	33
São Luiz Gonzaga	28	23	27	54	58	18	260	34	33	35
Soledade	29	03	14	52	26	00	716	35	34	34
Tapes	30	50	00	51	35	00	5	36	35	36
Taquara	29	45	00	50	45	00	35	37	36	37
Taquari	29	48	15	51	49	30	76	38	37	38
Torres	29	20	34	49	43	39	6	39	38	39
Uruguaiana	29	45	23	57	05	12	74	40	39	40
Vacaria	28	33	00	50	42	21	960	41	40	41
Viamão	30	01	53	51	13	19	10	-	41	-

PD, TD e T referem-se a precipitação decendial, temperatura decendial e dados mensais, respectivamente.

definida como

$$t = (t_{12} + 2(t_{00}) + t_{\max} + t_{\min})/5,$$

onde "12" e "00" indicam os horários sinóticos de leitura; "max" e "min" se referem à máxima e mínima, respectivamente.

3.2 Determinação de regiões homogêneas

As variáveis climatológicas foram dispostas em uma matriz $X(n \times p)$ de dados (conforme 2.1), onde x_{ij} representa a i -ésima observação da j -ésima estação, ou seja, cada coluna da matriz contendo os dados de uma estação. O número " n " de linhas teve dimensão 12 para dados mensais ou 36 no caso de dados decendiais.

A diagonalização de matrizes efetuou-se mediante programas específicos em microcomputador. Matrizes mais volumosas ($n > 12$) e Análise de Agrupamento processaram-se com o auxílio do utilitário SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

3.2.1 Técnicas de Agrupamento

O agrupamento dos " p " indivíduos (estações) em " k " classes (ou grupos) deu-se através do método de classificação hierárquica ascendente baseado no critério de inércia intra-classe proposto por WARD (1963). Utilizou-se a distância euclidiana como função de agrupamento para medidas de proximidade entre indivíduos de acordo com a eq.(2.3).

A sequência de agrupamentos obtida pelo processo descrito no item 2.1.1 foi representada sob a forma de

dendrogramas, com o conjunto de indivíduos distribuídos no eixo das abcissas e o nível de agregação entre eles no eixo das ordenadas, facilitando deste modo a visualização e interpretação dos resultados obtidos. Cada nível de agregação implica numa perda de informação resultante de cada agrupamento, perda esta avaliada pelo critério de inércia intra-classe de WARD (eq. (2.5)). Quanto mais elevado o índice deste nível, 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 são determinados por cortes transversais no dendrograma. Não existe um critério ótimo para a determinação do número de grupos. Normalmente são efetuados de forma subjetiva, a critério do pesquisador, ou segundo critério matemático de inércia. O critério de corte seguido foi aquele em que o número "n" de grupos formados resulte no maior salto de inércia com relação ao precedente (n+1). A situação visualiza-se na forma de uma curva chamada de "curva da

3.2.2 Técnicas de Componentes Principais

Com base na matriz X de dados normalizados avaliou-se a matriz de correlação R e os seus respectivos autovalores e autovetores normalizados. Os coeficientes de correlação são espaciais, no sentido de definir a relação entre as estações da rede, baseados em 12 dados (quando mensais) ou 36 (quando decendiais). As matrizes resultantes têm dimensão (41x41), conduzindo a 41 autovalores e autovetores. O critério escolhido difere daqueles descritos por ALDAZ (1984), SALVI (1984), ANYADIKE (1986), GARAYALDE et al. (1986) e ELSNER & SIKDAR (1987), sendo semelhante aos descritos por GOOSSENS (1985) e ANYADIKE (1987). Cada estação representa um eixo coordenado, sobre o qual são atribuídos 12 dados mensais ou 36 decendiais.

* Considerou-se para análise, tão somente inclinações da curva da inércia que originem subdivisões de ordem maior que dois, já que elas permitem um maior detalhamento da regionalização.

Em cada mes (decendio), fica determinado um vetor com dimensão 41; os autovetores da matriz de correlação se correspondem com DP's da "nuvem" de 12 (ou 36) vetores num espaço vetorial (CEBALLOS & BRAGA, 1991). Definidos os autovetores, inicialmente foram analisadas cartas ilustrando a distribuição espacial das componentes dos autovetores ("fatores de ponderação") para aqueles considerados mais representativos. O critério de representatividade deu-se naturalmente pela ordem decrescente dos autovalores de R. A seguir agruparam-se hierarquicamente os fatores de ponderação associados às estações, de forma a definir regiões homogêneas no estado do Rio Grande do Sul, cada região caracterizando-se pela semelhança dos conjuntos de fatores de ponderação. O número de autovetores escolhido para o agrupamento ficou determinado pelo critério de KAISER (ALDAZ, 1984; POSSOLI, 1984; GARAYALDE, 1986). Este critério considera como fornecedores de informação aqueles autovetores cujos autovalores sejam superiores à unidade.

3.3 Análise do ciclo anual da precipitação

Analisou-se a contribuição das componentes principais mais representativas do Estado e de cada sub-região detectada pela TAA. Por exemplo, o ciclo anual $y_A(t)$ de uma determinada região A homogênea pode ser aproximado por uma expressão com "p" estações (equações 2.6), e os coeficientes a_{kj} supõem-se representativos da região A.

Uma vez obtidas sub-regiões homogêneas no Estado, testou-se a aplicabilidade de ACP aos problemas de simulação de séries climatológicas de locais elaborando-se uma tabela L de coeficientes de estimativas para dados faltosos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

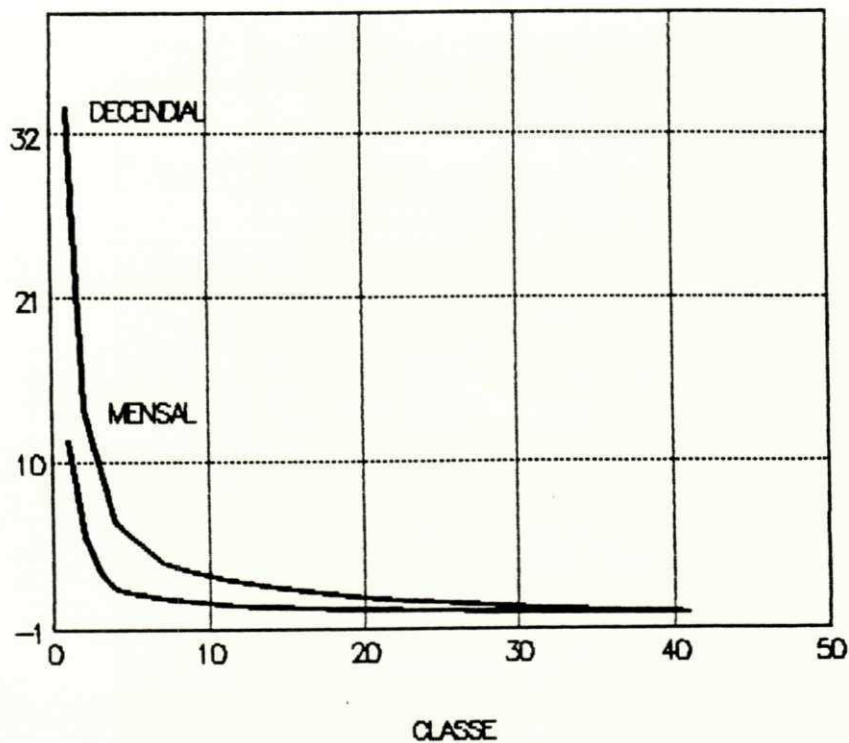
Os resultados serão descritos, separadamente, para as variáveis de temperatura e precipitação no estado do Rio Grande do Sul.

4.1 TEMPERATURA

4.1.1 Regionalização por Agrupamento

Na Tabela A1 do anexo A são mostrados os valores numéricos do salto sequencial da inércia intra-classe associada a sucessivos agrupamentos da temperatura mensal e decendial de 41 estações, onde cada estágio de partições em k classes corresponde a um nível de agregação. Evidencia-se pela Figura 4.1a que cortes principais (pela máxima inclinação da curva) se situam em níveis distintos, segundo a análise seja mensal ou decendial. Todavia, nenhuma das curvas permite decidir claramente onde deve situar-se o corte, já que elas decrescem sem grandes oscilações. Assim, é mais conveniente avaliar os decrementos da curva de inercia para sucessivos agrupamentos definidos pela distância relativa $[(\text{Inerc}(j+1) - \text{Inerc}(j)) / \text{Inerc}(j+1)]$ entre cada estágio, os quais são ilustrados na Figura 4.1b. Levando em consideração este método de análise, optou-se por cortes no dendrograma que definem cinco e quatro sub-regiões termicamente homogêneas para registros mensais e decendiais, respectivamente (Figuras 4.2a e 4.2b). A Tabela 4.1 fornece uma síntese da situação de agrupamentos para os cortes escolhidos; para Tdecendial, uma segunda escolha possível seria de oito classes.

NIVEL DE AGREGACAO



b)

$(N(i+1) - N(i)) / N(i+1)$

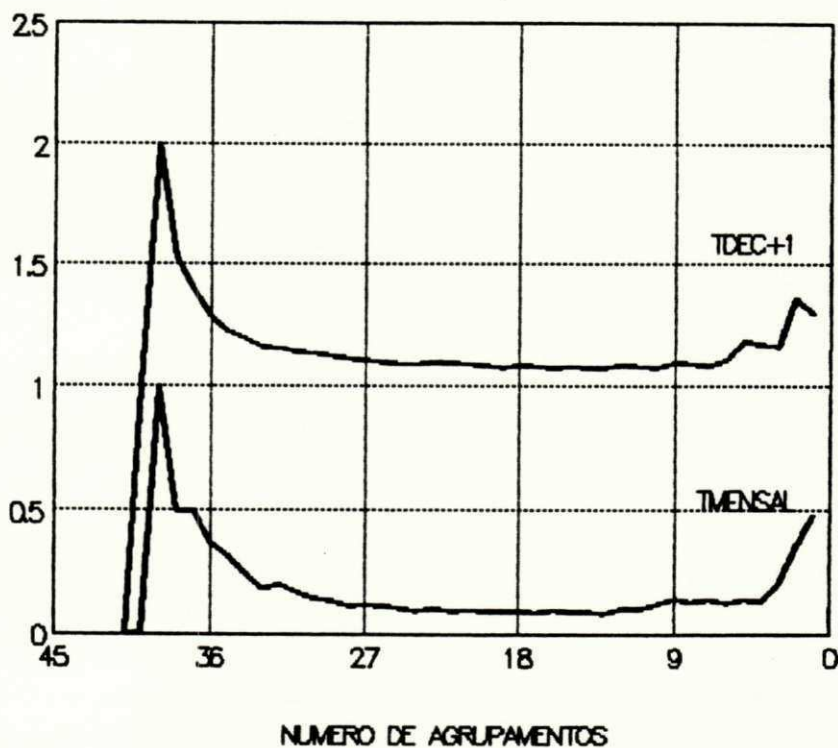


Figura 4.1 - a) Poligonal da inércia para temperatura média;
b) Decrementos de inercia.

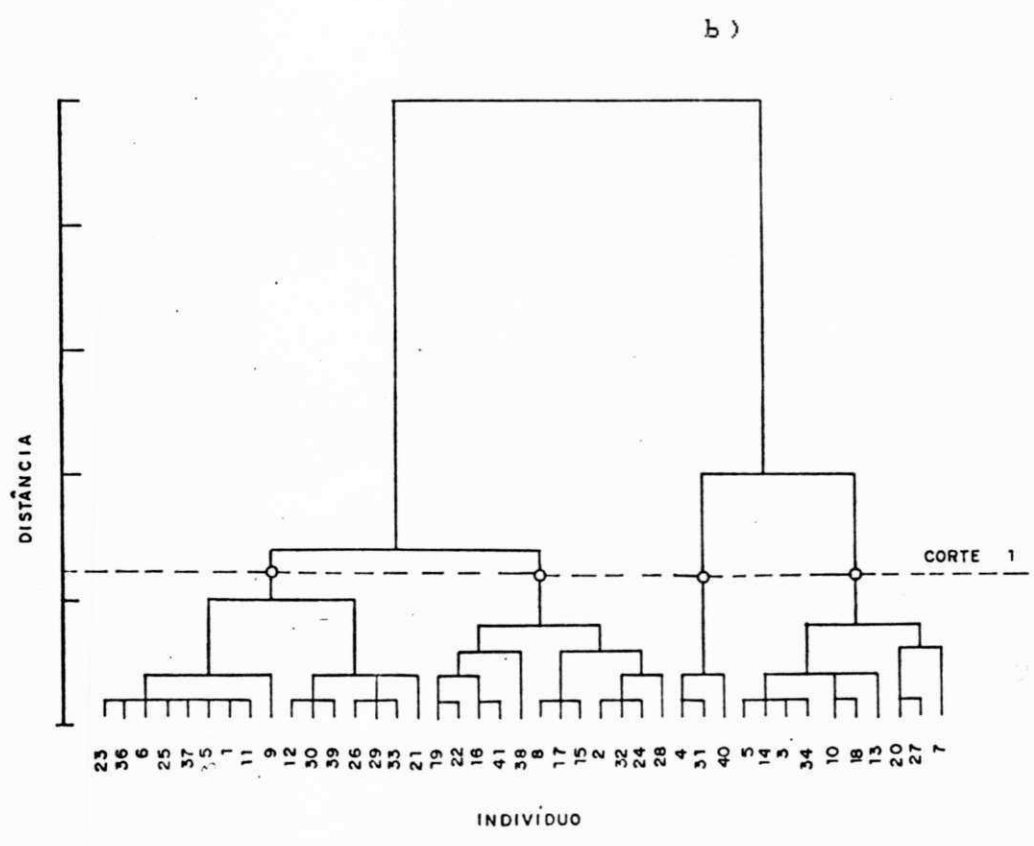
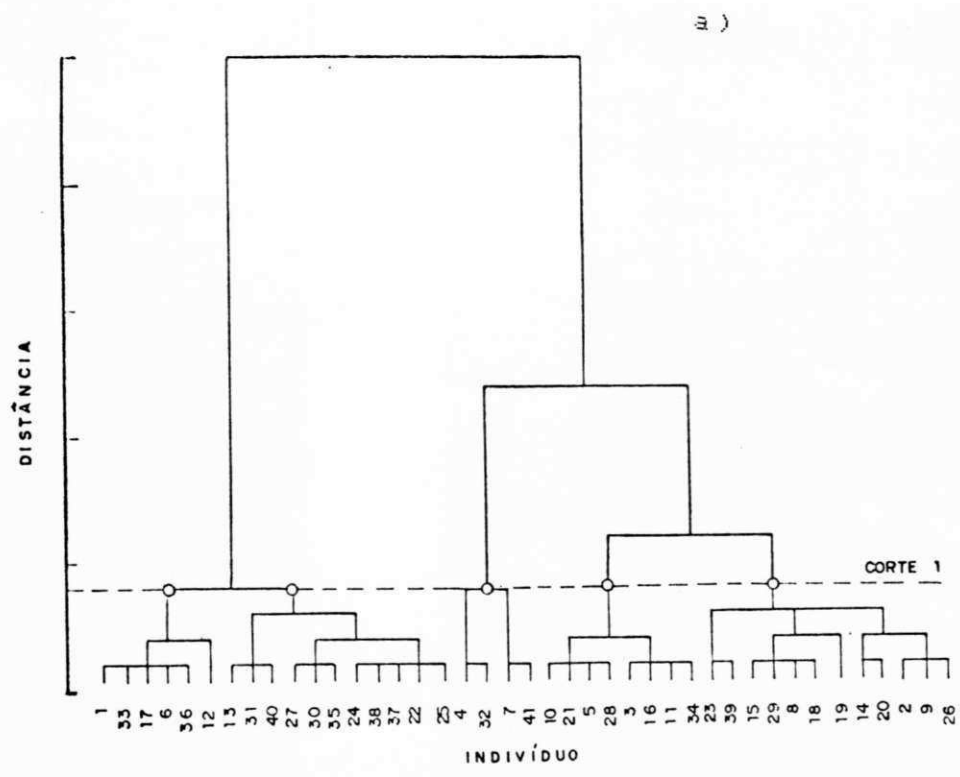


Figura 4.2 - Dendrogramas da temperatura a)mensal; b)decennial.

