



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



**ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS NA IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES  
HOMOGÊNEAS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS NO ESTADO DA PARAÍBA – PB**

**JOHERLAN CAMPOS DE FREITAS**

Campina Grande – PB

2009

**ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS NA IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES  
HOMOGÊNEAS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS NO ESTADO DA PARAÍBA – PB**

**JOHERLAN CAMPOS DE FREITAS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós –  
Graduação em Meteorologia da Universidade  
Federal de Campina Grande como parte dos  
requisitos necessários à obtenção do grau de  
Mestre em Meteorologia.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO**

AGROMETEOROLOGIA E MICROMETEOROLOGIA

**SUB-ÁREA**

CLIMATOLOGIA AGRÍCOLA

**ORIENTADOR**

PROF. DR. RENILSON TARGINO DANTAS

Campina Grande – PB

2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

F866a

2009 Freitas, Joherlan Campos de.

Análise de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas de índices climáticos no Estado da Paraíba / Joherlan Campos de Freitas. — Campina Grande, 2009.

75 f. : il.

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

Referências.

Orientador: Prof. Dr. Renilson Targino Dantas.

1. Análise de Agrupamentos. 2. Índices Climáticos. 3. Balanço Hídrico. 4. Evapotranspiração. I. Título.

CDU – 551.585(043)

JOHERLAN CAMPOS DE FREITAS

ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS NA IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE  
ÍNDICES CLIMÁTICOS NO ESTADO DA PARAÍBA - PB

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/5/2009

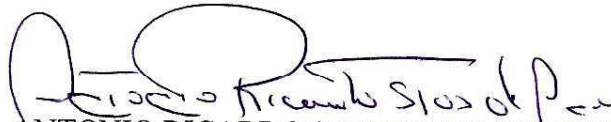
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. RENILSON TARGINO DANTAS  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



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



Prof. Dr. ANTONIO RICARDO SANTOS DE ANDRADE  
Unidade Acadêmica de Garanhuns  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

## DEDICATÓRIA

*Dedico primeiramente a Deus por ser o grande responsável por minha vida e pela realização desta dissertação. A minha mãe Laurice Campos de Freitas, meu pai José de Freitas Cantalice, minha tia Maria José Cavalcanti e minha noiva Joyce Vidal de Negreiros. Dedico também a todos aqueles que acreditaram na minha capacidade de realizar este trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo o que proporcionou desde meu nascimento até os dias de hoje e pelo direcionamento na minha vida através de sua infinita sabedoria. Agradeço pela realização desta dissertação. Deus, muito obrigado por tudo!

A minha mãe Laurice Campos de Freitas e meu pai José de Freitas Cantalice, meus sinceros agradecimentos por tudo que tem feito por mim, durante toda minha vida, em especial, pela dedicação, pelo amor, carinho, incentivo e pela concretização deste trabalho. Meus Pais, muito obrigado por tudo!

A minha noiva Joyce Vidal de Negreiros também por incentivar-me na conclusão desta dissertação. Mesmo em momentos difíceis, ela mostrou ser uma grande pessoa, através de lindos gestos de amor que mostrou o quanto ela desejou que me tornasse mestre. Joyce, muito obrigado!

Aos amigos de Curso que, ao longo desses anos trocamos experiências, pelas alegrias vividas e, principalmente, o companheirismo existente em nossa turma;

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pela grande contribuição como Universidade no meu crescimento acadêmico através desse título de mestre.

Ao Professor Dr. Antonio Ricardo Santos de Andrade que, mesmo através de muitas dificuldades, conseguiu ajudar-me na condução desse trabalho da melhor forma possível. A você, muito obrigado!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por acreditar em minha capacidade e pela contribuição através da bolsa para que pudesse realizar meu Mestrado em Meteorologia.

A Professora Dra. Célia Campos Braga pela ajuda em momentos difíceis da realização da dissertação através de materiais que foram de importância para meu conhecimento.

Ao Orientador Professor Dr. Renilson Targino Dantas pela colaboração através de seus conhecimentos e de suas experiências vividas nesse caminho.

Ao amigo Emerson Ricardo Rodrigues Pereira por sua grande colaboração e incentivo em todo o período de estudo no Mestrado.

Aos professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas ( UACA ) por suas contribuições durante o período de disciplinas do curso.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de maneira direta ou indireta para a conclusão deste trabalho. Muito Obrigado!

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	xi
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
1 <b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 Objetivo Geral .....	17
1.2 Objetivos Específicos .....	17
2 <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1 Evapotranspiração .....	19
2.2 Balanço Hídrico .....	22
2.3 Análise Multivariada .....	28
2.3.1 Análise de Agrupamentos .....	29
2.3.1.1 Organização dos Dados em Análise de Agrupamentos .....	29
2.3.1.2 Medidas de Similaridade e Dissimilaridade .....	30
2.3.1.3 Métodos Hierárquicos de Agrupamento .....	30
2.3.2 Aplicações de Técnicas da Análise Multivariada .....	31
3 <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	36
3.1 Área de Estudo .....	36
3.2 Dados .....	37
3.3 Cálculo da Evapotranspiração Potencial .....	39
3.3.1 Fator de Correção .....	40
3.4 Cálculo do Balanço Hídrico .....	40
3.5 Índices Climáticos .....	42
3.5.1 Índice de Aridez .....	42
3.5.2 Índice de Umidade .....	43
3.5.3 Índice Hídrico .....	43



3.6	Análise de Agrupamentos .....	43
3.6.1	Distâncias Como Medidas de Dissimilaridade .....	44
3.6.2	Aplicação dos Métodos Hierárquicos de Agrupamento .....	44
3.6.3	Escolha do Método e Análise Estatística dos Grupos .....	46
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
4.1	Precipitação .....	47
4.2	Evapotranspiração Potencial .....	48
4.3	Deficiência Hídrica .....	49
4.4	Excedente Hídrico .....	51
4.5	Índice de Aridez .....	51
4.6	Índice de Umidade .....	54
4.7	Índice Hídrico .....	56
4.8	Análise de Agrupamentos .....	58
4.8.1	Análise de Agrupamentos Para o Índice de Aridez .....	58
4.8.2	Análise de Agrupamentos Para o Índice de Umidade .....	61
4.8.3	Análise de Agrupamentos Para o Índice Hídrico .....	65
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	69
6	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	70
7	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	71

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Pág.</b>
Figura 01	Exemplo de um balanço hídrico em escala macro .....	24
Figura 02	Escala intermediária do balanço hídrico .....	25
Figura 03	Exemplo de um balanço hídrico em escala local .....	25
Figura 04	Localização do Estado da Paraíba .....	36
Figura 05	Localização dos 54 postos no Estado da Paraíba .....	37
Figura 06	Modelo da planilha do balanço hídrico utilizado .....	42
Figura 07	Precipitação média anual no Estado da Paraíba .....	47
Figura 08	Evapotranspiração potencial média anual para o Estado da Paraíba .....	48
Figura 09	Deficiência hídrica da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm .....	50
Figura 10	Excesso hídrico da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm .....	52
Figura 11	Índice de aridez da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm .....	53
Figura 12	Índice de umidade da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm .....	55
Figura 13	Índice hídrico da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm .....	57
Figura 14	Dendrograma do índice de aridez para o Estado da Paraíba através do método de Ward utilizando a distância euclidiana como medida de parecência .....	59
Figura 15	Regiões homogêneas de índice de aridez obtidas pela análise de agrupamentos .....	60
Figura 16	Dendrograma do índice de umidade para o Estado da Paraíba através do método de Ward utilizando a distância euclidiana como medida de parecência .....	62
Figura 17	Regiões homogêneas de índice de umidade obtidas pela análise de agrupamentos .....	63
Figura 18	Dendrograma do índice hídrico para o Estado da Paraíba através do método da Ligação Completa utilizando a distância euclidiana como	

	medida de parecença .....	66
Figura 19	Regiões homogêneas de índice hídrico obtidas pela análise de agrupamentos .....	67

**LISTA DE TABELAS**

	<b>Pág.</b>
Tabela 01 Nomes dos postos no Estado da Paraíba utilizados neste estudo .....	38
Tabela 02 Resumo estatístico do índice de aridez para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos .....	61
Tabela 03 Resumo estatístico do índice de umidade para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos .....	64
Tabela 04 Resumo estatístico do índice hídrico para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos .....	68

**LISTA DE QUADROS**

	<b>Pág.</b>
Quadro 01 Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice de aridez .....	60
Quadro 02 Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice de umidade .....	64
Quadro 03 Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice hídrico .....	67