	TMENSAL	TDECENDIAL
CORTE	1	1 2
ESTAGIO (j)	36	37 33
NIVEL (10 ²)	1,39	6,05 3,04
CLASSE	5	4 8

Tabela 4.1 - Nível de agregação, estagio e numero de grupos a serem delimitados.

A seguir são apresentados os grupos formados pelo agrupamento hierárquico para valores mensais e decendiais da temperatura. Nota-se a semelhança com as regiões definidas por MACHADO (1950), ilustradas na Figura 2.

TEMPERATURA MENSAL (5 grupos)

GRUPO I: Depressão Central (sul) e Alto Vale do Uruguai

Alegrete, São Gabriel, Marcelino Ramos, Cachoeira do Sul, Tapes, Iraí.

GRUPO II: Depressão Central (norte) e Baixo Vale do Uruguai

Itaqui, São Borja, Uruguaiana, Santa Rosa, Santo Angelo, São Luiz Gonzaga, Santa Cruz do Sul, Taquari, Taquara, Porto Alegre, Santa Maria.

GRUPO III: Serra do Nordeste e Transição

Bom Jesus, São Francisco de Paula, Caxias do Sul, Vacaria.

GRUPO IV: Serra do Sudeste, Transição e Serra do Nordeste

Encruzilhada do Sul, Piratini, Caçapava do Sul, Santa Vitória do Palmar, Bento Gonçalves, Lagoa Vermelha, Guaporé, Soledade.

GRUPO V: Litoral e Transição

Rio Grande, Torres, Julio de Castilhos, Santiago, Cruz Alta, Palmeira das Missoes, Passo Fundo, Jaguarão, Pelotas, Bage, Dom Pedrito, Santana do Livramento.

TEMPERATURA DECENDIAL (4 grupos)

GRUPO I: Depressão Central e Vale do Uruguai

Santa Cruz do Sul, Taquara, Cachoeira do Sul, Santa Maria, Taquari, Tapes, Alegrete, Irai, Dom Pedrito, Itaqui, São Borja, Uruguaiana, Santa Rosa, Santo Angelo, São Luiz Gonzaga, Porto Alegre.

GRUPO II: Litoral e Transição

Pelotas, Rio Grande, Mostardas, Viamão, Torres, Cruz Alta, Palmeira das Missões, Marcelino Ramos, Bagé, São Gabriel, Santana do Livramento, Santiago.

GRUPO III: Serra do Nordeste e Transição

Bom Jesus, São Francisco de Paula, Vacaria.

GRUPO IV: Serra do Sudeste, Transição e Serra do Nordeste

Caçapava do Sul, Lagoa Vermelha, Bento Gonçalves, Soledade, Guaporé, Passo Fundo, Jaguarão, Piratini, Santa Vitória do Palmar, Caxias do Sul.

Obs.: Convencionou-se denominar as regiões climáticas "Planalto" e "Campanha" como "Transição" devido as mesmas comportarem-se como tal entre as demais regiões.

E conhecido que a variação da temperatura no estado do Rio Grande do Sul é altamente dependente da movimentação de massas de ar oriundas dos Anticiclones Polar e Atlântico (AP e AA, no que segue), das variações de altitude, da maritimidade e continentalidade. Durante a maior parte do ano, estes dois anticiclones atuam alternada e homogeneamente sobre todo o Estado, (AA mais intenso no verão e AP como responsável das

quedas de temperatura no inverno). Por esta forma geral e abrangente da atuação dos anticiclones, a delimitação dos grupos torna-se marcada pelo relevo, principalmente, e pela ação termoreguladora da maritimidade e das grandes extensões ocupadas pela Laguna dos Patos, Lagoas Mirim e Mangueira na sua parte leste. Como é visto (Figuras 4.3a e 4.3b), ambos os agrupamentos delimitam praticamente as mesmas regiões influenciadas pela altitude das regiões serranas, continentalidade da fronteira oeste e maritimidade delineando claramente o litoral gaúcho.

Estas divisões deixam bem clara a grande homogeneidade com que se comporta a temperatura. Os grupos relativos as médias mensais não ilustram senão a distribuição da média anual. Isto é percebido quando se compara com trabalhos climatológicos já existentes (MACHADO, 1950; MORENO, 1961; ATLAS, 1989). Há uma grande semelhança entre os grupos formados e a configuração das isotermas anuais (Figura 4.3c), onde o agrupamento permitiu uma melhor delimitação destas regiões homogêneas. Algo semelhante ocorre com relação as médias decendiais, para as quais o agrupamento resultaria não só do comportamento anual, mas também de pequenas flutuações espaciais existentes ao longo do ano (ATLAS, 1989). Os grupos III e IV estão associados à região serrana (Serras do NE e SE) para praticamente todos os meses; o grupo II (ou V para T_{mensal}) parece associado tanto a ação termoreguladora referente ao litoral (vista claramente nos meses de dezembro e janeiro), como a uma faixa de transição entre as regiões serranas e o Vale do Uruguai, incorporando parte das regiões climáticas Campanha e Planalto (Figura 2), por outro lado, ao optar-se por um mesmo número de grupos que para T_{mensal} (isto é, 5 grupos), estas flutuações espaciais em escala menor tornam-se melhor visualizadas (Figura 4.3d). Por exemplo, a região do Vale do Uruguai fica claramente delimitada, o que é visto com maior ou menor intensidade na configuração das isolinhas para os meses do ano. Também se evidenciam singularidades, como a "ilha" formada em torno de Porto Alegre (verificadas em maio e julho, principalmente), que passa a fazer parte deste novo grupo da fronteira oeste do Estado.

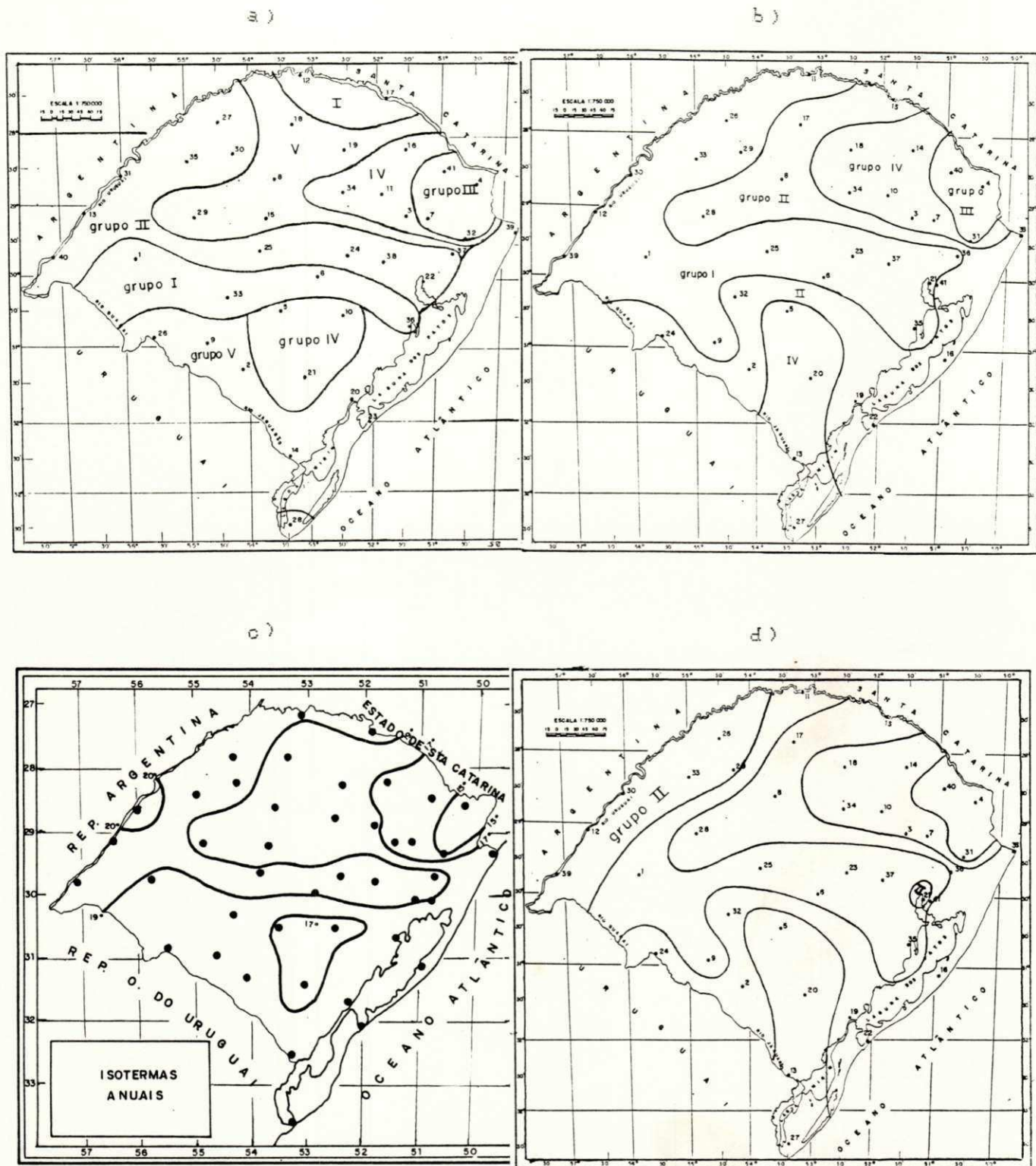


Figura 4.3 - a) Agrupamento da temperatura mensal; b) Agrupamento da temperatura decennial; c) Isothermas anuais de temperatura; d) Agrupamento da temperatura decennial para 5 grupos.

Os agrupamentos (tanto mensais quanto decendiais) exibem algumas diferenças com relação às isotermas do mês de julho (ATLAS) as quais apresentam uma menor variabilidade termica entre as diversas regiões do Estado. Este fato provém da temperatura sofrer maior influência dos sistemas frontais que se impõem à influência dos fatores estáticos e geram uma maior homogeneidade entre as regiões. É possível que, se a TAA fosse aplicada restritamente aos meses de inverno, obter-se-ia um menor número de grupos.

4.1.2 Regionalização por Componentes Principais

Do ponto de vista de Componentes Principais, a temperatura em todos os seus aspectos (máxima, mínima, mensal ou decendial) apresenta comportamento bastante homogêneo, de forma que a primeira componente é virtualmente responsável pela variância do regime anual. Com efeito: o parâmetro com maior variabilidade observada é a temperatura média decendial; mesmo assim, sua primeira CP acumula 97% da variância dos dados. Para as outras temperaturas, esta acumula pelo menos 99% de informação. No que segue, a análise se limitará apenas às médias decendiais.

Os resultados vêm a somar-se aos obtidos no item 4.1.1: todo o estado do Rio Grande do Sul é igualmente afetado pelos sistemas influentes na variabilidade de sua temperatura. Ao se considerar os fatores de ponderação da primeira CP, observa-se que eles oscilam em torno de 0,15. Esta é uma evidência de que a primeira CP se projeta homogeneamente sobre o Estado: se todos os fatores de ponderação fossem iguais (com valor a_0), então deveria ser $41 \times a_0^2 = 1$, ou seja $a_0 = 0,16$. A TAA, tal como aplicada no item 4.1.1, está baseada no conceito de distância euclidiana entre variáveis não normalizadas. Dessa forma, locais "mais próximos" caracterizam-se por ter temperaturas semelhantes e menor variância intra-grupo; portanto, o agrupamento tende a separar regiões, segundo efeitos de maritimidade, continentalidade e

altitude. Na medida em que a ACP foi aplicada a variáveis normalizadas, dois locais "próximos" caracterizam-se mais pela semelhança do comportamento temporal dessas variáveis, antes do que das respectivas variâncias. Por exemplo, sistemas frontais passando pelo Rio Grande do Sul afetam de forma semelhante a temperatura normalizada do Estado todo, embora as quedas de temperatura possam ser menores em locais litorâneos do que em continentais. Estas considerações podem ser expressas da seguinte forma: a série temporal (decidual climatológica) do j-ésimo local tem a forma fundamental

$$y_j(t) = a_{1j}z_1(t) + a_{0j}z_1(t),$$

$$T_j(t) = \bar{T}_j + a_{0j}z_1(t) \sigma_j .$$

onde σ_j é o desvio padrão da série.

Esta expressão evidencia que:

- 1) todas as estações estariam climatologicamente "em fase" com relação ao ciclo anual;
- 2) duas estações "diferentes" seriam-no pelo fato de terem parâmetros diferentes, (\bar{T}_j, σ_j) , que são os elementos usados pela TAA para agrupar as estações.

A Figura 4.4 mostra a marcha anual da primeira CP decidual, a qual se apresenta de forma semelhante a das isotermas anuais traçadas por diversos autores. Também são ilustradas a marcha anual de estações do litoral, continente e serra. Observa-se o mesmo tipo de comportamento entre elas e com relação à primeira CP. Os valores mais elevados são atingidos em janeiro e fevereiro, com declinação lenta a partir de março, que vai acentuando-se nos meses de outono e inverno. O mínimo é atingido em julho, mês em que se destaca a maior

ocorrência de entradas de massas polares no Estado (frentes). As diferenças reais entre as duas estações se referem, essencialmente, a sua média anual e a amplitude do ciclo.

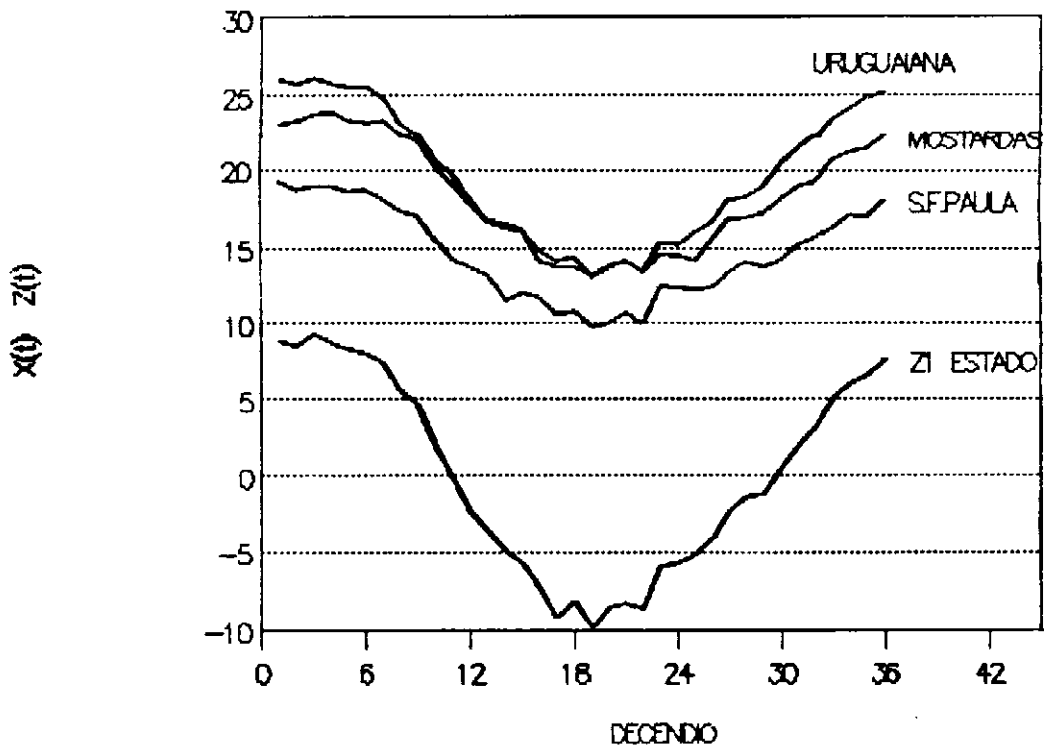


Figura 4.4 - Marcha anual da 1ª CP decennial e da temperatura para estações do R. G. do Sul.