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ALT	Alteração da quantidade de água existente no solo no decorrer do processo de cálculo do balanço hídrico
CAD	Capacidade de água disponível
$\delta$	Declinação do Sol em graus
$\rho_a$	Densidade aparente do solo ( $\text{g}/\text{cm}^{-3}$ )
DEF	Deficiência hídrica
F	Deflúvio superficial
$d_{ij}$	Distância entre dois indivíduos $i$ e $j$
$d_{(i,j)k}$	Distância entre os dois grupos $(i, j)$ e $(k)$
D	Drenagem profunda
ET	Evapotranspiração
ETP	Evapotranspiração potencial
$E_j$	Evapotranspiração potencial ( $\text{mm}/\text{dia}$ ) não ajustada
ETR	Evapotranspiração real
EXC	Excesso hídrico
$a$	Expoente da equação (3.2) que é função cúbica do índice anual de calor
$F_j$	Fator de correção
I	Índice anual de calor
$I_a$	Índice de aridez
$I_h$	Índice hídrico
$i_j$	Índice térmico de calor no mês $j$
$I_u$	Índice de umidade
$N_j$	Insolação Máxima do dia 15 do mês $j$
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I	Irrigação
$\phi$	Latitude do local
$X_{(n \times p)}$	Matriz com $n$ linhas e $p$ colunas
NEG ACUM	Negativo acumulado

$D_j$	Número de dias do mês $j$
$d$	Número de ordem, no ano do dia considerado (dia Juliano) da equação (3.8)
$P$	Precipitação
$H$	Profundidade explorada pelo sistema radicular das plantas (cm)
ARM	Quantidade de água ainda existente no solo
R1, R2, R3 R4 e R5	Regiões homogêneas obtidas pela técnica hierárquica de agrupamentos
SEVAP	Sistema de Estimativa da Evapotranspiração
WSS	Soma dentro dos grupos
$\bar{T}_j$	Temperatura média mensal do mês $j$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$C_c$	Umidade do solo quando em capacidade de campo (%)
$P_M$	Umidade do solo quando em ponto de murcha permanente (%)
UACA	Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
$Q$	Vazão de água

## RESUMO

Este trabalho teve como principal objetivo aplicar a técnica de análise de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas com base em 54 postos pluviométricos para os índices climáticos: de aridez, de umidade e hídrico, obtidos através do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite (1948) no Estado da Paraíba. Na realização do balanço hídrico foram utilizados dados de precipitação disponíveis na Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande e uma estimativa da temperatura do ar para uma série especificada de 1970 a 2000. Sobre os índices climáticos, aplicou-se a análise de agrupamentos, utilizando a distância euclidiana como medida de dissimilaridade. O dendrograma identificou visualmente o processo de agrupamento em cada índice estudado de acordo com o método escolhido. Na aplicação dos métodos, o de Ward foi o que melhor se ajustou aos índices de aridez e de umidade, identificando respectivamente, cinco e quatro regiões homogêneas desses índices. Para o índice hídrico, foi escolhido o método da Ligação Completa, obtendo-se cinco regiões homogêneas. Todas as regiões homogêneas obtidas neste trabalho foram analisadas por meio de ferramentas da estatística descritiva, detalhando o estudo desses índices. Estudou-se também o comportamento espacial de algumas variáveis nesse Estado em função da variação na capacidade de água disponível no solo em 75, 100, 125 e 150 mm, cujo resultado revelou pequenas alterações consideradas significativas.



## ABSTRACT

The main objective of this work was apply the technique of clusters analysis in the identification of homogeneous regions based on 54 rain gauge stations for climatic indexes: of aridity, of humidity and water, obtained through climatic water balance proposed by Thornthwaite (1948) in the State of Paraíba. In implementing the water balance were used precipitation data available in the Academic Unit of Atmospheric Sciences of Federal University of Campina Grande and an estimation of air temperature for a specified series from 1970 to 2000. About climatic indexes, was applied the clusters analysis using the Euclidean distance as dissimilarity measure. The dendrogram identified visually the process of grouping in each index studied according to the method chosen. In the application of methods, Ward was the best fit to the indexes of aridity and of humidity, identifying respectively, five and four homogeneous regions of these indexes. For the water index, was chosen the method of Complete Linkage, resulting in five homogeneous regions. All the homogeneous regions obtained in this work were analyzed using tools of descriptive statistics, detailing the study of these indexes. It also studied the spatial behavior of some variables in that state in function of variation of available water capacity in soil in 75, 100, 125 and 150 mm, which results showed small changes considered significant.

## 1 – INTRODUÇÃO

O estudo de variáveis meteorológicas tem se mostrado muito eficiente em diversas áreas do conhecimento científico. Ao longo dos anos, diversos pesquisadores em todo mundo tem estudado essas variáveis tais como: pressão, temperatura, precipitação, vento, etc., buscando conhecer o comportamento das mesmas em uma determinada localidade ou região. Esse estudo varia de acordo com o objetivo da pesquisa, podendo muitas vezes ser um estudo temporal, quando analisa-se o comportamento dessa variável ao longo do tempo e observa-se a ocorrência ou não de mudanças significativas; ou estudo espacial, quando analisa-se as variáveis como um todo no sentido de conhecer a sua distribuição no espaço considerado.

Balanço hídrico é de fundamental importância em diversos estudos de uma região, na determinação de locais favoráveis a determinado tipo de cultura, classificação climática, etc. No balanço hídrico têm-se integrantes como: a precipitação e/ou irrigação, que são os grandes fornecedores de água no solo, o deflúvio superficial, à quantidade de água que ficou armazenada neste mesmo solo, a drenagem profunda, e por fim, a ação simultânea da evaporação e da transpiração das plantas (considerando sempre esse solo vegetado) que é denominada evapotranspiração, onde a equação composta por essas variáveis é considerada de modo que todos somados tenham valor zero, contribuindo para o raciocínio do balanço hídrico.

Dentre as técnicas estatísticas em estudos meteorológicos para análise e interpretação de dados climáticos, a análise multivariada é uma das mais empregadas, destacando a análise de agrupamentos, com diversas aplicações em climatologia, quando se objetiva uma “divisão” de determinada região em sub-regiões (denominada também por alguns de microrregiões) cuja principal finalidade é sua homogeneidade em relação as suas características. Normalmente quando pretende-se encontrar regiões com comportamentos semelhantes faz uso da análise de agrupamentos que é definida como um conjunto de técnicas

da análise multivariada cuja principal finalidade é a classificação de objetos ou indivíduos em grupos homogêneos de acordo com suas características, observando as semelhanças ou dessemelhanças entre eles. Após essa etapa, é necessária uma análise mais criteriosa dos dados de cada região homogênea obtida pela técnica de agrupamentos, através de ferramentas da estatística descritiva para que possam ser válidos com mais segurança.

Entre diversas variáveis analisadas em uma determinada região, os índices climáticos têm como uma das finalidades a caracterização climática de um local considerado, esses índices climáticos: de aridez ( $I_a$ ), de umidade ( $I_u$ ) e hídrico ( $I_h$ ) representam parte dessa caracterização, obtidos por meio de variáveis do balanço hídrico e da evapotranspiração potencial. Realizar balanços hídricos com a capacidade de água disponível (CAD) em diferentes níveis revela-nos o conhecimento mais detalhado desses índices em função dessa variação, sendo até útil em planejamento de diversas culturas, além de informar possíveis alterações em decorrência de variações na capacidade de água disponível no solo. Aplicar a análise de agrupamentos neste caso baseia-se na idéia de que cada valor da CAD assumido para uma localidade é uma informação e que, a aplicação da técnica hierárquica de agrupamentos pode ser utilizada para agrupar postos pluviométricos de acordo com informações fornecidas por esses índices nos diferentes valores das CADs, desde que os valores não fujam da realidade climática da região em estudo (Estado da Paraíba).

### 1.1 – Objetivo Geral:

- A presente pesquisa tem por principal objetivo identificar regiões homogêneas de índices climáticos: de aridez ( $I_a$ ), de umidade ( $I_u$ ) e hídrico ( $I_h$ ) no Estado da Paraíba obtidas a partir da técnica da análise multivariada, denominada análise de agrupamentos;

### 1.2 – Objetivos Específicos:

- Estudar o comportamento desses índices climáticos em função do comportamento das CADs de 75, 100, 125 e 150 mm verificando possíveis alterações em todo o Estado da Paraíba;

- Em cada região homogênea produzida pela técnica de agrupamentos, realizar um estudo estatístico descritivo das variáveis com o propósito de melhor entender as características desses índices nessas regiões obtidas no Estado da Paraíba;
- Mostrar como a aplicação da técnica de análise de agrupamentos é útil na caracterização de regiões homogêneas de variáveis meteorológicas.

## **2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 – Evapotranspiração**

De acordo com Varejão-Silva (2005) a evapotranspiração é empregada para exprimir a transferência de vapor d'água para a atmosfera, proveniente de superfícies com vegetação. A evapotranspiração inclui duas contribuições que seriam a evaporação da umidade existente no substrato, solo ou água, juntamente com a transpiração resultante da atividade biológica dos seres vivos que o habitam.

Para Vescove e Turco (2005) a evapotranspiração pode ser definida como um processo combinado de transferência de água do solo para a atmosfera, incluindo a evaporação da água diretamente e o processo de transpiração através dos tecidos vegetais.

Segundo Mendonça (2008) diversos métodos de estimativas da evapotranspiração têm sido desenvolvidos e analisados, variando desde métodos elementares, que requerem poucos dados como temperatura média mensal do ar até métodos complexos firmados em modelos físicos, que necessitam de um acervo de dados de entrada, tais como os modelos de Penman e suas modificações (Hatfield e Allen, 1996). Por esse motivo, Oliveira et al. (2001) sugerem o cuidado em avaliar com extrema cautela o grau de exatidão desses modelos antes de utilizá-los para nova condição, pois a existência de diversos modelos para estimar a evapotranspiração de referência é comum serem agrupados às condições climáticas e agronômicas, onde alguns podem ser bem complexos.

Camargo e Sentelhas (1997) avaliaram o desempenho de vinte métodos de estimativa da evapotranspiração, em três localidades do Estado de São Paulo, mediante dados obtidos em lisímetros e constataram que as melhores estimativas foram pelos métodos de Camargo, Thornthwaite, Thornthwaite com índice de calor “T” e Priestley-Taylor; já os métodos de Penman-Monteith, Penman, Hargreaves modificado, Makking e Blaney-Criddle modificado, tiveram bom desempenho, enquanto os demais métodos mostraram desempenho bem inferior, entre os quais pode-se citar os métodos da Radiação Solar e Linacre.

Mendonça (2008) em sua dissertação de Mestrado teve como objetivo estimar a evapotranspiração de referência diária para o Município de Capim – PB utilizando os métodos empíricos de Penman, Penman-Monteith, Hargreaves e Samani, Linacre, Priestley-Taylor e Radiação. Foram posteriormente correlacionados, por estação do ano, com a estimativa da evapotranspiração de referência do método do tanque Classe A, usado na Destilaria Miriri e o Penman-Monteith, sugerido pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Por meio desse estudo ele verificou que: a estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de tanque Classe A usado na Destilaria Miriri S. A., correlacionou-se muito pouco com os métodos de estimativa citados na pesquisa; e que a estimativa da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith sugerida pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação como padrão, se correlacionou consideravelmente em todas as estações referenciadas nesse estudo, com as estimativas feitas pelos métodos de Penman, Priestley-Taylor e Radiação.

Faccioli et al. (2005) objetivaram estimar a evapotranspiração de referência por diversos métodos, utilizando o programa da FAO REF-ET para a região de Rio Real, BA. Concluíram que o método de Penman 63 foi o que apresentou estimativas da evapotranspiração de referência mais próximas das estimadas pelo método de Penman-Monteith (método padrão).

Henrique (2006) usando uma fórmula empírica estimou a evapotranspiração de referência diária para o Município de Campina Grande – PB (EToT) utilizando a amplitude térmica diária. Foi estimada também a evapotranspiração de referência diária usando os métodos empíricos de Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves (EToH) e Linacre (EToL), sendo posteriormente correlacionados com EToT por estação do ano. Também foram analisadas por estação do ano a variação da precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e a irradiação solar durante o ano de 2004. Uma das conclusões foi que em relação às correlações entre as estimativas de evapotranspiração de referência, a EToT em função da

EToH foi a que melhor se ajustou principalmente no verão em que o coeficiente de determinação foi de aproximadamente 0,98.

Sousa et al. (2005) com base nos dados da região Nordeste do Brasil, aplicaram uma técnica estatística multivariada denominada análise de componentes principais (ACP) e identificaram quais variáveis meteorológicas (temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, precipitação, umidade relativa do ar, evaporação à superfície, insolação e velocidade do vento a superfície) apresentaram maior influência no processo de evapotranspiração (ET) na região. Esta análise indicou que as variáveis climatológicas investigadas com maior representatividade foram: precipitação, umidade relativa do ar, evaporação à superfície e velocidade do vento à superfície; enquanto a temperatura mínima do ar apresentou menor influência para a região Nordeste do Brasil.

Amorim et al. (2003) estimaram a evapotranspiração potencial pelo método de Jensen e Haise para a cidade de Cascavel – PR, utilizando o simulador SEDAC\_R. Verificaram que este modelo obteve um excelente desempenho na simulação de dados climáticos diários para Cascavel – PR, permitindo criar cenários agroclimáticos pertinentes à estudos de previsão e prevenção de problemas ocasionados por eventos climáticos extremos e intensos. O modelo gerou dados satisfatórios quando comparados com dados observados na utilização de modelos hidroagroclimáticos.

Gomes et al. (2003) tiveram como objetivo principal determinar quais os métodos se ajustaram mais aos dados climáticos de evapotranspiração potencial para o Município de Rio Largo – Al. Dentre tais métodos, consideraram o método de Penman como padrão correlacionando-o com os demais, bem como determinar o ciclo anual da evapotranspiração potencial. Uma das conclusões foi que o melhor coeficiente de correlação Linear e Potencial foi observado para o método de Hargreaves-Samani (ETPHS), e o que obteve menor coeficiente foi o método de Linacre (ETPL).

Valiati et al. (2003) quantificaram e compararam a evapotranspiração potencial estimada pelos métodos do Tanque Classe A e Penman-Monteith em ambiente protegido. Através dessa análise, chegaram às conclusões que: o método Tanque Classe A superestimou em média 4,12% a evapotranspiração potencial em ambiente protegido, em relação ao método de Penman-Monteith; e que em função da pequena diferença encontrada entre os dois métodos utilizados, recomendaram o uso do método do Tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração potencial em ambiente protegido.

Para Ometto (1981) a evapotranspiração potencial seria a quantidade de água máxima possível que a planta pode e deve utilizar. Segundo o autor, a condição de

evapotranspiração potencial estabelece o nível ideal de relacionamento entre planta, solo e atmosfera, para surtir na planta a máxima produção possível.

Sabe-se que existem vários métodos de estimativa da evapotranspiração potencial, mas os mais disseminados e utilizados de acordo com Ometto (1981) são três: o critério referencial baseado no modelo aero-energético de Penman, o critério de extrapolação a partir do evaporímetro Casse A, e o modelo de Thornthwaite que baseia-se unicamente em índices térmicos obtidos a partir da temperatura do ar. Conforme o autor é impossível estabelecer a perda real em água de uma superfície vegetada, seja por não possuir equipamentos, seja por falta de condições para sua manipulação, ou por qualquer condição adversa em termos de prática diária. Na teoria a proposta resume-se em estimativas de perda de água da superfície vegetada, baseada em parâmetros meteorológicos medidos em local ou parte da cultura, em que esse local poderá ser um posto agrometeorológico completo, termo-pluvio-evaporimétrico ou termopluviométrico.

Deve-se lembrar que ao realizar o balanço hídrico, determina-se também um tipo de evapotranspiração conhecida por evapotranspiração real (ETR). Para Matzenauer (1992) citado por Henrique (2006), a evapotranspiração real é a perda de água para a atmosfera, por evaporação e transpiração nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo e pela demanda evaporativa da atmosfera.

Thornthwaite (1948) introduziu em sua classificação climática a evapotranspiração potencial e o balanço hídrico. A evapotranspiração potencial é determinada em função da temperatura média do ar e da insolação máxima, já o balanço hídrico é determinado apenas com os dados de precipitação e a própria temperatura média mensal do ar, medidos rotineiramente nos postos meteorológicos.

## 2.2 – Balanço Hídrico

O balanço hídrico é de fundamental importância em diversos estudos de uma região, por exemplo, identificação de locais favoráveis a determinado tipo de cultura, classificação climática, etc. Diversos autores definem balanço hídrico como sendo a contabilidade hídrica do solo, ou seja, o cômputo de todos os ganhos e perdas de água, juntamente com o seu armazenamento, que se verificam no solo ou bacia considerada.

Segundo Ometto (1981) o processo de entrada de água é realizado por meio da precipitação pluvial ou irrigação. A água cedida à superfície pela precipitação é função de sua



intensidade, duração, além da textura do solo, profundidade da camada impermeável e inclinação da superfície, em que a intensidade e inclinação podem ser fatores limitantes no molhamento do perfil: se a inclinação do terreno for muito acentuada e a intensidade da precipitação for elevada, a duração da chuva deixa de ser fator de importância, pois neste caso, o que predomina será o deflúvio superficial (escoamento superficial); já quando a declinação do terreno for considerada suave e a intensidade da precipitação baixa, a duração da precipitação passa a ser um fator primordial no molhamento do perfil.