4.2 PRECIPITAÇÃO

4.2.1 Regionalização por Análise de Agrupamento

Utilizando o mesmo procedimento de análise que para a temperatura, neste caso efetuaram-se dois cortes no dendrograma para cada uma das series, de forma a existir um principal (o de maior decremento na curva da inércia) e um secundário, produzindo um maior numero de grupos (Figuras 4.5a e 4.5b). Observa-se que no primeiro nível aparecem grupos mais genéricos, formando k_1 classes, enquanto que no segundo os grupos resultantes são mais específicos, subdividindo a região em k_2 grupos pluviometricamente homogêneos. Adotou-se este critério de dois cortes pela variabilidade que a precipitação apresenta quando comparada a outros parâmetros climatológicos. Os níveis de agregação das respectivas localidades pertencentes a cada grupo, na sub-divisão mensal e decendial podem ser visualizados na Tabela 4.2, (vide também a Tabela A1 do anexo A).

	PMENSAL		PDECENDIAL	
CORTE	1	2	1	2
ESTAGIO (j)	38	36	38	35
NIVEL (10^2)	1172	817	724	515
CLASSES (k_1, k_2)	3	5	3	6

Tabela 4.2 - Nível de agregação (inércia), estágio e número de grupos a serem delimitados.

A seguir são descritas as localidades pertencentes a cada grupo formado pela subdivisão mais genérica para precipitação mensal e decendial, respectivamente, visualizados nas Figuras 4.6a e 4.6b.

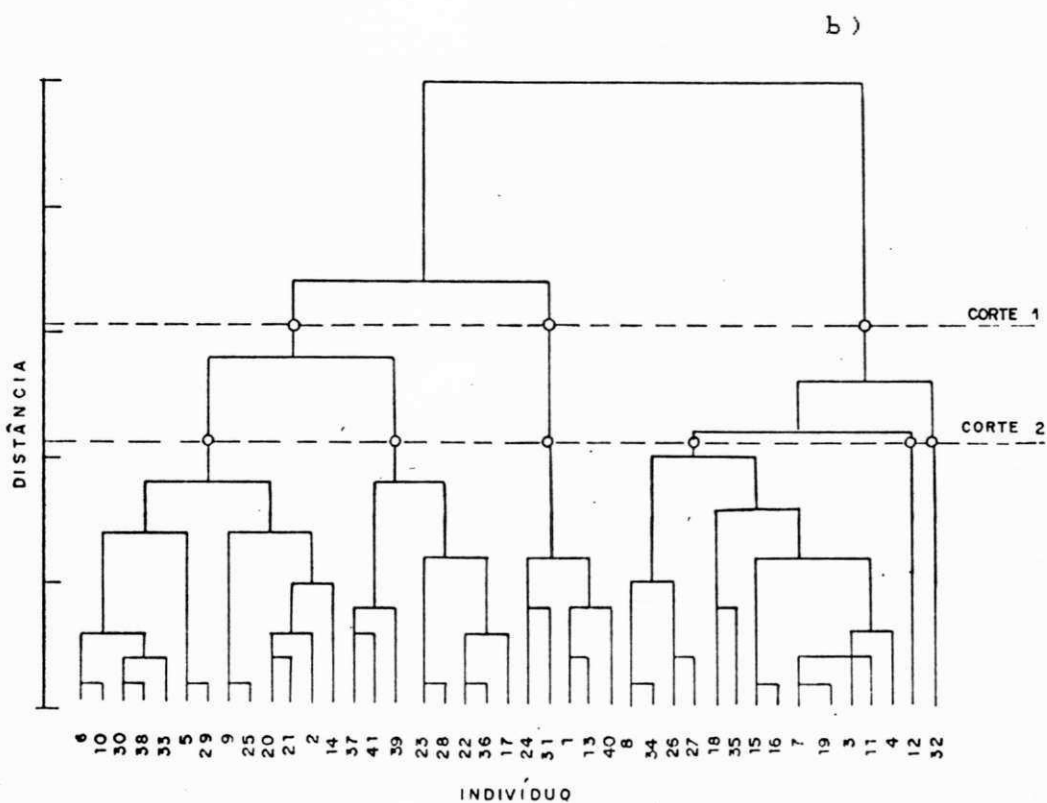
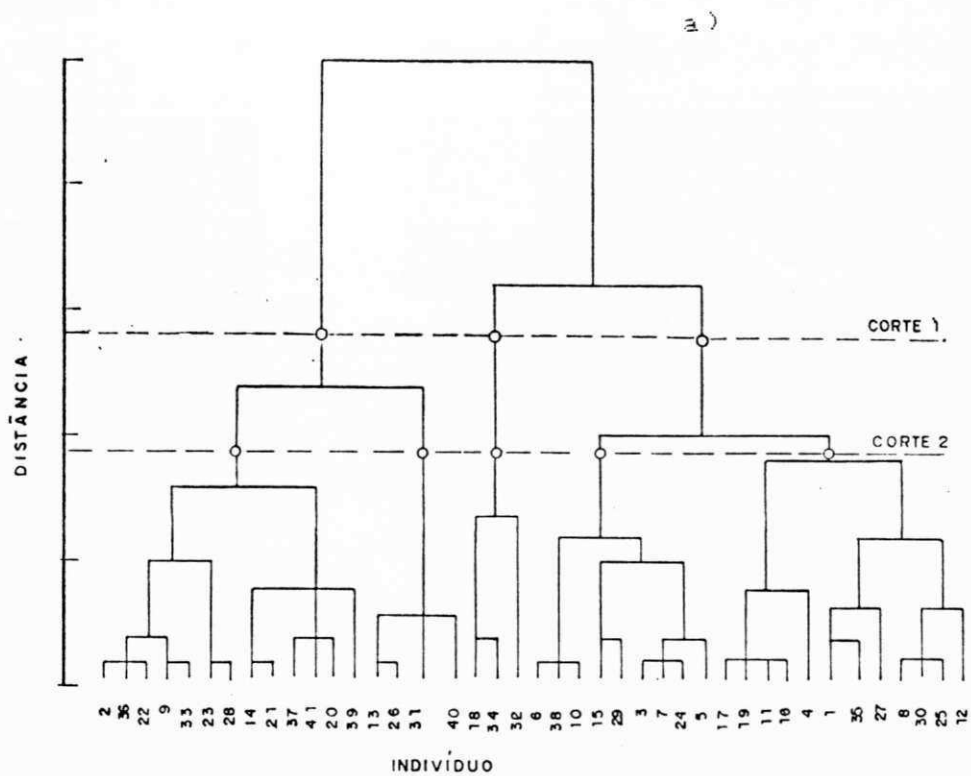


Figura 4.5 - Dendrogramas da precipitação a) mensal; b) decenal.

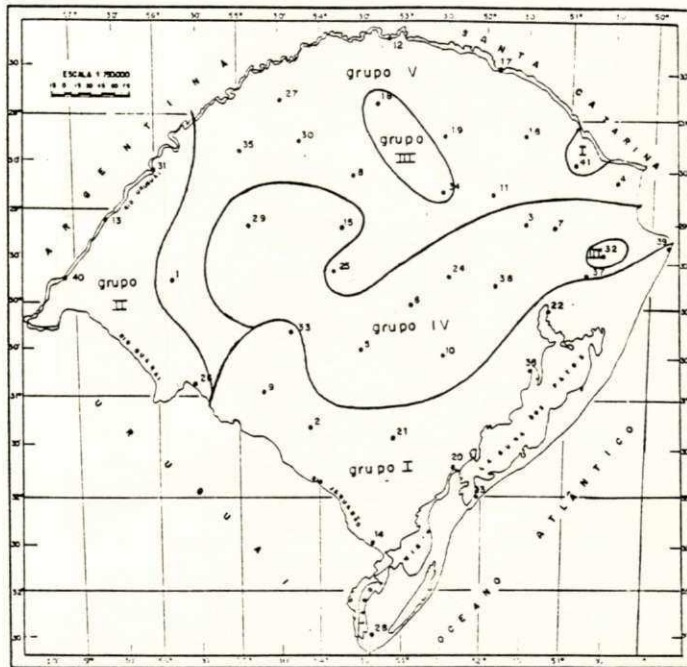
PRECIPITAÇÃO MENSAL (5 grupos)

- GRUPO I: Bagé, Tapes, Porto Alegre, Dom Pedrito, São Gabriel, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Jaguarão, Piratini, Taquara, Vacaria, Pelotas, Torres;
- GRUPO II: Itaqui, Santana do Livramento, São Borja, Uruguaiana;
- GRUPO III: Palmeira das Missões, Soledade, São Francisco de Paula;
- GRUPO IV: Cachoeira do Sul, Taquari, Encruzilhada do Sul, Julio de Castilhos, Santiago, Bento Gonçalves, Caxias do Sul, Santa Cruz do Sul, Caçapava do Sul;
- GRUPO V: Marcelino Ramos, Passo Fundo, Guaporé, Lagoa Vermelha, Bom Jesus, Alegrete, São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, Santo Angelo, Santa Maria, Iraí;

PRECIPITAÇÃO DECENDIAL (6 grupos)

- GRUPO I: Cachoeira do Sul, Encruzilhada do Sul, Santa Cruz do Sul, Taquari, São Gabriel, Caçapava do Sul, Santa Maria, Dom Pedrito, Santana do Livramento, Pelotas, Piratini, Bagé, Jaguarão;
- GRUPO II: Taquara, Vacaria, Torres, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Porto Alegre, Tapes, Mostardas;
- GRUPO III: Santiago, São Borja, Alegrete, Itaqui, Uruguaiana;
- GRUPO IV: Cruz Alta, São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Santo Angelo, Palmeira das Missões, Soledade, Lagoa Vermelha, Marcelino Ramos, Caxias do Sul, Passo Fundo, Bento Gonçalves, Guaporé, Bom Jesus;
- GRUPO V: Iraí;
- GRUPO VI: São Francisco de Paula.

a)



b)

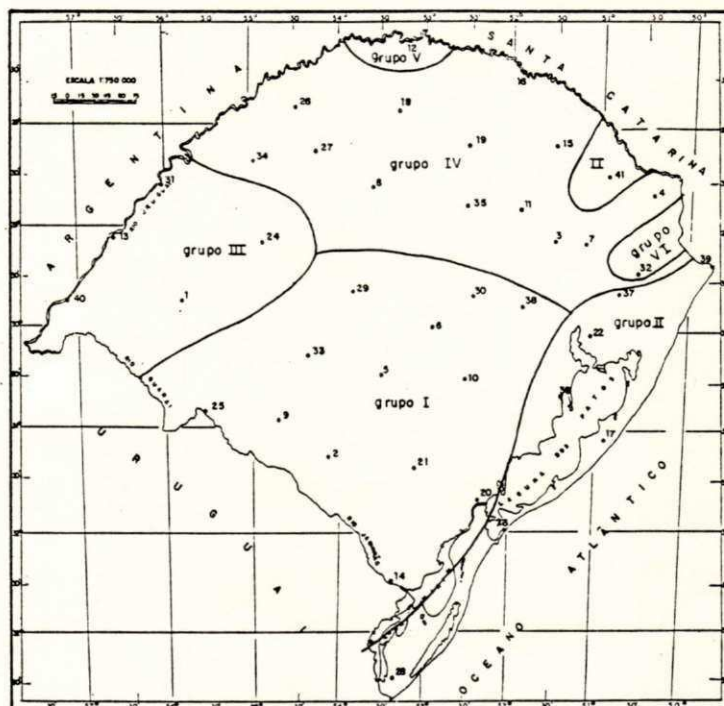


Figura 4.6 - a) Agrupamento da precipitação mensal;
b) Agrupamento da precipitação decenal.

A disposição dos agrupamentos apresenta configurações um pouco diferenciadas, mas não contraditórias, havendo um complemento entre ambas: os grupos decendiais mostram de maneira bem simples a disposição de seus componentes, o litoral e o extremo oeste muito bem definidos, visualiza-se também uma separação entre grupos formados ao norte e ao sul caracterizados por desvios semelhantes com relação à sua média. Já o agrupamento mensal apresenta um pouco mais de detalhamento com relação a região central, quase que delimitando a Depressão Central determinada por MACHADO (1950) e as estações de Palmeira das Missões e Soledade pertencendo ao mesmo grupo referente a São Francisco de Paula; o litoral agora se confunde com a Campanha, a fronteira oeste permanece na sua estrutura básica.

Ambos os resultados são coerentes com o que a literatura consultada apresenta, a escolha do agrupamento ótimo deverá seguir os objetivos de análise desejados. Embora neste item fosse interessante uma caracterização climática para cada sub-região, este não é o objetivo principal deste trabalho, pois inúmeros estudos já vêm abordando o tema de análise climática.

4.2.2 Regionalização por Componentes Principais

A Figura 4.7 ilustra um diagrama dos autovalores como função da ordem k das componentes principais. Nota-se que, após a 5ª componente mensal e 6ª decendial, as linhas tornam-se aproximadamente horizontais, indicando que as componentes restantes representam somente uma pequena parcela da descrição da variância. Ordenando os autovetores a_k segundo a ordem decrescente dos autovalores λ_k , as respectivas CP's z_k devem ser progressivamente menores. A Tabela 4.3 mostra que as seis primeiras CP's mensais acumulam 95% da variância total da série, enquanto que para os dados decendiais tem-se 85% da variância para as seis primeiras z_k associadas.

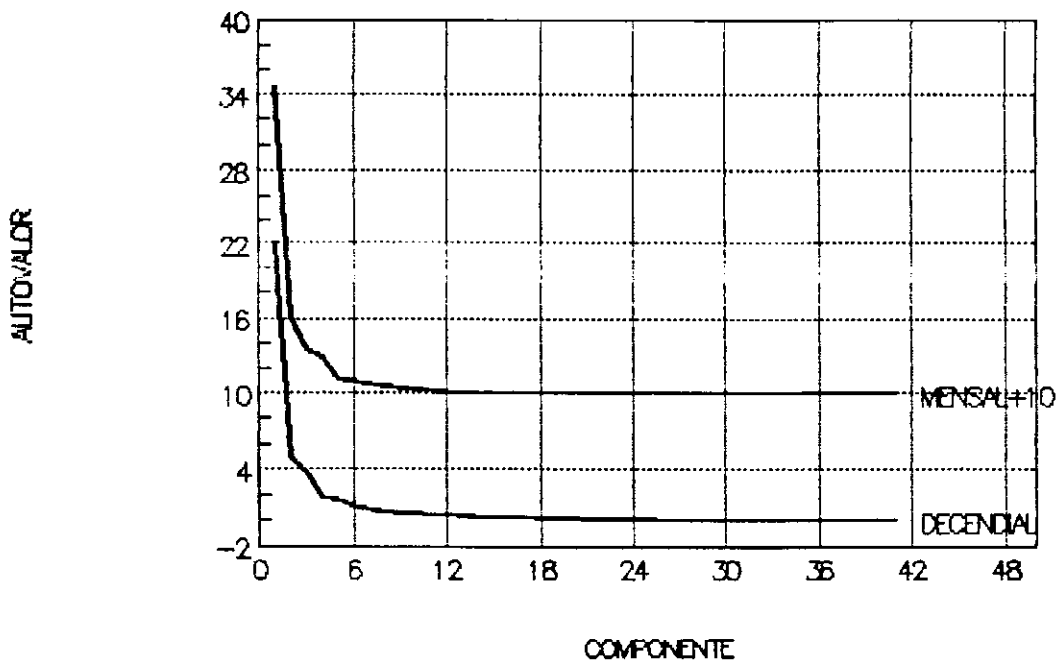


Figura 4.7 - Diagrama de autovalores como função das CP's.

k	MENSAL		DECENDIAL	
	λ_k	V.ac. (%)	λ_k	V.ac. (%)
1	24,7	60,2	22,0	53,8
2	6,1	75,0	4,9	65,8
3	3,4	83,3	3,7	74,8
4	2,9	90,3	1,8	79,3
5	1,1	92,9	1,5	83,0
6	0,9	95,0	1,1	85,6
.
.
.

Tabela 4.3 - Sequência de autovalores (por ordem decrescente) e contribuição progressiva à variância total da precipitação do sistema de $p = 41$ estações.

Espera-se que, partindo de registros decendiais com o mesmo número de componentes, seja possível obter-se uma melhor visualização e interpretação da variabilidade temporal da precipitação. Isto porque a série de dados mensais pode perder informação acerca das flutuações do ciclo anual. Com base nesta consideração, optou-se pelo cálculo e análise das CP's com base apenas na precipitação decendial; matrizes A e Z encontram-se nas Tabelas A₂ e A₃ do Anexo A, limitadas às primeiras CP's.

A 1ª CP pode ser considerada como uma primeira aproximação às relações lineares existentes na série de dados, tornando-se um resumo dessas relações e mostrando o comportamento geral da região e do conjunto dos agentes causadores da variação temporal ou espacial da variável considerada. É importante salientar que o Rio Grande do Sul é homogêneo com relação à 1ª CP, de forma que o ciclo anual desta descreve o regime médio predominante do conjunto do Estado (no que se refere à precipitação normalizada).

O comportamento espacial foi primeiro examinado pela distribuição dos fatores a_{kj} de ponderação das CP's. As Figuras 4.8a, 4.8b e 4.8c ilustram a distribuição dos fatores referentes aos autovetores com $k=1$, $k=2$ e $k=3$, ou seja, primeira, segunda e terceira DP. A 1ª DP apresenta uma distribuição quase que homogênea dos fatores sobre o Estado. Isto implica em dizer que os fatores a_{1j} são próximos a 0,16 para as 41 estações. A região extremo noroeste tende a se afastar desta homogeneidade espacial, delineando uma região divisória próxima das divisas com Santa Catarina e Argentina. Esta verificação sugere que as localidades desta região e principalmente Iraí ($a_{112} = -0,06$) possuem características não pertencentes ao estado do Rio Grande do Sul a nível desta DP.

Analisando de forma combinada as Figuras 4.8a e 4.9a, pode-se dizer que, a nível da 1ª CP, o ciclo anual da precipitação apresenta um período de maior relevância em meados da primavera, mais precisamente de setembro a outubro. Como

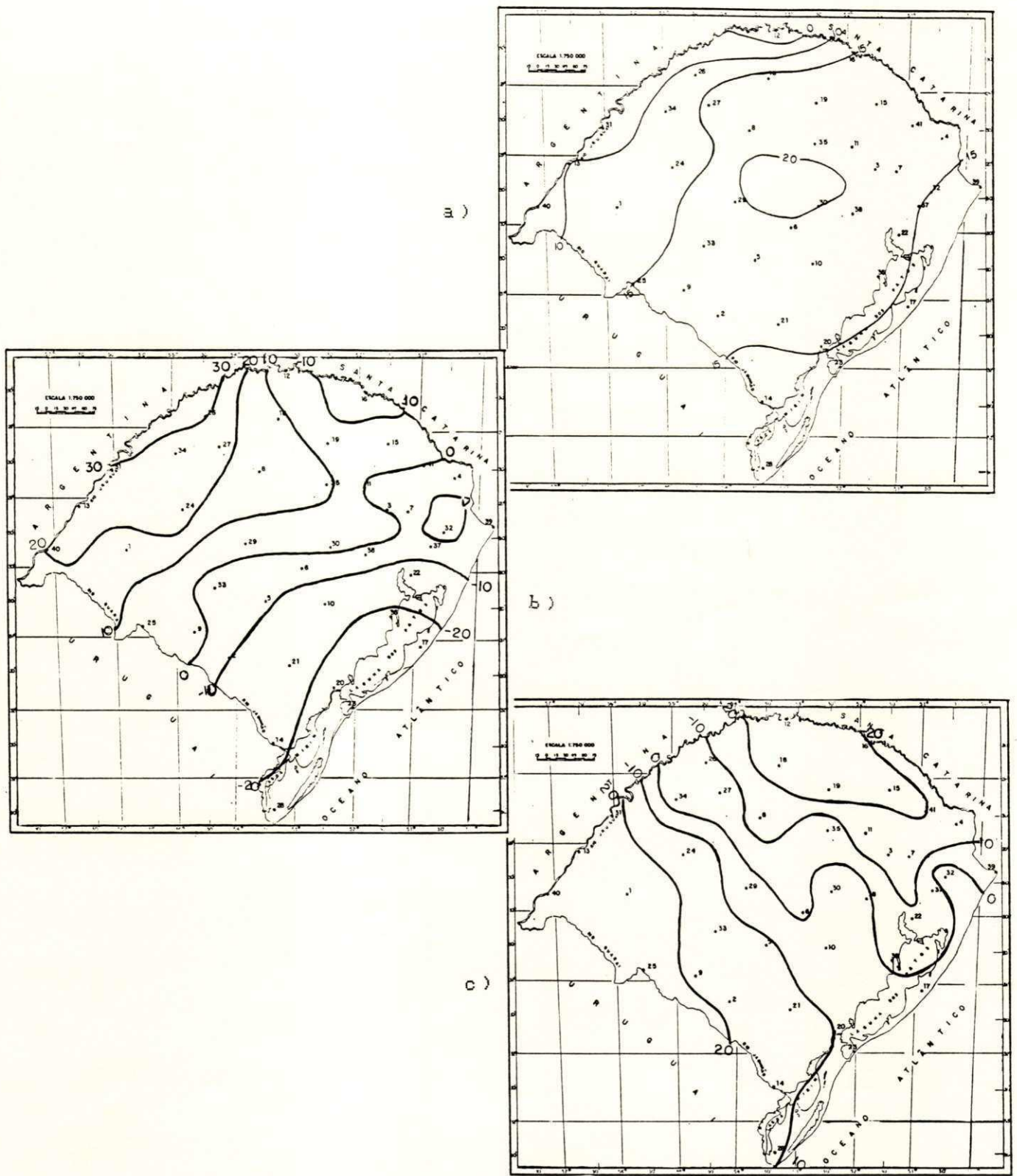


Figura 4.8 - Distribuição espacial dos fatores de ponderação
 a) para $k=1$; b) para $k=2$; c) para $k=3$, (vezes 100).

Época mais seca destacam-se, em primeiro plano, exatamente o mês de novembro e, em segundo lugar, os meses de abril e maio.

A região do Alto Vale do Uruguai (MACHADO, 1950) apresenta-se como uma exceção ao quadro médio, onde os fatores a_{1j} negativos evidenciam uma faixa estreita de contraposição às demais localidades em estudo. De qualquer forma, os fatores de ponderação nesta região são próximos de zero; portanto a 1ª CP não deve ser significativa para o ciclo anual e a aplicação desta CP para efeitos de aproximações de séries de dados deverá ser desconsiderada.

Por outro lado, a 2ª DP não se projeta homoganeamente no Estado todo. Os fatores de ponderação delimitam uma região de transição $a_{2j}=0$ de nordeste a sudoeste com total independência desta CP, assim como núcleos altamente positivos a oeste em torno de São Borja e Santa Rosa, e a leste com comportamento oposto abrangendo as localidades de Rio Grande e Mostardas. Observa-se uma semelhança muito grande com isoietas de outono (Figura 4.10) sugerindo uma associação entre esta CP e um agente influente na precipitação do Estado para esta época do ano. VELASCO & FRITSCH (1987) evidenciaram a existência de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) provenientes de sotavento da Cordilheira dos Andes, atuando como um dos geradores de precipitação entre meados da primavera e meados do outono nesta região. A intensidade de $z_2(t)$ durante o outono (Figura 4.9b) parece confirmar esta associação. Todavia $z_2(t)$ não é relevante em janeiro e fevereiro, o que indica a possibilidade de outros fenômenos serem preponderantes nestes meses, como por exemplo a Baixa do Chaco que encontra-se muito intensa e atuante nesta parte do Estado (NIMER, 1989); percebe-se que o regime pluviométrico do estado do Rio Grande do Sul não está condicionado por um único agente influente.

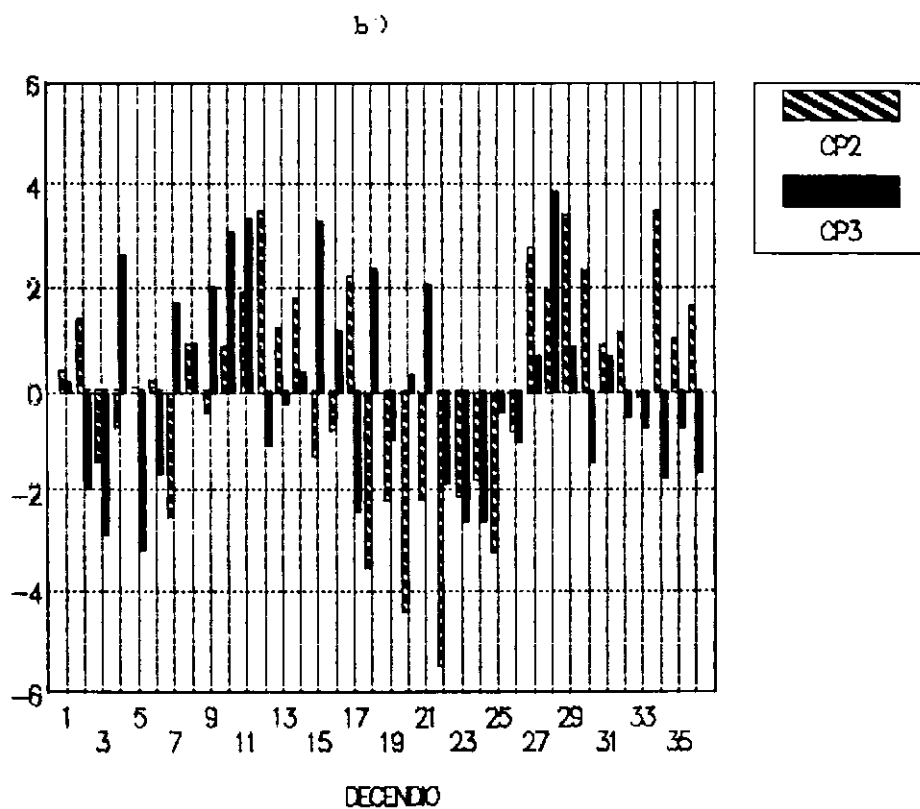
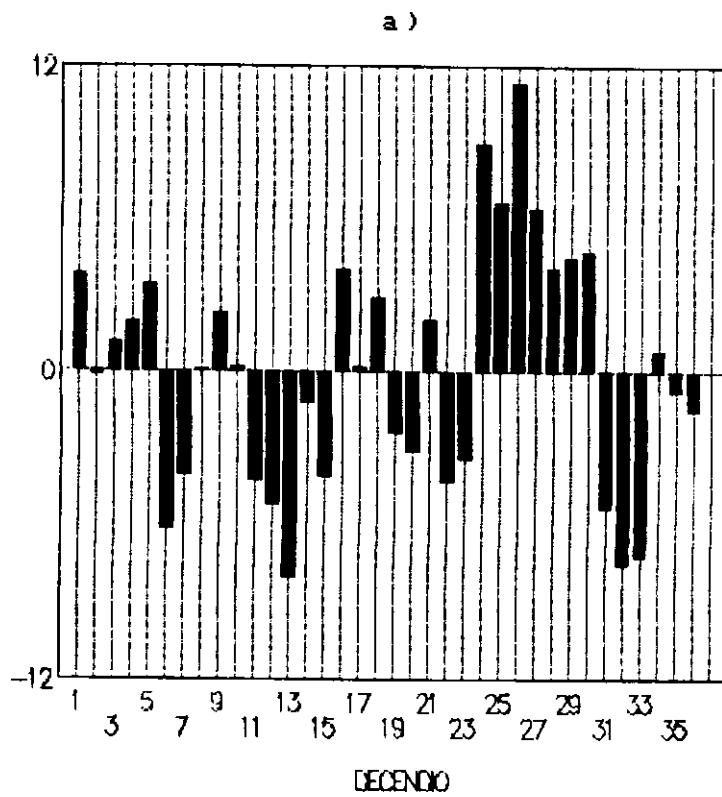


Figura 4.9 - a) Marcha anual da 1a CP; b) Marcha anual das 2a e 3a CP's.

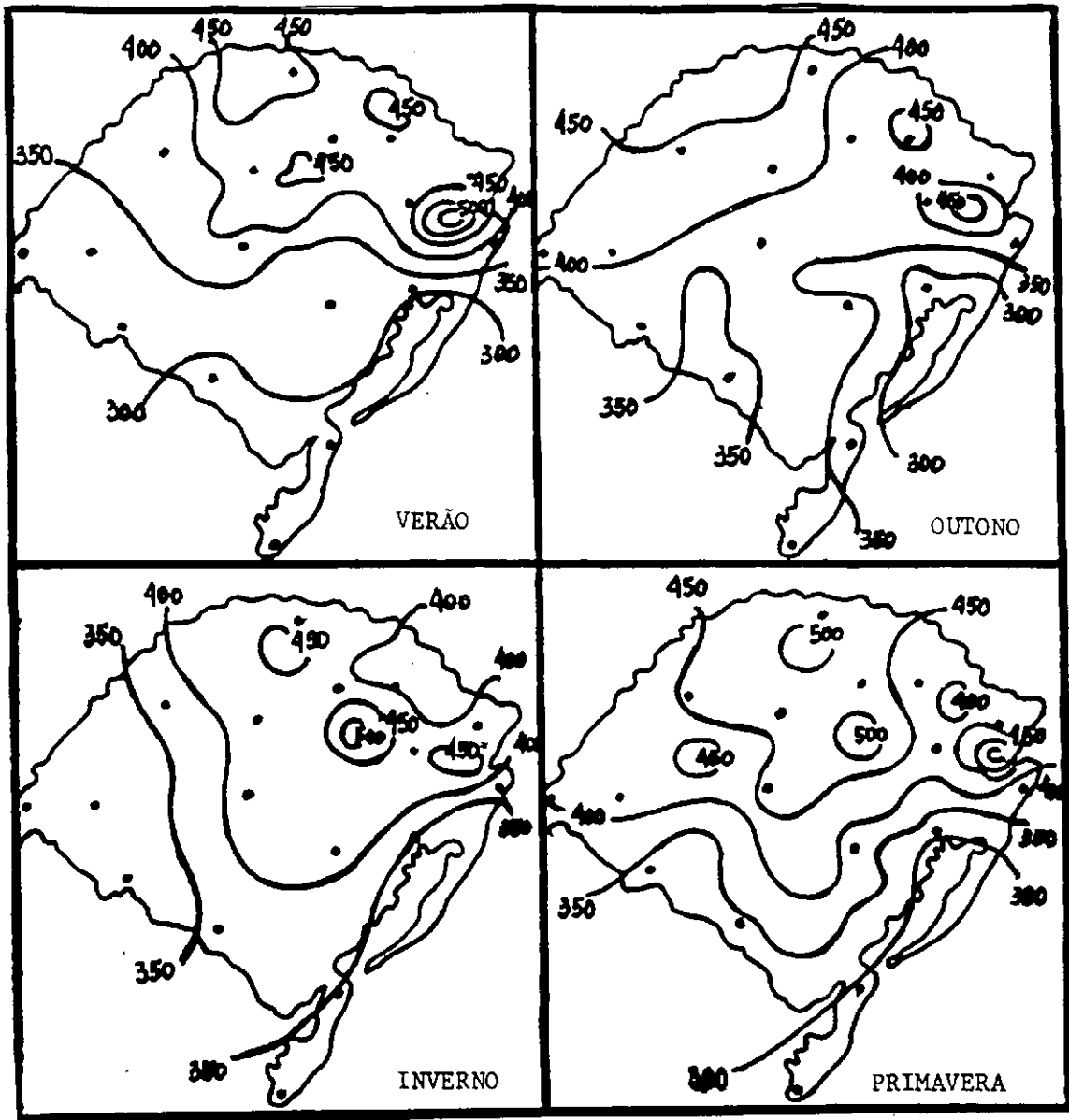


Figura 4.10 - Isoietas para as estações do ano (segundo MATSCHINSKE, 1990).