Para Aguilar et al. (1986) citados por Santana (2004) os resultados de um balanço hídrico podem ser úteis no processo de zoneamento agroclimático de uma região, cálculo da demanda potencial de água das culturas irrigadas, definição de prioridades no planejamento de pesquisas ou, ainda, no conhecimento do regime hídrico.

Segundo Pereira et al. (2002) citados por Horikoshi e Fisch (2007), a disponibilidade hídrica pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico, no qual fica evidenciada a flutuação temporal de períodos com excedente e com deficiência, permitindo desta forma, o planejamento das atividades agrícolas e a quantificação de irrigação.

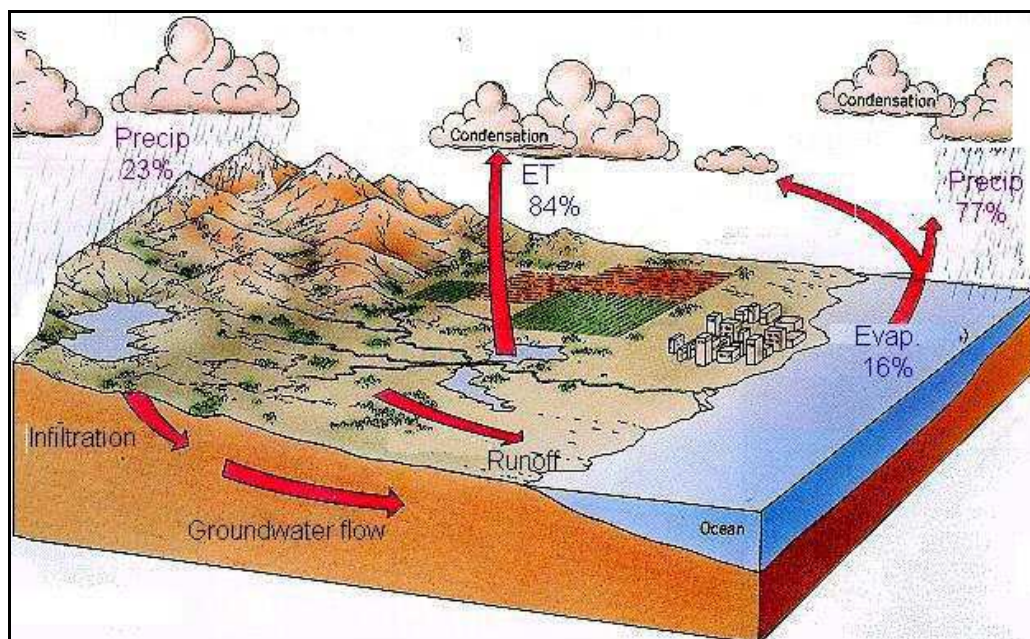
De acordo com Camargo (1971) citado por Horikoshi e Fisch (2007), para saber se uma região apresenta deficiência ou excesso de água durante o ano, é indispensável comparar dois elementos opostos do balanço hídrico: a precipitação que aumenta a umidade para o solo e a evapotranspiração que diminui a umidade do solo.

Têm-se no balanço hídrico, integrantes como: a precipitação (P) e/ou irrigação (I), que são os grandes fornecedores de água no solo, o deflúvio superficial (F) que seria a água que não entrou no solo, à quantidade de água que ficou armazenada neste mesmo solo (ARM), a drenagem profunda (D) que é aquela parte que percolou abaixo do perfil do solo, e por fim, a ação simultânea da evaporação e da transpiração das plantas (considerando sempre esse solo vegetado) que é denominada evapotranspiração (ET). A equação composta por essas variáveis é construída de modo que todos somados correspondem ao valor zero, contribuindo para o raciocínio do balanço hídrico.

Em estudos climatológicos interessa apenas a água que será ou poderá ser aproveitada pelas plantas. Logo, pode-se dizer que são consideradas somente a precipitação, irrigação, evapotranspiração e a variação de armazenamento de água no perfil considerado. O deflúvio superficial é desprezado, pois considera-se o fato de que as culturas para serem economicamente convenientes devam ser cultivadas em solos com topografia favorável e que o critério do plantio esteja em curva de nível dentre os tratos culturais, que é para eliminar a condição de deflúvio superficial. Com relação ao armazenamento da água, é de interesse

apenas na variação desse armazenamento na camada onde se situa aproximadamente 80% do sistema radicular das plantas. Com isso, a drenagem profunda pode ser considerada como excesso.

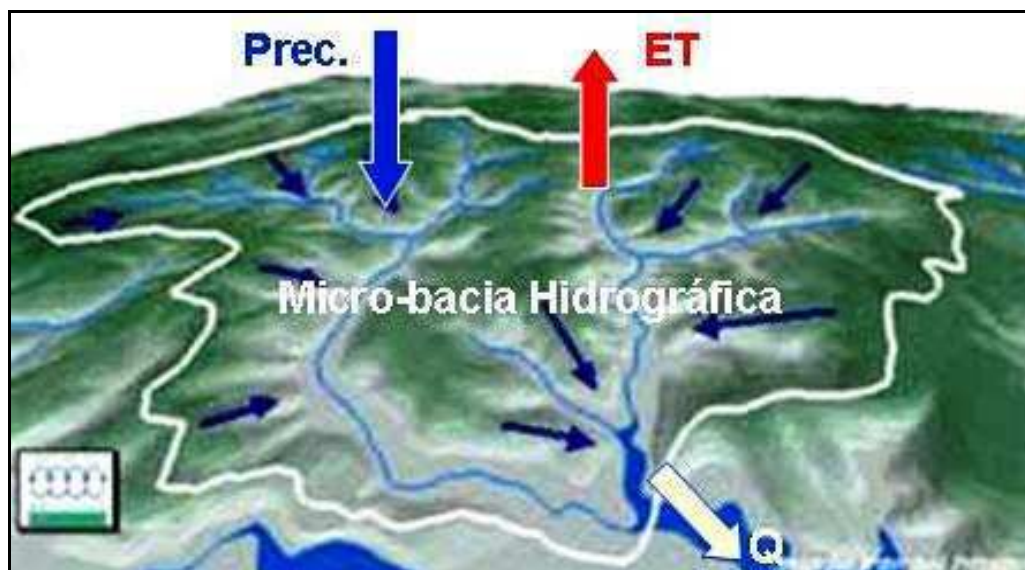
Considerando em escalas, pode-se dizer que na escala **macro** o balanço hídrico é o próprio ciclo hidrológico, em que o resultado fornecerá água disponível, de uma forma geral, no sistema (rios, lagos, vegetação, solo, oceanos, etc.), caso da biosfera. (Figura 1).



**Figura 1:** Exemplo de um balanço hídrico em escala macro

**Fonte:** <[http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps#257,2,Slide\\_2](http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps#257,2,Slide_2)>. Acesso em: 08 abr. 2009

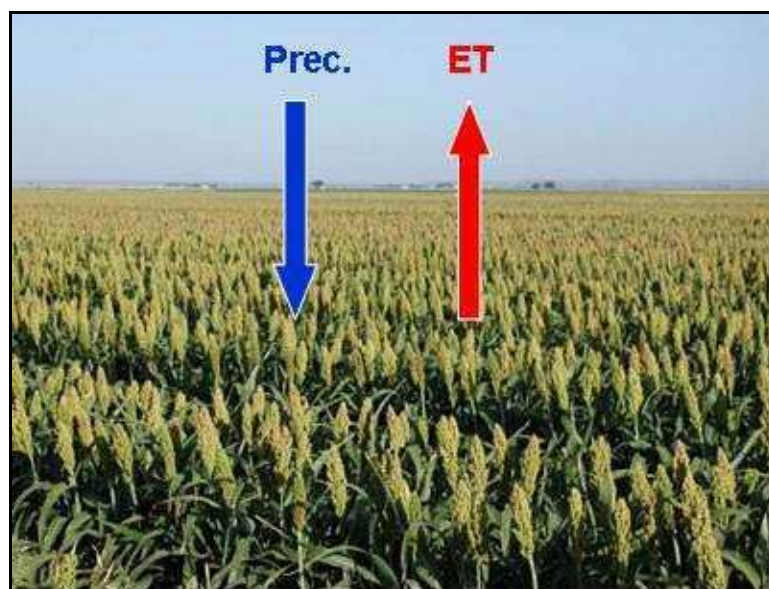
Quando se refere à escala **intermediária**, representada por uma micro-bacia hidrográfica, o balanço hídrico resulta na vazão de água ( $Q$ ) desse sistema, onde num determinado período considerado, tem-se duas situações distintas: a vazão ( $Q$ ) aumenta à medida que ocorrem períodos em que a chuva é maior do que a demanda atmosférica por vapor d'água; e ela diminui quando num período, a chuva é inferior do que a demanda atmosférica por vapor d'água. (Figura 2).