A 3ª CP mostra localidades mais positivamente representadas na parte sudoeste do Rio Grande do Sul, tais como Itaqui e Alegrete ($a_{3j} = 0,30$); a linha zero $a_{3j} = 0$ estende-se de leste a oeste, abrangendo localidades entre Torres e São Luiz Gonzaga. Sendo determinada por fenômenos de escala menor, esta CP já não se associa tão claramente a determinada época do ano para o Estado todo.

Durante a maior parte do ano, a segunda e terceira CP's se encontram em fase (Figura 4.9b), indicando a existência de regiões com maior ou menor influência de ambas, comportando-se de uma maneira quase que cíclica para os decêndios de outono, inverno e primavera. Entretanto, este comportamento de Z_2 e Z_3 não basta para a caracterização *difista do ciclo anual em todos os locais*, tornando-se fundamental a análise combinada com os fatores $a_{(2,3)j}$, os quais na a_0 possuem uma distribuição espacial homogênea (Figuras 4.8b e 4.8c).

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. Um primeiro critério já foi exposto, aplicando TAA a séries de dados não normalizados. No que segue, serão descritos mais quatro destes baseados na ACP.

regimes seguintes:

REGIME A - Segunda DP positiva e terceira negativa: região em que o período chuvoso é bem definido nos três decêndios do mês de dezembro. fim de abril a início de maio; já como períodos menos chuvosos destacam-se o terceiro decêndio de maio a primeiro de junho, terceiro de junho, segundo e terceiro de julho.

REGIME B - Segunda e terceira DP positivas: os meses de março (2^o dec), abril (1^o e 2^o dec) e fim de setembro a 2^o dec de outubro apresentam-se como os mais chuvosos, agosto e setembro como menos chuvosos.

REGIME C - Regime oposto ao descrito como A, apresenta fatores negativos e positivos para segunda e terceira DP, respectivamente.

REGIME D - Pequena região abrangendo a serra do nordeste gaúcho e de baixa explicação à variância destas CP, a qual pode indicar uma quarta componente como responsável por seu regime. A nível de $a_{2,3p}$ pode-se classificá-la como chuvosa de agosto a 2^o dec de setembro e mais seca em decêndios de março, abril e outubro.

Os regimes determinados somente com as duas DP's representam nada além do que uma divisão genérica para quatro grupos de ritmo estacional da precipitação. NIMER (1989) definiu mapas de concentração máxima e mínima de precipitação em três meses consecutivos para a região Sul do país; nove comportamentos enquadram-se dentro do estado do Rio Grande do Sul. O regime "A" além de evidenciar os decêndios de outono como chuvosos, apresenta dezembro como importante gerador de precipitação nesta região (fato não ressaltado na divisão feita por NIMER). Duas hipóteses podem ser consideradas para explicar esta divergência:

- 1) o presente critério de identificação de possíveis regimes é mais acurado, pois detalha o comportamento decencial

(as regiões identificadas por NIMER são trimestrais, com base na concentração de chuva em três meses consecutivos);

- 2) as componentes $z_2(t)$ e $z_3(t)$ podem ser "intensas" em dezembro, mas apresentam um "peso" menor se comparadas com outras componentes (em particular a primeira), compensando-se seu efeito no quadro geral do mês.

Os demais regimes aproximam-se satisfatoriamente das regiões definidas pelo citado autor. Com relação aos três meses menos chuvosos, os resultados apresentam uma razoável concordância, visto que está se analisando tão somente a contribuição de duas componentes principais.

Critério 2: Análise objetiva da 2a e 3a CP's

O conjunto de 41 pares de fatores $a_{(2,3)j}$ é submetido à TAA. A Figura 4.11b ilustra o resultado ao se definir uma divisão em seis grupos (a partir do critério de inércia).

Este critério objetivo permite um melhor detalhamento na identificação dos regimes básicos predominantes já evidenciados pelo critério anterior, ou seja, o grupo V pode ser considerado como uma região de neutralidade destas CP's (forte a nível da 1a); o grupo III permanece como regime B, só que agora composto por locais de $a_{2,3}$ positivos mais elevados; as regiões A e C se subdividem formando dois novos grupos. Verifica-se que regiões climáticas do Estado já podem ser identificadas a nível apenas destas CP's, como a Depressão Central, Baixo Vale do Uruguai e Transição; locais integrantes da Serra do Nordeste e Litoral aparecem como pertencentes ao grupo V, sugerindo a necessidade de outras CP's a serem consideradas.

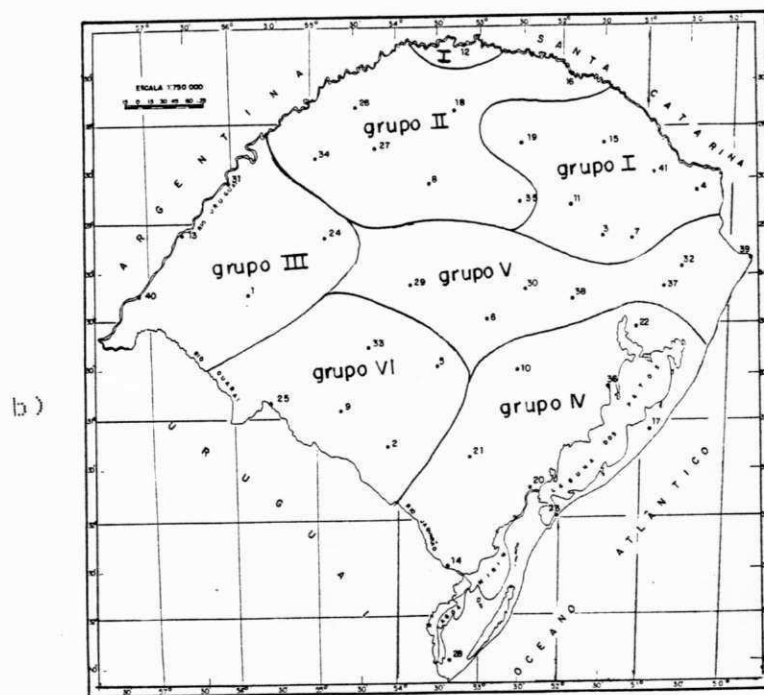
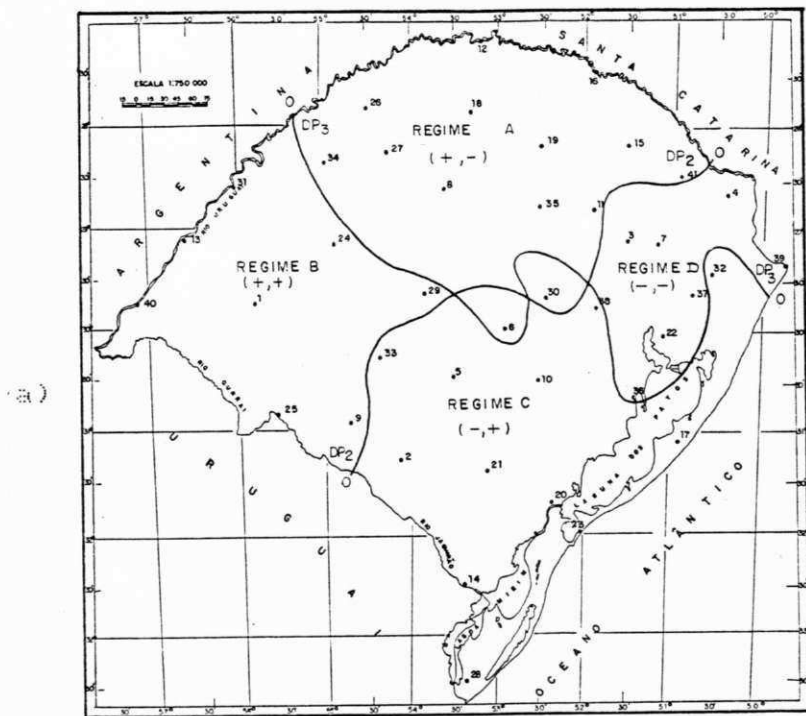


Figura 4.11 - a) Grupos sugeridos pela análise semi-objetiva da 2a e 3a DP's; b) TAA aplicada a 2a e 3a DP's.

Critério 3: Organização linear dos pares de $a(2,3)_j$

A Figura 4.12a ilustra a dispersão dos fatores $a(2,3)_j$ da 2ª DP com relação à 3ª DP. Existem pelo menos duas maneiras de regionalização a serem seguidas:

- a) por fatores de ponderação agrupados segundo sua menor distância;
- b) por organização linear dos pontos, ilustrada na figura 4.12b.

A primeira maneira é, de fato, o critério 2 já descrito anteriormente. Observando que existe uma certa regularidade na dispersão, os locais são agrupados segundo retas. Considere-se a Figura 4.12b: evidenciam-se cinco retas aproximadamente paralelas com inclinação positiva. Por outro lado, a figura também sugere que os pontos poderiam organizar-se segundo outro conjunto de retas paralelas, perpendiculares ao conjunto anterior. O resultado é interessante: o primeiro conjunto delimita faixas no Estado com orientação aproximada leste-oeste, enquanto que o segundo define faixas que são aproximadamente paralelas ao litoral. Isto sugere o cruzamento de duas situações:

- 1) resposta destas componentes à entrada de sistemas que penetram de sul;
- 2) efeitos de maritimidade e continentalidade.

Este critério de regionalização torna-se importante na medida em que se procurem resultados mais aprofundados com base em técnicas de rotações de eixos de componentes principais (RICHMAN, 1987; JOLLIFFE, 1987).

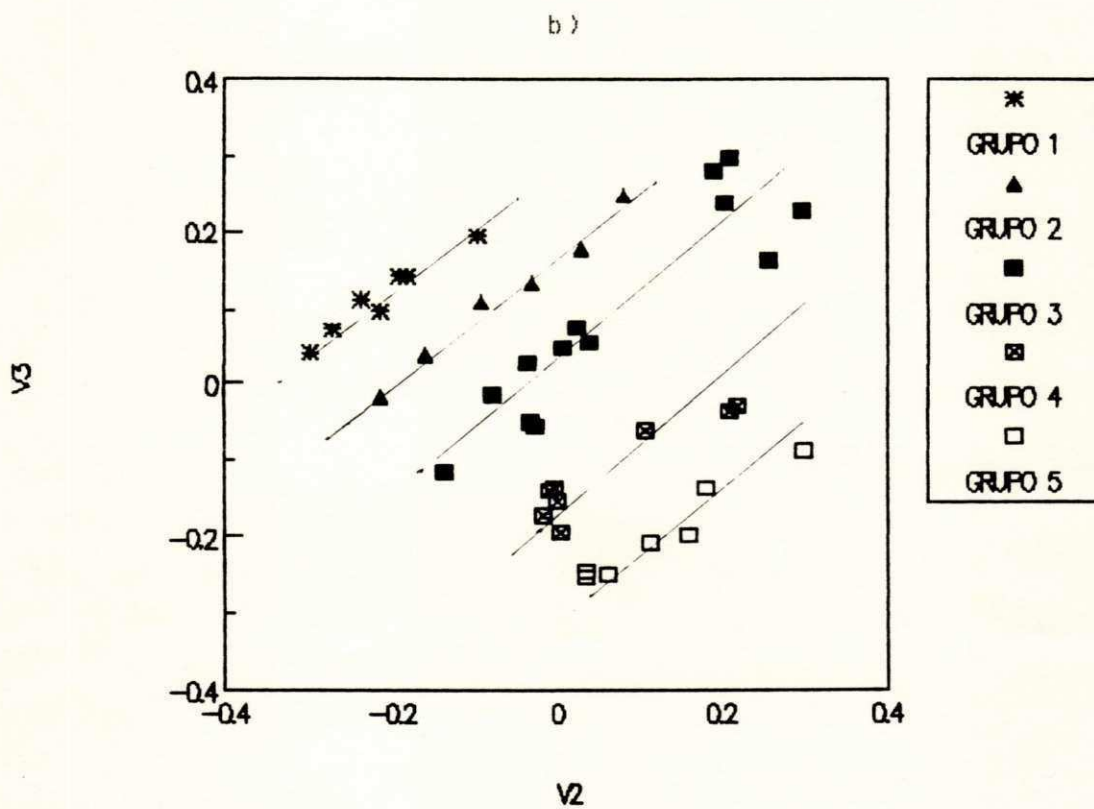
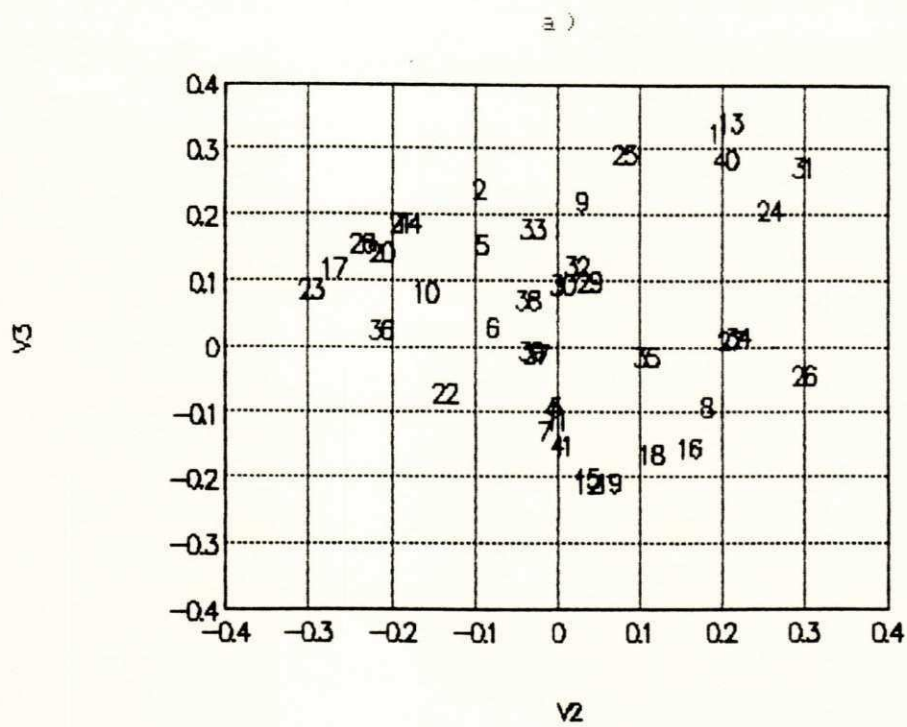


Figura 4.12 - a) Diagrama de dispersão das 2a e 3a DP's;
b) Retas formadas.

Critério 4: TAA aplicada a componentes principais significativas

Os critérios 1 e 3 não são isentos de subjetividade na análise: o critério 2 é mais objetivo mas se baseia unicamente em duas CP's. Para a delimitação de regiões consideradas homogêneas com menor porcentagem de erro torna-se necessária a análise dos fatores de ponderação de mais direções principais. Por outro lado, é quase impossível visualizar conjuntos de estações com comportamentos semelhantes, quando mais de duas direções são consideradas. Para diminuir a subjetividade e aumentar a informação sobre a contribuição à variância, decidiu-se pelo emprego de TAA aplicada aos seis primeiros autovetores, os quais acumulam 86% da variância total (contra 21% da 2ª e 3ª DP's). Procedimentos e critério de agrupamento seguiram a mesma linha descrita no item 4.1.

Neste caso, o método objetivo sugere a existência de oito sub-regiões climáticas principais, como é visto na Figura 4.13a. As estações climatológicas pertencentes a cada sub-região homogênea são as seguintes:

- GRUPO I: Bento Gonçalves, Guaporé, Caxias do Sul, Lagoa Vermelha, Vacaria, Passo Fundo, Marcelino Ramos, Bom Jesus;
- GRUPO II: Cruz Alta, São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Santo Angelo, Soledade, Palmeira das Missões;
- GRUPO III: Mostardas, Tapes, Porto Alegre, Caçapava do Sul, São Gabriel, Cachoeira do Sul, Encruzilhada do Sul, Santa Maria, Santa Cruz do Sul, Taquari;
- GRUPO IV: Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Pelotas, Piratini;
- GRUPO V: Irai;
- GRUPO VI: Alegrete, Itaqui, Uruguaiana;

GRUPO VII: São Francisco de Paula, Taquara, Torres;

GRUPO VIII: Santiago, São Borja, Dom Pedrito, Santana do Livramento, Bagé, Bom Jesus.

Este agrupamento é, basicamente, o mesmo definido pelo critério 2; entretanto, surgem algumas particularidades importantes: Irai torna-se um único grupo e a Depressão Central bem mais definida, provavelmente determinadas pela 1ª CP; são criados o grupo VI (abrangendo uma combinação entre litoral e serra) e o VIII (como uma faixa intermediária entre a fronteira oeste e as demais regiões). A distribuição dos grupos IV, V e VI salientam a existência da ação de uma quarta componente determinada por efeitos de orografia combinados com maritimidade.

Oito grupos foram analisados, mas uma segunda divisão mais genérica também é sugerida pela inércia intra-classe. A Figura 4.13b apresenta a regionalização mais genérica em quatro grupos, a qual aparece como uma composição da sub-divisão para oito; somente a Depressão Central e o Litoral sul permanecem na sua estrutura básica. Portanto, cabe a pergunta: até que ponto o número de oito grupos homogêneos poderia ser reduzido para quatro sem grandes perdas de informação? Para responder à pergunta, considere-se a idéia de que cada grupo obtido é satisfatoriamente homogêneo, esperando-se que a 1ª CP de cada um descreva forte e homogeneamente o seu ciclo anual com consideráveis porcentagens de explicação à variância dos dados. Assim sendo, a ACP foi novamente aplicada, agora somente a locais pertencentes a cada região homogênea. Na Tabela 4.4 são apresentados os autovetores e sua contribuição progressiva à variância total de cada grupo em análise. A matriz A de autovetores encontra-se na Tabela A₄ do Anexo A. Nota-se que a 1ª CP de cada grupo não alcança valores inferiores a 70%.

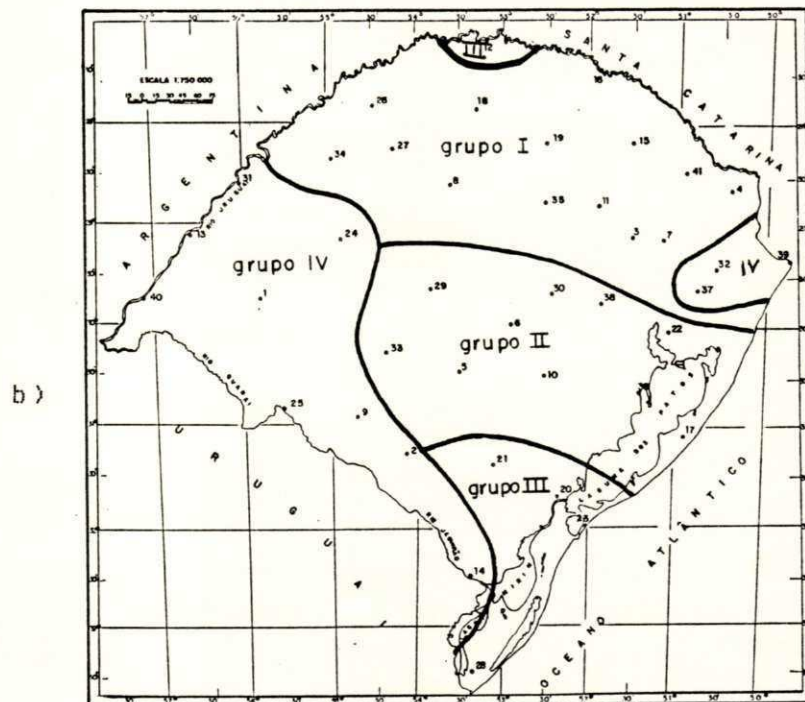
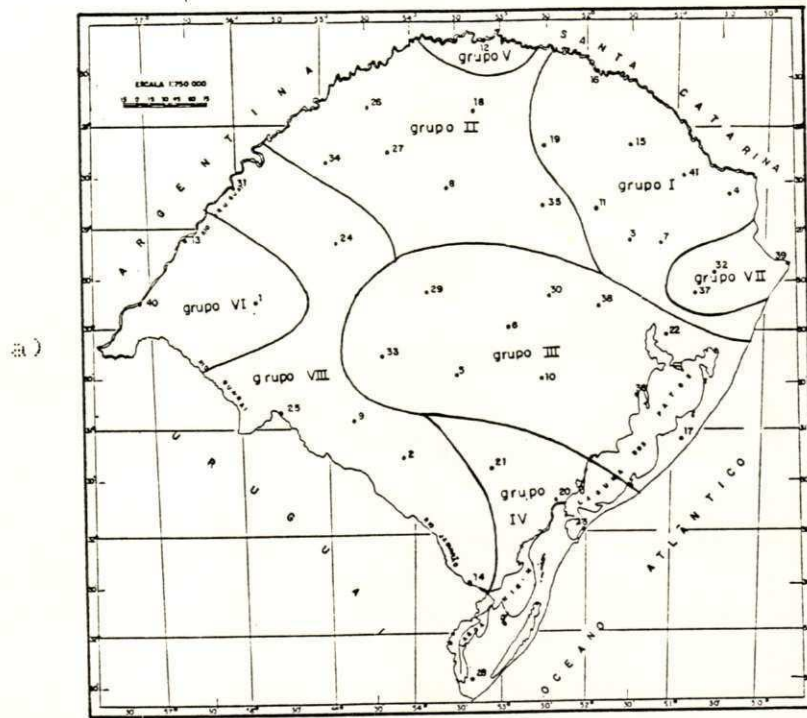


Figura 4.13 - Agrupamento das CP's significativas a) 8 grupos; b) 4 grupos.

GRU	λ_k										
	V ac. (K)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,8 86,1	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0		
2	4,6 77,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1					
4	8,0 80,3	0,7	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
5	3,9 77,2	0,4	0,4	0,2	0,1						
6	2,3 76,0	0,4	0,3								
7	2,5 84,3	0,3	0,2								
8	3,6 71,1	0,8	0,3	0,2	0,1						

Tabela 4.4 - Sequência de autovalores e contribuição progressiva a variância total de cada grupo.

Cada z_k deveria descrever características particulares de cada sub-região, diferenciando-se, com estas, do ciclo anual médio descrito pelo Estado. Da Figura 4.14 verificam-se algumas destas possíveis particularidades (observação: os dados foram suavizados com média móvel de ordem três para uma melhor interpretação):

- 1) os grupos I e II apresentam diferenças com relação à intensidade no primeiro semestre do ano; em setembro, outubro, novembro e dezembro acompanham o mesmo ritmo;
- 2) os grupos VII e VIII podem unir-se, com exceção dos meses de verão;
- 3) o grupo VI difere dos grupos I e IV em janeiro, fevereiro e março, mas de uma forma geral aproxima-se mais do primeiro para o restante dos meses;
- 4) o grupo VI apresenta maiores valores nos quatro primeiros meses do ano com relação ao Estado e aos demais grupos;

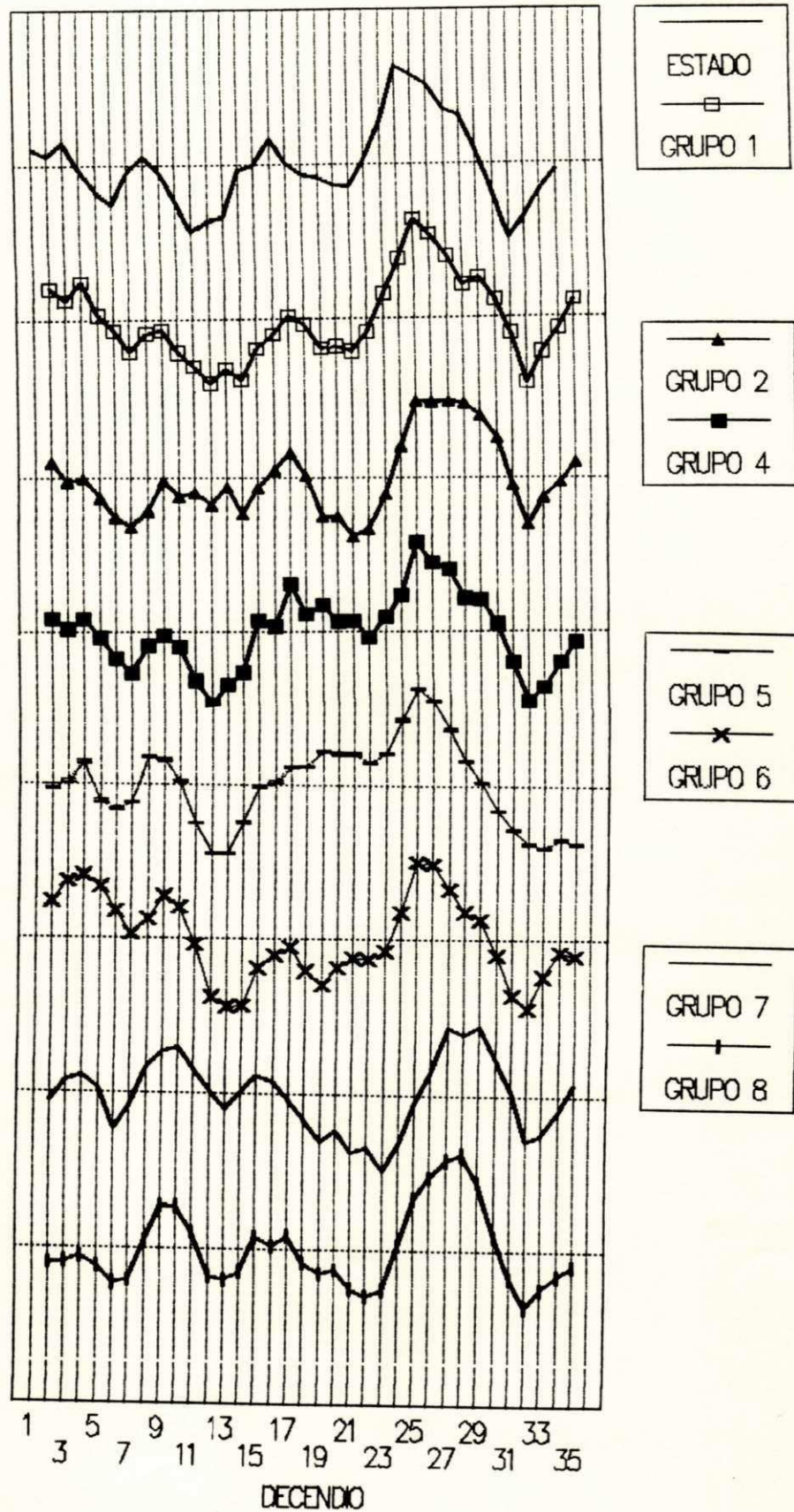


Figura 4.14 - Ciclo anual da 1ª CP do Estado e grupos.

5) de uma forma geral, os grupos acompanham o ciclo do Estado; porém algumas exceções devem ser consideradas:

- os grupos VI, VII e VIII respondem por precipitação acima da média de março a abril, os demais apresentam relativa neutralidade;
- somente os grupos IV e V são positivos para julho e os demais negativos, principalmente II, VII e VIII.

Estes resultados mostram que uma menor divisão do Estado (quatro grupos) pode ser perfeitamente efetuada, desde que sejam consideradas as particularidades acima descritas. Cabe salientar, porém, que para efeitos de simulação de séries estas pequenas variações podem levar a consideráveis perdas de informação. Por outro lado, os oito grupos homogêneos sugerem os efeitos de orografia e continentalidade característicos de cada sub-região.

A bibliografia consultada menciona que, embora o regime pluviométrico do Estado seja basicamente influenciado pelos deslocamentos dos AA e AP, este é acentuado pela orografia. De fato, se um sistema de grande escala atua na região ele abrange o Estado todo de uma só vez. Nesse contexto, o relevo poderá ressaltar regiões com maior ou menor volume de precipitação; onde ele aparece, maiores valores podem ser registrados sistematicamente: como exemplos podem ser indicados os grupos I e II (pertencentes ao planalto gaúcho com altitudes superiores a 400 m); os grupos V e VI aparecem como uma combinação entre litoral e altitude. O contrário pode ocorrer quando a topografia não é relevante: o litoral situa-se neste caso, muito embora se localize junto a massas de água como o oceano Atlântico e lagoas; ainda, a Depressão Central e a fronteira oeste exibem altitudes inferiores a 100 m.

Dos resultados alcançados nesta seção verifica-se que:

- 1) no geral, o estado do Rio Grande do Sul é homogêneo com relação à precipitação, com a 1ª CP preponderante;
- 2) as diversas técnicas de regionalização consideradas permitem separar comportamentos de 2ª ordem de importância, associados principalmente à topografia;
- 3) o uso de médias climatológicas para o ciclo anual decenal introduzem uma perda de informação considerável, ao ponto de não ficar esclarecida a influência de fenômenos meteorológicos de menor escala (tempo e espaço). Em particular, não pode ser afirmado que cada CP represente a influência de um único fenômeno regional. Apesar disso, ao serem definidas regiões homogêneas, as 1ª CP permitem evidenciar alguns comportamentos diferenciados (isto é, sazonais) da precipitação.

Trabalhos anteriores aplicados à região consideraram um modo diferente para a determinação das CP's. É o caso de GARAYALDE et al. (1986) e SILVA et al. (1986). Esses autores avaliaram autovetores cujas componentes expressam propriedades temporais ("análise no tempo"), enquanto que as componentes principais se estendem no espaço, expressando propriedades espaciais da região através de 12 vetores Z de dimensão 25 (número de estações analisadas). A comparação dos seus resultados com o presente trabalho não é simples nem direta. Por outro lado, apesar de que um dos trabalhos citados inclui a análise conjunta de pressão, temperatura e precipitação, não fica realmente esclarecida a relação entre os campos encontrados e sistemas meteorológicos regionais. No contexto dos objetivos deste trabalho (regionalização do estado do Rio Grande do Sul), o critério escolhido conduz de forma mais clara a determinação de regiões homogêneas e regimes predominantes.