**Figura 2:** Escala intermediária do balanço hídrico

**Fonte:** <[http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps#276,3,Slide\\_3](http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps#276,3,Slide_3)>. Acesso em: 08 abr. 2009

Por fim, a escala **local** (Figura 3) em caso de cultura, em que determina-se através do balanço hídrico a variação do armazenamento de água do solo e, por conseqüência, sua disponibilidade naquele local. Com isso podem-se determinar alguns parâmetros de fundamental importância para as culturas, de maneira geral, buscando sempre o melhor aproveitamento dessas culturas, ou seja, o nível de seu rendimento.



**Figura 3:** Balanço hídrico em escala local

**Fonte:** <[http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps#276,3,Slide\\_3](http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps#276,3,Slide_3)>. Acesso em: 08 abr. 2009

Ainda há classificação do balanço hídrico climatológico em Normal e Seqüencial. O **Balanço Hídrico Climatológico Normal** utiliza dados médios de precipitação e evapotranspiração potencial de uma determinada região, sendo um bom indicador para estudos climáticos, pois verifica-se os parâmetros desse balanço hídrico em função de um ano médio, obtido de um intervalo de tempo (em anos) especificado. Esse tipo de balanço é de muita ajuda em planejamento agrícola. Já o **Balanço Hídrico Climatológico Seqüencial** utiliza os dados de precipitação e evapotranspiração potencial de um determinado período ou uma seqüência de períodos (dias, meses, semanas) de um ano específico para uma região, auxiliando em tomadas de decisões. Foi limitado a definir e explicar apenas o balanço hídrico climatológico normal, denominado apenas por balanço hídrico.

Na prática, efetuar diretamente o balanço hídrico não é uma tarefa simples e dependendo do local, às vezes nem sempre possível. Geralmente exige o emprego de equipamentos sofisticados e de mão-de-obra especializada, muitas vezes tornando, inacessível ao agricultor. Estudos que levam em conta todos os fluxos envolvidos neste processo ficam restritos a pequenas áreas e se destinam à verificação da validade de modelos matemáticos, desenvolvidos para simulação deste balanço hídrico. Já os métodos indiretos, desenvolvidos a partir de variáveis meteorológicas, ainda hoje apenas se aproximam da realidade física do local, pois sabe-se que é bastante complicada a obtenção desse balanço hídrico de maneira fácil e precisa.

É comum admitir-se no balanço hídrico que o solo atua como se fosse um recipiente, em que a capacidade de campo seria a máxima quantidade de água acumulada. Na vida prática, determina-se no laboratório a capacidade de armazenamento de  $1 \text{ m}^2$  do solo, até a profundidade explorada pelas raízes das plantas neles presentes. (Varejão-Silva, 2005).

Em meio às diversas dificuldades de obtenção desse balanço hídrico, utilizam-se estimativas para determinar parâmetros, do tipo climatológico, a fim de se efetuar comparações de condições reinantes em locais diferentes, onde existe uma sustentação de idéia de que se uma mesma metodologia for empregada em todas as localidades de uma determinada região (desde que tenham dados disponíveis), podem-se realizar comparações destes resultados obtidos, ou seja, muitas vezes, é possível identificar áreas climaticamente favoráveis à exploração de um tipo de cultura, desde que se conheçam as exigências climáticas desta mesma cultura, expressas também em termos de parâmetros do balanço hídrico.

Em 1948, C. W. Thornthwaite desenvolveu um método simples de estimativa do balanço hídrico em bases mensais, utilizando apenas dados de temperatura média mensal do

ar, precipitação mensal e um valor correspondente à capacidade de armazenamento deste solo. Segundo Vianello (1991) este método obteve popularidade mundial, em parte somente por exigir o conhecimento apenas da temperatura do ar e precipitação pluvial, e também, porque apresenta como base para uma classificação mundial dos climas, levando em consideração os parâmetros atmosféricos, a vegetação e o solo.

Em 1957, Thornthwaite e Mather publicaram uma versão mais avançada do balanço hídrico climático com mudanças em duas considerações, que foram aperfeiçoadas: a capacidade de água disponível no solo tornou-se variável e estabelecida em função das propriedades (capacidade de campo e ponto de murcha permanente) na camada explorada pelas raízes das plantas nelas presentes; já a outra consideração referente à perda de água pelo solo através da evapotranspiração que era linear, modificou-se também porque o solo passa agora a oferecer resistência à secagem, de modo que quanto menos água existir neste solo, mais difícil será de retirá-la, sendo essa resistência expressa por uma função exponencial.

Diversas pesquisas foram desenvolvidas ao longo do tempo utilizando balanços hídricos, variando de acordo com os objetivos especificados. Horikoshi e Fisch (2007) elaboraram um balanço hídrico atual para o Município de Taubaté – SP e analisaram a questão da disponibilidade hídrica futura. Utilizaram no método de cálculo do balanço hídrico climatológico, dados de precipitação no período de 1983 a 2005 e os dados de temperatura do ar no período de 1992 a 2005, coletados no posto meteorológico da Universidade de Taubaté (UNITAU). Além disso, os autores utilizaram ainda a série histórica do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), posto prefixo E2-022, com um período de dados mais longo (1964-2005). Utilizaram um valor para a capacidade de água disponível (CAD) igual a 100 mm na realização do balanço hídrico.

André et al. (2005) objetivando o estudo da disponibilidade hídrica para a Região Norte Fluminense por meio da determinação sazonal do balanço hídrico climatológico e a delimitação da região para fins de uma nova classificação climática para o Estado do Rio de Janeiro, estimaram esses balanços hídricos para 14 localidades através de médias mensais de temperatura do ar e totais mensais de precipitação num período de 30 anos. Para o cálculo do balanço hídrico, foi usada a CAD de 125 mm.

Teixeira e Silva (1999) determinaram o balanço hídrico seriado para a região de Petrolina – PE, utilizando dados diários de precipitação e temperatura do ar da estação agrometeorológica da Embrapa Semi-árido. Com este trabalho se objetivou realizar o balanço hídrico seriado para estimativa dos totais de deficiências e excedentes hídricos para o período

de 1974 a 1998, gerando uma idéia do que acontece com boa parte da região semi-árida, no que diz respeito à disponibilidade de água.

Zepka (2002) calculou e analisou o balanço hídrico para a cidade de Pelotas – RS, num período de 30 anos, tendo em vista a uniformidade do regime pluviométrico do Município. O balanço foi calculado utilizando-se dados meteorológicos mensais de temperatura média do ar e precipitação, obtidos na Estação Agroclimatológica de Pelotas, convênio EMBRAPA/UFPel.

Santana et al. (2004) objetivando disponibilizar um número maior de informações sobre os aspectos climáticos da microrregião e utilizando-se os dados de precipitação e temperatura do ar, estabeleceram o balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite da Estação Ecológica do Seridó, no Município de Serra Negra do Norte – RN. No balanço utilizaram dados obtidos em dez anos (1995-2004) e uma capacidade de armazenamento de água no solo de 125 mm.

### 2.3 – Análise Multivariada

Quando se objetiva estudar uma determinada localidade, é comum estudar também a variabilidade espacial e temporal do conjunto de variáveis. A análise multivariada é utilizada em muitos estudos na meteorologia, com muitas aplicações na climatologia, quando necessita-se de avaliação do comportamento espacial em certa região, ao qual é necessário subdividir a região em sub-regiões com características semelhantes das variáveis estudadas, quais sejam dados de precipitação, temperatura do ar, entre outros.

Segundo alguns autores de literaturas sobre a análise multivariada, não é fácil uma definição simples da mesma. Serão mostradas duas definições com o intuito de um melhor entendimento:

Para Hair et al. (2005) a análise multivariada é definida como todos os métodos estatísticos que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre cada indivíduo ou objeto sob investigação. De certo modo pode ser considerada análise multivariada qualquer análise simultânea de mais de duas variáveis

Corrar et al. (2007) ressaltam que a análise multivariada refere-se a um conjunto de métodos estatísticos que torna possível a análise simultânea de medidas múltiplas para cada indivíduo, objeto ou fenômeno observado. Pode-se dizer que os métodos que permitem a

análise simultânea de mais de duas variáveis podem ser considerados como integrantes da análise multivariada.

Em Meteorologia são empregadas algumas técnicas da análise multivariada como a análise de componentes principais, a análise de agrupamentos, dentre outras. Neste estudo foi aplicada a análise de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas de índices climáticos: de aridez ( $I_a$ ), de umidade ( $I_u$ ) e hídrico ( $I_h$ ) para o Estado da Paraíba.