4.2.3 Simulação de séries climatológicas

Considerar o estado do Rio Grande do Sul como um único grupo leva a um grande número de autovetores com autovalores semelhantes e fraca contribuição individual à variância do sistema, como pode ser visto na Tabela A5 do Anexo A. Nota-se que pelo menos 10 autovetores deveriam ser considerados para se obter uma boa aproximação para uma série temporal $y_k(t)$, desenvolvida segundo a equação (2.13). O resíduo genérico para tal aproximação seria da ordem

$$\xi = \left[CN - \sum_{j=1}^{10} \lambda_j^2 N \right]^{1/2}, \quad N = 41 \quad (4.1)$$

relativo à variância total dos dados de 41 estações. Para 10 componentes, $\xi = 29\%$; se fossem consideradas somente cinco componentes, $\xi = 40\%$. No item 4.2.2 identificaram-se oito sub-regiões pluviometricamente homogêneas com base na caracterização de seis DP's. Imaginando-se que as estações de uma região se comportem de forma semelhante, a aplicação da ACP requer um número de variáveis consideravelmente menor: o critério 4 de regionalização mostra que o maior conjunto inclui apenas 10 das 41 estações originais. Espera-se que o número de CP's necessárias para uma boa aproximação da série temporal por grupos seja ainda mais reduzido.

Para análise de caso, foi escolhido o grupo I (8 indivíduos) para a elaboração da matriz L de coeficientes de simulação. As duas primeiras DP's (Tabela 4.4) já explicam mais de 90% da variância do conjunto dos dados. De forma semelhante à equação (4.1), o resíduo resultante é da ordem de 27% do desvio padrão médio dos dados. Este último é da ordem de 10 mm; logo, a perda de informação associada é aproximadamente 2,7 mm.

O raciocínio exposto no parágrafo precedente é válido no caso de se conhecer exatamente as CP's do grupo. No caso de dados faltosos, estimativas de $y_j(t)$ devem apresentar erros maiores. Para avaliar estes erros envolvidos, adotou-se o método descrito por CEBALLOS e BRAGA (1991), utilizando-o na simulação de uma série temporal completa (ciclo anual de valores decendiais climatológicos). A Tabela A₆ do Anexo A apresenta a matriz L de estimadores para o grupo I. As informações necessárias para a confecção de L nos outros grupos estão incluídas no mesmo Anexo.

Várias simulações foram efetuadas. Como um exemplo destas escolheu-se a estação de Vacaria (41) pertencente ao grupo I da região serrana do Estado; a matriz auxiliar B teve dimensão (2x7) e a matriz V resultante foi (2x2). A série simulada apresentou um bom ajuste a série original; As figuras 4.15 ilustram os resultados. Na Figura 4.15a são apresentadas as flutuações das séries simulada e original (em mm, multiplicadas por 10) em torno da média anual. O desvio padrão da série é da ordem de 9,8 mm. Para melhor qualificar o ajuste, a Figura 4.15b apresenta os desvios entre ambas as séries ($Y_{\text{estimado}} - Y$). Verifica-se que estes desvios oscilam basicamente entre os limites de 5 mm, raros são os que ultrapassam este valor (um decêndio em fevereiro e outro em agosto). O desvio padrão S dos erros não excede a 2,6 mm. Portanto, o erro típico da simulação para Vacaria (41) limita-se a não mais de 2S, vindo a confirmar o resultado esperado anteriormente que era de 2,7 mm.

Na tentativa de aperfeiçoar ainda mais os ajustes, somou-se a terceira DP (2.8%), chegando a V igual a (3x3). Os resultados não evidenciaram uma melhor configuração da série estimada com relação à medida, podendo, desta forma, esta direção ser satisfatoriamente desprezada.

Quando existe uma série climatológica dentro dos padrões normais, espera-se que esta forma de simulação produza boas estimativas tanto de dados de locais faltosos bem como de falhas em séries.

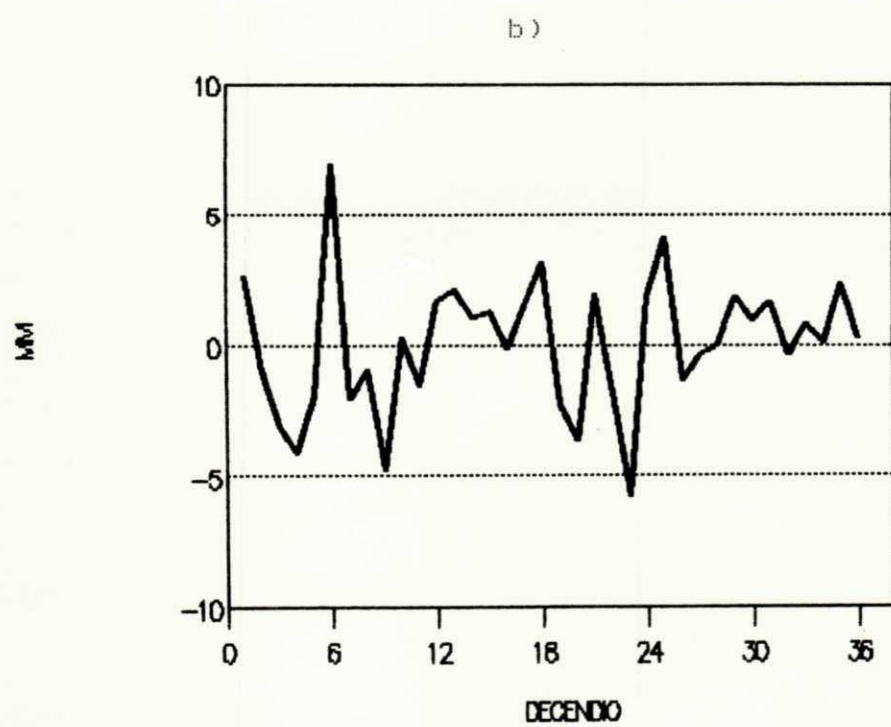
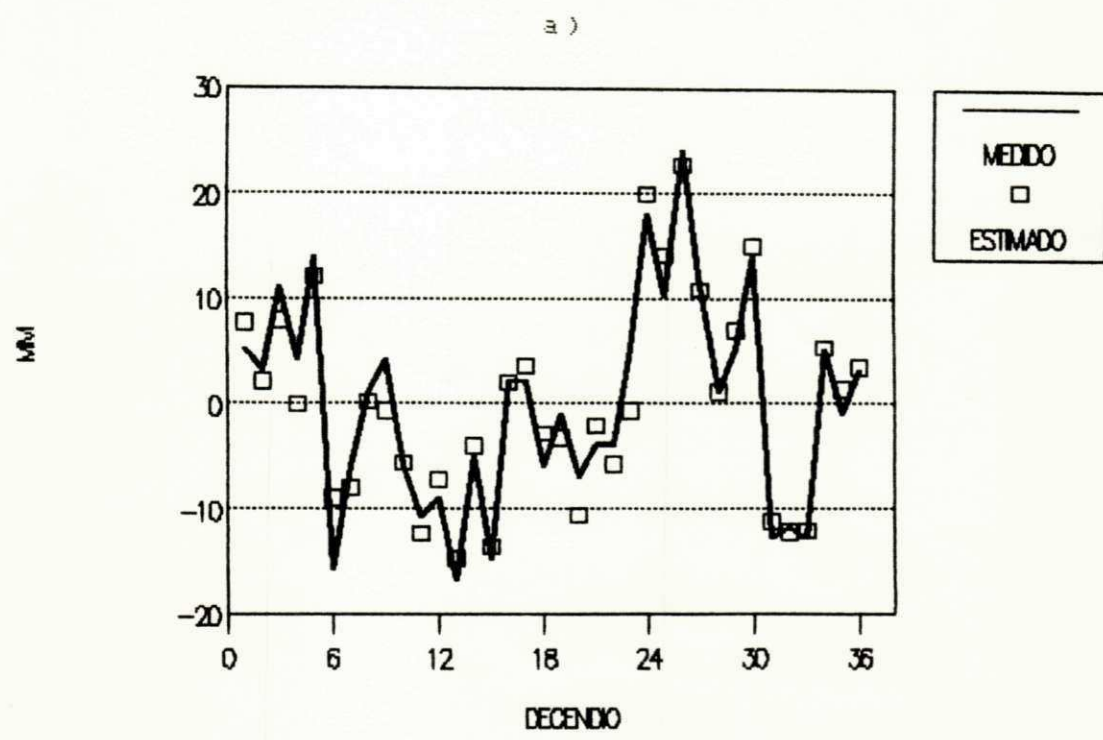


Figura 4.15 - a) Relação entre as séries simulada e observada;
b) Desvio ($Y_{\text{estimado}} - Y$) em mm.

5. ANALISE FINAL

5.1 CONCLUSOES

A temperatura no estado do Rio Grande do Sul apresenta comportamento altamente homogêneo: os grupos formados por TAA são delimitados principalmente pela orografia e se aproximam basicamente da divisão climática elaborada por MACHADO (1950). A ACP define um único regime, e mostra que a diferença de comportamento entre dois locais é basicamente determinada pela sua média anual e desvio padrão; por estes resultados, o emprego da ACP a esta variável torna-se irrelevante.

A TAA não define um agrupamento ótimo para precipitação, havendo a necessidade de uma análise conjunta entre grupos mensais e decendiais. As conclusões seguintes referem-se apenas à precipitação decendial.

Somente a nível de duas componentes principais (2.3) já se visualiza uma configuração básica de regiões características do Estado, sugerindo, em primeira análise, a influência da topografia na definição dos grupos. A TAA aplicada aos autovetores 2 e 3 delimita seis grupos.

Com base nos seis primeiros autovetores, a TAA define oito sub-regiões homogêneas. Esta divisão parece satisfatória, definindo melhor o relevo do Estado e introduzindo uma subdivisão associada principalmente à locais de combinação entre litoral e continente (principalmente as regiões mais elevadas).

As componentes $z_1(t)$ dos sete grupos mostram comportamento semelhante, reafirmando a homogeneidade global do Estado. Todavia, apresentam particularidades sazonais típicas de cada grupo. É interessante notar que, observando

comportamentos temporais durante um período dado, os grupos podem fundir-se num conjunto menor. Este resultado indica que as regiões homogêneas podem mudar se a análise fosse centrada em épocas restritas do ano.

Embora as CP's para o Estado (ou para um dado grupo) definam um regime anual, a relação de cada uma com sistemas meteorológicos específicos não é óbvia; cada uma delas provém da combinação de mais de um sistema gerador. O trabalho com base em dados climatológicos não é efetivo para a caracterização de fenómenos de pequena escala temporal, muito embora características sistemáticas de sua ocorrência sejam evidenciadas.

A regionalização em oito grupos é altamente satisfatória para simular o ciclo anual climatológico de um local, necessitando, em geral, de não mais do que duas CP's. Desvios típicos entre as séries simulada e real são inferiores a 30 % do desvio padrão do ciclo anual, equivalentes a um erro médio da ordem de 5 mm para um dado decêndio.

A decisão pela melhor técnica de regionalização deverá ser efetuada de acordo com os propósitos de análise, como por exemplo a TAA irá fornecer grupos caracterizados pela sua distância mínima durante o ano, enquanto que a ACP para dados normalizados irá descrever a relação entre locais com base no seu comportamento anual.

5.2 SUGESTOES

A discussão de resultados e as conclusões evidenciaram a necessidade de um maior aprofundamento na análise dos resultados obtidos, assim como surgiram novas direções de trabalho a serem seguidas. Sugere-se para trabalhos posteriores alguns tópicos relevantes ao tema estudado, a seguir.

Em primeiro lugar, surge a necessidade de um estudo mais acurado dos agentes influentes da precipitação nos meses de outono na região oeste do Estado, tais como:

- aumentar a área de estudo, estendendo-se a Santa Catarina, oeste do Paraná e NE da Argentina;
- diminuir a escala de tempo, restringindo-se apenas à época de interesse;
- incluir outras variáveis, tais como nebulosidade, pressão e vento;
- acompanhar a ação dos processos convectivos nesta época do ano em todo o Estado;

Como o tempo no estado do Rio Grande do Sul é altamente influenciado por sistemas de escala sinótica (principalmente frentes), e regionalmente por outros fenômenos (como por exemplo, complexos convectivos), propõe-se:

- analisar dados diários para períodos mais curtos (alguns meses, por exemplo) a fim de acompanhar os ciclos de atuação e influência destes à precipitação, bem como avaliar a correlação entre as CP's regionais e esses fenômenos;

O estudo e aplicação da teoria de rotação de componentes principais à precipitação pode ser sugerida para uma melhor compreensão dos resultados apresentados pelo critério 3.

Desenvolver métodos operacionais, baseados no conhecimento das matrizes de autovetores da temperatura e precipitação, para preenchimento de falhas em séries temporais.

Com base na distribuição espacial dos coeficientes de correlação, avaliar a correlação entre estações sem dados e as demais, para a obtenção da matriz de autovetores respectiva. Esta matriz permitiria a simulação de séries temporais em locais de dados inexistentes, produzindo um aumento virtual da densidade de estações da rede. Por outro lado, a ACP pode ser empregada para detectar locais de comportamento semelhante em uma grande densidade de pontos permitindo, assim, uma filtragem da informação excessiva.

Desenvolver uma caracterização mais detalhada de cada grupo homogêneo obtido pela aplicação das técnicas de regionalização referentes a este trabalho.

Finalmente, ao se considerar médias climatológicas, torna-se interessante a combinação de mais de uma variável a fim de se determinar um regime climático para o estado do Rio Grande do Sul.

6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALDAZ ISANTA, L.A. Clasificación de regiones climáticas por medio de los vectores propios cronológicos de la variación intra-anual de la precipitación. *Revista de Meteorología, A.M.E.*, 1984.
- ANYADIKE, R.N.C. A multivariate classification and regionalization of west african climates. *Journal of Climatology*, 7: 157-64. 1987.
- ATLAS Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul/SEA - Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO)/Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- BOUROCHE, J. M. & SAPORTA, G. *L'analyse des données*. Paris, Presses Universitaires de France, 464 p., 1982.
- BARRING, L. Regionalization of daily rainfall in Kenya by means of common factor analysis. *Journal of Climatology*, 8: 371-89, 1988.
- BRAGA, C.C. & SILVA, B.B.da. Determinação de regiões pluviométricamente homogêneas no estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, VI, Salvador, BA, 1990. *Anais*, 1:200-05, 1990.
- CANTON, A.W.P. Aplicações da análise multivariada na pesquisa agropecuária. In: MEMORIA DO PRIMEIRO ENCONTRO DE METODOS QUANTITATIVOS DA EMBRAPA. Brasília, p. 153-61, 1982.
- CEBALLOS, J.C. & BRAGA, C.C. Synthetic time for regional solar irradiation. Submetido ao *Journal of Climatology*, 1991.
- DIDAY, E.; LEMAIRE, J.; POUGET, J. ; TESTU, F. *Elements d'analyse des données*. Paris, Dunod-Bordas, 464 p., 1982.
- EDER, B.K.; DAVIS, J.M.; MONAHAN, J.F. Spatial and temporal analysis of the Palmer Drought Severity Index over the South-Eastern United States. *Journal of Climatology*, 7: 31-56, 1987.

EHRENDORFER, M. A regionalization of Austria's precipitation climate using principal component analysis. *Journal of Climatology*, 7: 71-89, 1987.

ELSNER, J.B.; SIKDAR, D.N. A regionalization of northeast Brasil's precipitation climate using factor analysis. In: TENTH CONFERENCE ON PROBABILITY AND STATISTICS IN ATMOSPHERIC SCIENCES, Edmont, Canada. 269-72, 1987.

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

FERNAU, M.E.; SAMSON, P.J. Use of cluster analysis to define periods of similar meteorology and precipitation chemistry in Easter North America. Part I: transport patterns. *Journal of Applied Meteorology*, 29: 735-50, 1990.

_____. Use of cluster analysis to define periods of similar meteorology and precipitation chemistry in Easterns North America. Part II: precipitation patterns and pollutant deposition. *Journal of Applied Meteorology*, 29: 751-61, 1990.

GADGIL, S.; JOSHI, N.V. Climatic clusters of the Indian region. *Journal of Climatology*, 3: 47-63, 1983.

GAMA, M.P. *Base da análise de grupamento*. Tese de mestrado em estatística. Brasília, Universidade de Brasília, 229 p., 1980.

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, I., / CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, IV., Brasília, DF, 1986. *Anais*, 1: 119-24, 1986.

GOOSSENS, C. Principal component analysis of Mediterranean rainfall. *Journal of Climatology*, 5: 379-88, 1985.

HAAN, C.T. *Statistical methods in hidrology*. Iowa, The Iowa State University Press, 313 p., 1977.

- JOLLIFFE, I.T. Rotation of principal components: some comments. *Journal of climatology*, 7:507-10, 1987.
- JUDEZ, L.A. et al. Fundamentos teóricos e aplicações da análise de dados: subsídios para o programa de avaliação socio-econômica da pesquisa agropecuária do Projeto II - EMBRAPA/BIRD. Brasília, 1984.
- LORENZ, E.N. Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Sci. Rep. n^o. 1. Cambridge, Massachusetts (EUA), Statistical Forecasting Project Department of Meteorology, MIT, 49 p., 1956.
- MACHADO, F.P. Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, IBGE, 91 p., 1950.
- MARDIA, J.M.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. *Multivariate analysis*. London, Academic Press, 521 p., 1988.
- MATSCHINSKE, E.G. Previsão estatística de precipitação associada à passagem de sistemas frontais na região sul do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, São Paulo, INPE, dezembro de 1990.
- MORENO, J.A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 42p., 1961.
- MOTA, F.S.da. & AGENDES, M.O.O. *Clima e agricultura no Brasil*. Porto Alegre, Editora Sagra, 151 p., 1986.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro - IBGE, 422p., 1989.
- PANDZIC, K. Principal component analysis of precipitation in the Adriatic-Pannonian area of Yugoslavia. *Journal of Climatology*, 8:357-70, 1988.
- PANDZIC, K. & KISEGI, M. Principal component analysis of a local precipitation field within the global circulation. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 63:101-16, 1990.
- POSSOLI, S. Técnicas de análise multivariada para avaliação das condições de saúde dos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Saúde Pública*, 18:228-300, 1984.

- RICHAMN, M.B. Rotation of principal components: a reply. *Journal of climatology*, 7:511-20, 1987.
- SANSIGOLO, C.A. Previsão das precipitações sazonais no Nordeste através das componentes principais das temperaturas da superfície do Atlântico e Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, VI, Salvador, BA, 1990. *Anais*, 1:243-47, 1990.
- SALVI, L.L. Tipologia climática do estado de São Paulo segundo técnicas de quantificação. *Revista do Departamento de Geografia*, USP, 3, 1984.
- SILVA, M.G.A.J.da; GARAYALDE, E.J.G.; SANTOS, I.A. O uso de autovetores empíricos no diagnóstico da interrelação entre configurações da pressão, temperatura e precipitação. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, I., /CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, IV., Brasília, DF, 1986. *Anais*, 1:149-54, 1986.
- SILVA, M.G.A.J.da; SANTOS, I.A.; SILVA, A.S.da. Modos principais da estrutura termodinâmica e da circulação no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, VI, Salvador, BA, 1990. *Anais*, 1:225-29, 1990.
- STIDD, C.K. The use of eigenvectors for climatic estimates. *Journal of Applied Meteorology*, 6:255-64, 1967.
- TANAKA, M.; TSUCHIYA, A.; NISHIZAWA T. The empirical orthogonal function analysis of the seasonal and interannual rainfall in Brazil. *Latin American Studies*, 10:27-45, 1988.
- TSUCHIYA, A.; TANAKA, M.; NISHIZAWA, T. Empirical orthogonal function analysis of the monthly rainfall in Brazil. *Latin American Studies*, 10:13-26, 1988.
- VELASCO, I. & FRITSCH, J.M. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, 92:9591-9613, 1987.
- WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal American Statistical Association*, 58:236-44, 1963.

ANEXO A

TABELA A1 - Coeficiente de inercia intra-classe determinado pelo criterio de WARD (10**2).

ESTAGIO/COEF.	TEMPERATURA		PRECIPITACAO		
	mensal	decencial	mensal	decencial	(6 DPs)
0	0	0	0	0	0
1	0,003	0,023	2,77	3,42	0,06
2	0,006	0,049	6,1	8,035	0,45
3	0,012	0,081	9,865	13,045	0,91
4	0,019	0,113	13,75	18,36	1,61
5	0,028	0,146	17,89	24,335	2,68
6	0,037	0,182	22,48	31,17	3,82
7	0,045	0,217	28	38,255	5,12
8	0,056	0,257	34,56	45,425	6,44
9	0,067	0,298	41,795	52,775	7,76
10	0,078	0,345	50,243	60,165	9,09
11	0,09	0,394	58,838	68,005	10,53
12	0,101	0,445	68,162	76,063	12,02
13	0,114	0,497	78,077	84,781	13,66
14	0,128	0,552	88,157	93,631	15,54
15	0,142	0,608	98,697	103,121	17,6
16	0,156	0,668	110,2	112,852	19,9
17	0,173	0,74	121,86	122,808	22,433
18	0,19	0,817	135,45	133,435	25,4
19	0,209	0,899	149,12	144,735	28,507
20	0,229	0,982	164,81	156,16	31,842
21	0,251	1,065	181,79	168,74	35,177
22	0,276	1,168	200,61	183,225	38,533
23	0,3	1,272	220,77	198,185	42,266
24	0,331	1,38	245,31	213,691	47,343
25	0,362	1,503	270,66	230,231	53,828
26	0,395	1,628	297,09	248,617	60,328
27	0,429	1,763	324,02	267,195	67,227
28	0,477	1,929	353,97	285,953	74,774
29	0,527	2,101	387,91	309,945	83,172
30	0,598	2,275	423,83	336,738	94,462
31	0,696	2,523	467,27	365,08	106,339
32	0,794	2,781	515,8	394,418	122,487
33	0,919	3,041	564,85	431,493	138,934
34	1,046	3,418	637,59	471,753	167,057
35	1,21	4,193	718,52	515,193	199,703
36	1,389	5,066	816,77	576,46	238,888
37	1,734	6,046	971,64	649,545	285,01
38	2,654	9,463	1171,9	724,249	350,272
39	5,133	13,463	1594,7	866,574	423,062
40	11,416	33,787	2492,8	1322,3	502,242

BELA A2

- Precipitacao decendial - Rio Grande do Sul
 Matriz de autovetores decendiais para o Estado

CAL\ORDEM	v1	v2	v3	v4	v5	v6	
01	0,115	0,191	0,282	-0,171	0,199	0,065	...
02	0,168	-0,095	0,194	0,029	-0,041	0,149	...
03	0,195	-0,004	-0,135	-0,014	0,024	-0,072	...
04	0,178	-0,010	-0,138	0,054	0,246	0,099	...
05	0,170	-0,093	0,109	-0,302	-0,046	0,006	...
06	0,188	-0,078	-0,014	-0,210	-0,063	-0,080	...
07	0,185	-0,017	-0,172	0,074	-0,062	-0,041	...
08	0,171	0,180	-0,136	-0,094	-0,069	-0,004	...
09	0,180	0,029	0,176	0,055	-0,170	0,100	...
10	0,178	-0,158	0,038	-0,166	-0,055	-0,135	...
11	0,184	-0,000	-0,154	-0,011	0,051	-0,061	...
12	-0,006	0,034	-0,254	-0,310	0,329	0,382	...
13	0,095	0,208	0,298	-0,025	0,161	0,029	...
14	0,128	-0,181	0,143	0,266	-0,162	0,192	...
15	0,172	0,035	-0,246	0,032	0,099	0,028	...
16	0,147	0,158	-0,199	0,035	0,084	0,118	...
17	0,144	-0,270	0,073	-0,060	0,014	-0,134	...
18	0,162	0,114	-0,209	-0,082	-0,098	0,193	...
19	0,170	0,062	-0,251	0,088	0,000	0,036	...
20	0,155	-0,213	0,098	0,070	0,208	0,105	...
21	0,165	-0,189	0,143	-0,113	0,133	0,120	...
22	0,176	-0,136	-0,114	-0,029	-0,027	-0,284	...
23	0,122	-0,297	0,041	0,090	-0,005	0,303	...
24	0,118	0,256	0,162	0,117	-0,166	0,000	...
25	0,153	0,081	0,248	0,123	-0,081	0,091	...
26	0,113	0,299	-0,088	0,000	-0,191	0,144	...
27	0,155	0,209	-0,035	0,094	-0,128	0,185	...
28	0,106	-0,235	0,112	0,042	-0,034	0,422	...
29	0,189	0,039	0,054	-0,223	0,029	-0,128	...
30	0,198	0,006	0,049	-0,050	-0,025	-0,149	...
31	0,086	0,297	0,228	0,110	0,073	0,036	...
32	0,154	0,023	0,077	0,295	0,002	-0,168	...
33	0,167	-0,031	0,134	-0,299	-0,107	0,001	...
34	0,143	0,219	-0,029	-0,166	0,020	-0,134	...
35	0,176	0,107	-0,061	0,086	-0,297	0,050	...
36	0,173	-0,212	-0,019	0,007	0,086	-0,211	...
37	0,151	-0,027	-0,057	0,316	0,046	-0,104	...
38	0,185	-0,036	0,027	-0,095	-0,202	-0,199	...
39	0,126	-0,033	-0,051	0,379	0,324	-0,146	...
40	0,075	0,203	0,240	-0,004	0,476	-0,111	...
41	0,186	0,003	-0,195	0,068	0,153	0,075	...

3ELA A3 - Matriz Z de componentes principais para o Estado

5\ORDEM acendio)	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
janeiro	3,80 -0,16 1,07	0,34 1,35 -1,39	0,18 -1,93 -2,85	-2,19 1,66 1,45	1,40 -1,50 0,93	-0,21 -1,33 -0,24
fevereiro	1,90 3,44 -6,17	-0,74 0,04 0,23	2,62 -3,16 -1,62	0,89 1,09 1,01	2,74 1,27 0,14	-0,68 0,11 -2,48
marco	-4,13 0,08 2,30	-2,52 0,91 -0,39	1,67 0,89 1,99	2,19 0,89 0,48	0,50 1,54 3,31	-0,59 0,90 -0,18
abril	0,18 -4,31 -5,27	0,86 1,89 3,52	3,10 3,36 -1,04	2,73 1,02 -0,02	-0,85 0,52 0,11	-0,22 -0,34 0,57
maio	-8,07 -1,20 -4,18	1,18 1,77 -1,29	-0,20 0,37 3,26	-0,64 -1,60 -1,23	-1,00 -0,69 0,47	-0,00 0,29 1,02
junho	4,03 0,17 2,91	-0,80 2,17 -3,56	1,14 -2,40 2,32	-1,36 -0,96 -2,98	-1,37 -0,88 -1,55	-1,74 2,04 -1,29
julho	-2,44 -3,14 2,02	-2,20 -4,41 -2,16	-0,93 0,34 2,05	-0,42 -1,10 -0,42	-0,30 -1,21 -0,43	1,72 0,40 -0,28
agosto	-4,39 -3,43 8,94	-5,50 -2,09 -1,76	-1,85 -2,63 -2,60	-0,00 -0,62 0,06	-0,01 1,00 -1,64	0,17 1,60 -0,86
setembro	6,61 11,32 6,46	-3,22 -0,81 2,75	-0,40 -1,00 0,69	3,07 -0,36 0,22	-1,22 1,11 -1,20	1,40 0,14 1,77
outubro	4,11 4,57 4,77	1,95 3,45 2,35	3,88 0,84 -1,43	0,18 0,98 -1,37	-1,29 -1,68 2,03	0,88 -0,16 -0,51
novembro	-5,42 -7,55 -7,22	0,89 1,14 -0,12	0,66 -0,52 -0,73	-1,88 0,63 1,09	-0,00 -0,33 -0,64	0,06 0,98 -0,47
dezembro	0,76 -0,83 -1,53	3,52 1,01 1,64	-1,73 -0,74 -1,62	-0,62 -1,50 -0,37	-0,27 1,09 -0,09	-0,60 0,23 -2,09

ABELA A4

- Precipitacao decendial - Rio Grande do Sul
Matrizes A de autovetores para os grupos.

GRUPO 01

JC\ORD	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8
03	0,359	-0,311	0,092	0,248	-0,550	0,364	-0,521	0,070
04	0,349	-0,046	0,797	-0,333	0,118	-0,197	-0,168	-0,219
07	0,358	-0,355	-0,192	-0,114	-0,440	-0,445	0,537	-0,129
11	0,354	-0,225	0,028	0,728	0,516	-0,124	0,085	-0,066
15	0,362	0,334	-0,072	-0,068	0,026	0,624	0,361	-0,476
16	0,311	0,781	-0,038	0,229	-0,243	-0,377	-0,130	0,151
19	0,357	0,058	-0,564	-0,416	0,361	-0,163	-0,443	-0,154
41	0,374	0,021	0,044	-0,233	0,182	0,241	0,245	0,808

GRUPO 02

JC\ORD	v1	v2	v3	v4	v5	v6
08	0,437	0,177	-0,049	0,010	-0,282	-0,834
18	0,408	0,219	-0,482	-0,690	0,161	0,226
26	0,400	-0,486	0,447	-0,268	-0,518	0,252
27	0,414	-0,338	0,287	0,076	0,780	-0,134
34	0,385	0,708	0,393	0,286	-0,012	0,337
35	0,402	-0,262	-0,573	0,604	-0,134	0,241

GRUPO 04

J	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
5	0,315	-0,208	0,525	-0,103	0,183	0,265	0,651	-0,088	0,169	0,087
5	0,335	-0,103	-0,097	-0,048	-0,512	-0,028	0,009	-0,636	0,093	-0,446
7	0,335	0,131	0,068	0,205	-0,422	0,131	0,157	0,455	-0,625	-0,088
7	0,291	0,516	0,449	0,076	0,154	-0,373	-0,257	-0,288	-0,164	0,320
2	0,308	0,297	-0,527	0,083	0,283	0,569	0,024	-0,222	-0,070	0,272
7	0,320	-0,327	-0,049	-0,430	-0,380	0,013	-0,287	0,135	0,161	0,577
7	0,320	-0,227	-0,176	-0,518	0,475	-0,266	-0,046	0,026	-0,391	-0,308
3	0,301	-0,449	0,216	0,500	0,221	0,219	-0,525	0,035	0,070	-0,179
5	0,316	0,452	0,018	-0,178	0,033	0,043	-0,112	0,467	0,555	-0,350
3	0,319	-0,147	-0,388	0,444	0,052	-0,573	0,334	0,101	0,222	0,165

GRUPO 05

JC\ORD	V1	V2	V3	V4	V5
14	0,426	0,792	0,883	0,171	0,053
20	0,464	-0,462	-0,091	-0,254	-0,706
21	0,451	-0,403	-0,325	0,621	0,379
23	0,467	0,061	-0,128	-0,692	0,532
28	0,426	0,783	-0,300	0,206	-0,268

(Continuacao)

GRUPO 06

1	V2	V3
572	-0,644	-0,508
598	-0,096	0,795
561	0,759	-0,330

GRUPO 07

V1	V2	V3
,586	-0,343	-0,734
,583	-0,452	0,676
,563	0,824	0,065

GRUPO 08

V1	V2	V3	V4	V5
,416	-0,588	-0,008	0,671	0,174
,491	-0,287	0,104	-0,366	-0,729
0,438	0,373	0,775	-0,003	0,261
0,490	-0,069	-0,432	-0,512	0,553
0,391	0,654	-0,449	0,391	-0,254