### 2.3.1 – Análise de Agrupamentos

Segundo Reis (2001) o método consiste em agrupar indivíduos em função das informações existentes, que neste caso são as variáveis, de modo que os indivíduos pertencentes ao mesmo grupo sejam tão semelhantes quanto possível e sempre mais aos elementos do mesmo grupo do que aos elementos dos grupos restantes.

Dada uma matriz  $X_{(n \times p)}$ , com “n” e “p” representando, respectivamente, as linhas (indivíduos) e as colunas (variáveis), o método consiste no agrupamento destes indivíduos de acordo com suas características que, geralmente, são as variáveis. Utilizou-se nesta pesquisa a ferramenta para agrupar postos de acordo com os índices climáticos ( $I_a$ ,  $I_u$  e  $I_h$ ).

Essa análise é frequentemente referida também como análise de clusters, análise de conglomerados, Q analysis, typology, classification analysis, numerical taxonomy. A variedade de nomes é devida, em parte, a aplicações em diversas disciplinas.

#### 2.3.1.1 – Organização dos Dados em Análise de Agrupamentos

Para prosseguir com a análise de agrupamentos é necessário o entendimento do pesquisador a respeito das variáveis que se desejam estudar, ou seja, é necessário o conhecimento prévio de como os dados serão organizados. Segundo Reis (2001), geralmente os algoritmos de agrupamento, operam sobre dois tipos de estruturas de dados:

- a) Uma matriz inicial  $X_{(n \times p)}$  onde as linhas correspondem aos indivíduos e as colunas aos seus atributos ou características;



- b) Consiste numa apresentação através da forma de um quadro de dimensão  $n \times n$  cujos elementos medem as proximidades de cada par de indivíduos, onde essas proximidades são medidas de semelhanças (quando representa o grau de similaridade entre cada par de indivíduos) ou distâncias (quando dessa vez, é medido o grau de afastamento ou diferenças).

Em estudos na climatologia, geralmente nessas matrizes, as linhas “n” representam os locais (estações) e as colunas “p” são dados meteorológicos tais como: temperatura do ar, precipitação, etc., agrupados ou não em ordem cronológica.

### 2.3.1.2 – Medidas de Similaridade e Dissimilaridade

Para proceder à análise de agrupamentos é necessária a especificação do tipo de medida com que os algoritmos utilizarão para agrupar esses objetos. Segundo Aldenderfer e Blashfield (1985) citados por Reis (2001) os índices de similaridade ou de dissimilaridade mais utilizados se classificam nas seguintes categorias: coeficientes de correlação, medidas de distância, coeficientes de associação e medidas de semelhança probabilística. Dentre esses índices, os mais utilizados são os dois primeiros, com os coeficientes de correlação usualmente aplicados como medida de similaridade e as medidas de distância como medida de dissimilaridade.

Na medida de similaridade, quanto maior o valor, mais semelhantes os objetos parecem. Já na medida de dissimilaridade, quanto maior o valor, menos semelhantes eles serão. Neste estudo, aplicou-se a medida de distância como medida de dissimilaridade.

### 2.3.1.3 – Métodos Hierárquicos de Agrupamento

Destacam-se esses procedimentos por envolverem uma hierarquia de estrutura semelhante a uma “árvore” e por não terem um número de grupos (classes) estabelecido antes do processo. O ponto de partida comum de todos os métodos hierárquicos é a construção da matriz de similaridade ou de dissimilaridade chamada também de “matriz de parença”.

Os métodos hierárquicos ainda se dividem em aglomerativos e divisivos. No aglomerativo, inicia-se com  $n$  grupos com apenas um indivíduo em cada, que vão sendo



agrupados no decorrer do processo até finalizar com apenas um grupo contendo todos os  $n$  indivíduos; já o divisivo é justamente o inverso do aglomerativo, ou seja, inicia-se de um grupo que contém todos os  $n$  indivíduos e por um processo sistemático de divisões sucessivas finaliza-se com  $n$  grupos com apenas um indivíduo pertencente a cada grupo.

Foi dada prioridade na aplicação do procedimento hierárquico aglomerativo. Everitt (1993) comprova informações mencionadas anteriormente em que nos métodos de análise de agrupamentos aglomerativos todos os processos são similares. Estes são capazes de construir um segmento de partições em  $n$ ,  $n - 1$ ,  $n - 2$  ..., classes embutidas umas nas outras com auxílio de uma distância e critério de agrupamento, de forma que as partições em  $k$  classes sejam obtidas agrupando-se duas classes da partição em  $k + 1$ . As partições normalmente são representadas por meio do gráfico denominado dendrograma.

Deve-se salientar ainda que no método hierárquico aglomerativo, após o primeiro passo em que dois indivíduos serão agrupados, a matriz de similaridade ou dissimilaridade escolhida será recalculada a saber o próximo agrupamento que será efetuado. Esse processo continua até existir um único grupo contendo todos os indivíduos em estudo.

### 2.3.2 – Aplicações de Técnicas da Análise Multivariada

A análise multivariada é vista em várias aplicações em diversas áreas do conhecimento científico e em diversos locais. Destacam-se algumas técnicas na meteorologia como análise de agrupamentos e análise de componentes principais que desempenham importantes papéis como classificação de determinados indivíduos de acordo com suas características e redução dos dados originais sem muita perda de informação, entre outras finalidades. Diversos autores recorrem a essas técnicas, mostrando assim, o quanto à análise multivariada vem crescendo nesses estudos.

Curi (1985) citado por Araújo (2005) em um exemplo estuda os aminoácidos livres do tecido cerebral de ratos usando a análise de agrupamentos, complementada com a ordenação das unidades por componentes principais e com análise de variância multivariada, que serviu para indicar o nível de similaridade mais adequado para a definição dos agrupamentos.

Estudando a poluição atmosférica, Dorling et al. (1992) combinaram a análise de agrupamentos de dados isobáricos (1000mb) das linhas de trajetória do ar para estabelecer

modelos sinóticos e relacioná-los com a concentração de poluentes (aerossóis e concentrações iônicas) na precipitação pluvial em Eskdalemuir, sul da Escócia.

Santos (2008) aplicou métodos de agrupamento nos resultados da análise multifractal para verificar a sensibilidade desta análise na diferenciação entre casos patológicos e casos normais da retina humana. As variáveis usadas foram os elementos de espectro multifractal  $f(a)$  e dimensões generalizadas  $D(q)$ , das quais foram escolhidos três conjuntos distintos. Os métodos de agrupamento usados para análise foram: o método de Ward, K-médias, PAM e Fuzzy c-means. Como medida para a validação dos grupos obtidos, foi usada a correlação cofenética para o método de Ward e gráficos de silhueta e silhueta média para os métodos K-médias, PAM e Fuzzy c-means.

Albuquerque (2005) utilizando dados de vegetação provenientes de um levantamento na Mata da Silvicultura, da Universidade Federal de Viçosa – MG propôs uma sistemática para o estudo e a interpretação da estabilidade dos métodos em análise de agrupamentos, através de vários algoritmos de agrupamento.

Yu e Chang (2001) analisaram séries temporais de dados de poluentes do ar,  $O_3$  e  $PM_{10}$ , para determinar a divisão das bacias hidrográficas, em termos de qualidade do ar, em Taiwan; onde empregaram métodos estatísticos multivariados, especificamente o método rotacional varimax e análise de agrupamentos.

Diniz (2003) utilizou a análise de agrupamentos para determinar regiões homogêneas de temperaturas máximas e mínimas do ar para o Estado do Rio Grande do Sul. Para isto, foram utilizados dados mensais de temperaturas máximas e mínimas do ar de 40 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, num período entre 1913 a 1998, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (8º Distrito de Meteorologia – Porto Alegre) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO), da Secretaria de Ciências e Tecnologia (SCT) no mesmo Estado. A este conjunto de dados foram aplicados quatro métodos hierárquicos de agrupamento, sendo escolhido o da Ligação Completa, segundo o autor, por apresentar uma configuração mais coerente do ponto de vista morfológico e climatológico desse Estado. Utilizou como função de agrupamento a distância euclidiana, obtendo assim, quatro regiões homogêneas, permitindo assim, a obtenção de um estudo mais detalhado em cada região.

Araújo (2005) aplicou também a técnica para identificar as regiões homogêneas da temperatura média trimestral do ar, utilizando dados de 40 estações meteorológicas, e estudar sua variabilidade climática (1913-2002) para esse mesmo Estado. Nesta aplicação, utilizou a distância euclidiana como função de agrupamento e como critério de agrupamento, o da

Ligação Completa, mostrando-se também coerente quanto à morfologia e climatologia desse Estado. Foram obtidas quatro regiões homogêneas, denominadas de R1, R2, R3 e R4 as quais tiveram uma composição, em termos de quantidade de estações contidas em cada uma pouco variável.

Ainda nesse Estado, Miele et al. (2005) identificaram regiões homogêneas em relação às variáveis climáticas de importância para a vitivinicultura. Já Mezzomo et al. (2007) em um trabalho cujo objetivo seria um estudo do comportamento das temperaturas mínimas médias trimestrais do ar, em 90 anos de observações, de 1913 a 2002, utilizaram a técnica da análise de agrupamentos para determinação de regiões homogêneas dessa temperatura, obtendo assim, cinco regiões em cada trimestre utilizado (trimestres do verão e inverno). Após essa etapa, foram calculadas as médias das temperaturas mínimas médias trimestrais do ar, das estações da região homogênea que abrange Pelotas – RS, obtendo-se duas séries de 90 anos de dados cada uma, utilizadas para o estudo incluído no objetivo principal deste trabalho.

Souza et al. (1992) avaliaram o comportamento das chuvas médias e máximas com dados de 60 estações (locais), com um período mínimo de 14 e um máximo de 72 anos do Estado de Alagoas. Utilizaram de métodos da análise multivariada como componentes principais e análise de agrupamentos.

Baldo et al. (2000) objetivando estudar a variabilidade da precipitação pluvial e correlacioná-la com as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) do Oceano Pacífico, através de dados obtidos junto à Agência Nacional de Engenharia Elétrica, Brasília, utilizando 42 séries de precipitação de estações do Estado de Santa Catarina, com dados totais mensais e anuais, para o período máximo de 1950 a 1997, aplicaram técnicas da análise multivariada na regionalização dessas séries para obter grupos homogêneos. Utilizaram o método de classificação hierárquica, o de Ward, e como critério de agregação, à distância euclidiana. Melo Júnior et al. (2006) realizaram a análise espacial do regime de chuvas para a região hidrográfica do Atlântico, trecho Leste no Estado de Minas Gerais, tendo em vista o seguinte objetivo: obter e espacializar grupos de estações pluviométricas que caracterizam regiões homogêneas de frequência de chuva, por intermédio da análise espacial, utilizando-se os procedimentos da análise estatística multivariada: componentes principais rotacionados e agrupamentos para toda a região hidrográfica em estudo.

Silva et al. (2001) visando estudar o comportamento dos totais trimestrais (março-abril-maio) registrados em 81 anos de observação (1911-1991) das chuvas do Estado do Ceará com dados de 20 estações meteorológicas distribuídas por extensão desse Estado, aplicaram da análise multivariada, a técnica de análise de agrupamentos, para delimitar regiões

homogêneas quanto o regime de chuvas e obtiveram também quatro regiões homogêneas. Utilizaram o método hierárquico aglomerativo de Ward, tendo como medida de similaridade a distância euclidiana ao quadrado e a inércia intra-classe como critério de agregação. Já Azevedo et al. (1998) utilizando totais diários de chuva de 84 postos pluviométricos desse mesmo Estado, determinaram a contribuição da pluviometria das primeira (01/01 a 19/03) e segunda (20/03 a 30/06) metades para o total pluviométrico da estação chuvosa (1º de janeiro a 30 de junho) de cada microrregião do Estado. Aplicaram a análise de agrupamentos para identificar microrregiões pluviometricamente homogêneas, identificando sete microrregiões.

Braga e Silva (1990) identificaram sub-regiões homogêneas no Estado da Paraíba, a partir de valores médios decendiais de séries temporais de alturas pluviométricas correspondentes ao período de 1930 a 1981, através da técnica de análise de agrupamentos hierárquica ascendente. Como resultado, identificaram seis sub-regiões climatologicamente homogêneas do ponto de vista da distribuição espacial da pluviometria: Sertão, Alto Sertão, Cariri, Agreste, Brejo e Litoral.

Braga et al. (1998) utilizando séries diárias de precipitação, de 140 estações meteorológicas distribuídas no Estado da Bahia, com no mínimo 30 anos de dados e cedidos ao Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), identificaram nove sub-regiões homogêneas em relação ao ciclo total anual da precipitação média decendial. Para isto, aplicaram a técnica hierárquica de agrupamentos, sendo o critério de agrupamento proposto por Ward (1963) e a distância euclidiana como função de agrupamento.

A técnica de agrupamentos foi utilizada por Keller Filho et al. (2005) em um trabalho cujo objetivo foi identificar, no Brasil, regiões homogêneas quanto à probabilidade de chuva e assim, contribuir para estudos de riscos climáticos na agricultura. Dentre as aplicações da técnica neste trabalho, uma delas foi de grande utilidade na identificação de 25 zonas pluviometricamente homogêneas em todo o território brasileiro.

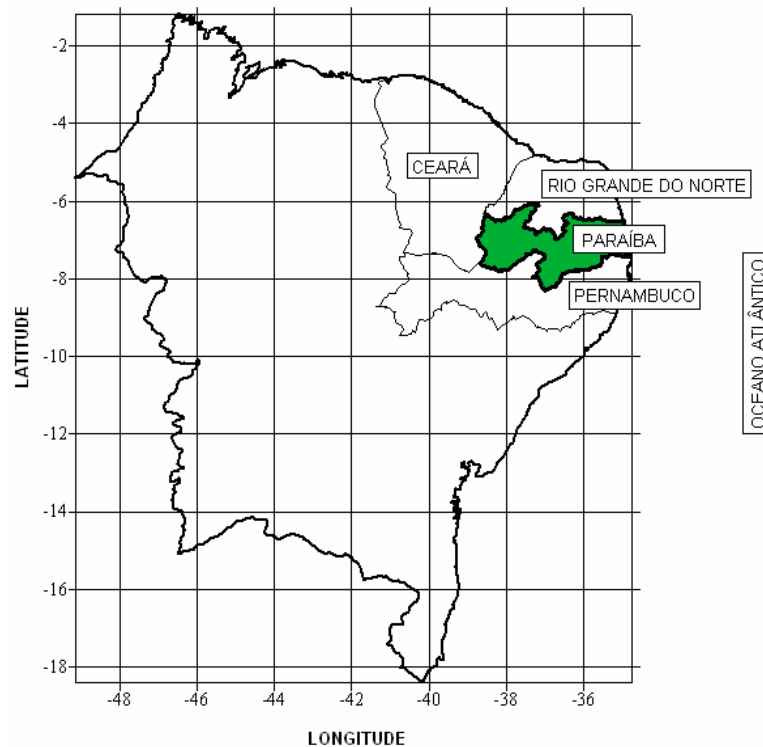
Gurgel et al. (2003) estudaram a variabilidade do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) sobre o Brasil, utilizando a análise de agrupamentos. Essa análise foi realizada num conjunto de dados de NDVI, produzido pelo Grupo de Estudos de Monitoramento e Modelamento do Inventário Global (GIMMS – Global Inventory Modeling and Monitoring Study) da Goddard Space Flight Center/National Aeronautics & Space Administration (GSFC/NASA). A análise dos resultados obtidos na análise de agrupamentos baseou-se na interpretação dos nove grupos, comparando-os e os relacionando a um ou mais tipos de vegetação, com base no mapa de vegetação do Brasil.

Sansigolo e Nery (1998) aplicaram as metodologias de análise fatorial e de agrupamentos aos dados de chuva nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, visando à sua regionalização e melhor compreensão de seus padrões sazonais e interanuais.

### 3 – MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 – Área de Estudo

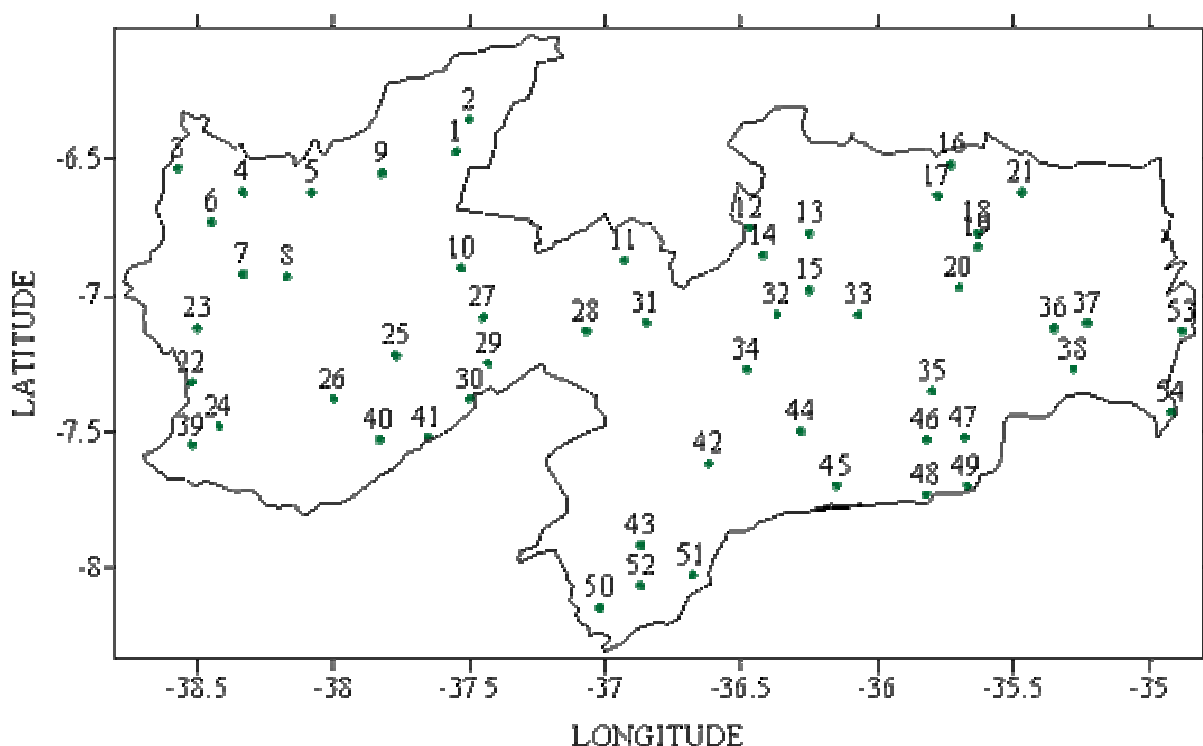
A área de estudo foi o Estado da Paraíba (Figura 4) localizado no Nordeste do Brasil entre os meridianos de  $34^{\circ}45'54''$  e  $38^{\circ}45'45''$  de longitude Oeste e entre os paralelos de  $6^{\circ}02'12''$  e  $8^{\circ}19'18''$  de latitude Sul, com uma área de aproximadamente  $56.440 \text{ Km}^2$ . É limitado ao norte, com o Estado do Rio Grande do Norte; a oeste, com o Ceará; ao sul, com Pernambuco; e a leste com o Oceano Atlântico. Possui ao todo 223 Municípios (IBGE, 2008).



**Figura 4:** Localização do Estado da Paraíba

### 3.2 – Dados

Na realização deste trabalho, foram utilizados dados de precipitação disponíveis na Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), especificando uma série de 1970 a 2000. Pela falta de dados de precipitação em algumas localidades no ano específico de 1992, optou-se pela exclusão desse ano para todos os postos estudados. Com isso, foram utilizados dados de 54 postos com uma série composta por 30 anos de dados. Em meio à dificuldade de obter dados de temperatura média mensal do ar ao longo dos anos para algumas localidades estudadas, utilizou-se da ajuda de um software (Cavalcanti et al., 2006) denominado Estima\_T e desenvolvido na Universidade Federal de Campina Grande, que foi utilizado na estimativa das séries de temperaturas de todas as localidades, optando pela estimativa dos dados em todos os postos para seguir um critério mais rígido no estudo. A Figura 5 mostra a distribuição espacial dos postos localizados no Estado da Paraíba.



**Figura 5:** Localização dos 54 postos no Estado da Paraíba

Na Tabela 1 estão indicados os nomes dos postos e suas respectivas coordenadas geográficas, bem como uma numeração dos mesmos, que foram utilizados no trabalho, no sentido de facilitar a localização deles na Figura 5.

**Tabela 1:** Nomes dos postos no Estado da Paraíba utilizados neste estudo

POSTO	NOME	LAT °S	LONG °W	ALT (m)	ORDEM
3824992	JENIPAPEIRO DOS CARREIROS	6°28'	37°33'	190	1
3825701	BREJO DO CRUZ	6°21'	37°30'	190	2
3832089	BARRA DO JUÁ	6°32'	38°34'	500	3
3833235	SÃO VICENTE	6°37'	38°20'	420	4
3833285	SÃO FRANCISCO	6°37'	38°5'	150	5
3833413	ANTENOR NAVARRO	6°44'	38°27'	240	6
3833835	NAZAREZINHO	6°55'	38°20'	265	7
3833869	SÃO JOSÉ DA LAGOA TAPADA	6°56'	38°10'	260	8
3834137	JERICÓ	6°33'	37°49'	215	9
3834894	MALTA	6°54'	37°32'	340	10
3836715	SANTA LUZIA	6°52'	36°56'	290	11
3837507	PEDRA LAVRADA	6°45'	36°28'	525	12
3837552	SOSSEGO	6°46'	36°15'	600	13
3837717	SERIDÓ	6°51'	36°25'	530	14
3837953	OLIVEDOS	6°59'	36°15'	545	15
3838055	ARARUNA	6°31'	35°44'	580	16
3838246	CACIMBA DE DENTRO	6°38'	35°47'	460	17
3838575	BANANEIRAS	6°46'	35°38'	552	18
3838675	SERRARIA	6°49'	35°38'	360	19
3838962	AREIA	6°58'	35°42'	445	20
3839208	CAIÇARA	6°37'	35°28'	185	21
3842698	BONITO DE SANTA FÉ	7°19'	38°31'	575	22
3843202	SÃO JOSÉ DE PIRANHAS	7°7'	38°30'	300	23
3843919	IBIARA	7°29'	38°25'	330	24
3844448	OLHO D'ÁGUA	7°13'	37°46'	275	25
3844703	GARROTES	7°23'	38°	305	26
3845113	SANTA TERESINHA	7°5'	37°27'	380	27
3845289	PASSAGEM	7°8'	37°4'	340	28
3845514	MÃE D'ÁGUA DE DENTRO	7°15'	37°26'	370	29
3845703	IMACULADA	7°23'	37°30'	750	30
3846231	SALGADINHO	7°6'	36°51'	410	31
3847128	SOLEDADE	7°4'	36°22'	560	32
3847188	POCINHOS	7°4'	36°4'	624	33
3847505	GURJÃO	7°16'	36°29'	480	34
3848741	FAGUNDES	7°21'	35°48'	520	35
3849232	ACAÚ	7°7'	35°21'	146	36
3849254	SAPÉ	7°6'	35°14'	125	37
3849545	PILAR	7°16'	35°17'	35	38
3852197	CONCEIÇÃO	7°33'	38°31'	370	39
3854036	JURU	7°32'	37°50'	470	40
3854072	ÁGUA BRANCA	7°31'	37°39'	710	41
3856278	COXIXOLA	7°37'	36°37'	465	42
3856828	CAMALAÚ	7°55'	36°52'	565	43
3857044	CABACEIRAS	7°30'	36°17'	390	44
3857471	RIACHO DE SANTO ANTÔNIO	7°42'	36°9'	455	45
3858039	FAZENDA LAGOA DOS MARCOS	7°32'	35°49'	430	46
3858065	AROERAS	7°31'	35°41'	340	47
3858439	MATA VIRGEM	7°44'	35°49'	645	48
3858467	UMBUZEIRO	7°42'	35°40'	553	49
3865397	SÃO SEBASTIÃO DO UMBUZEIRO	8°9'	37°1'	600	50
3866066	SANTA MARIA DA PARAÍBA	8°2'	36°41'	800	51
3866128	SÃO JOÃO DO TIGRE	8°4'	36°52'	616	52
3940225	JOÃO PESSOA	7°7'	34°53'	5	53
3940819	ALHANDRA	7°26'	34°55'	49	54



### 3.3 – Cálculo da Evapotranspiração Potencial

A estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) utilizada neste trabalho requer apenas dados de temperatura média mensal do ar e da insolação máxima. Expresso em (mm/mês) define-se a evapotranspiração potencial da seguinte forma: Thornthwaite (1948) disponível em Varejão-Silva (2005).

$$(ETP)_j = F_j \cdot E_j \quad (3.1)$$

Onde:

$E_j$ : Evapotranspiração potencial (mm/dia) não ajustada resumida da seguinte forma:

$$E_j = 0,533 \left( \frac{10 \cdot \bar{T}_j}{I} \right)^a \quad (3.2)$$

$\bar{T}_j$  representa a temperatura média mensal do ar do mês  $j$  ( $^{\circ}\text{C}$ );  $I$  é o índice anual de calor definido através de:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad (3.3)$$

Em que,  $i_j$  é o índice térmico de calor no mês  $j$  dado por:

$$i_j = \left( \frac{\bar{T}_j}{5} \right)^{1,514} \quad (3.4)$$

Por fim, o expoente  $a$  da equação (3.2) é uma função cúbica desse índice anual de calor, expresso da seguinte forma:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49 \quad (3.5)$$

### 3.3.1 – Fator de Correção $F_j$

O fator de correção  $F_j$  é definido em função do número de dias do mês  $D_j$  (em janeiro,  $D_1 = 31$ ; em fevereiro  $D_2 = 28$ ; etc.) e da insolação máxima do dia 15 do mês  $j$  ( $N_j$ ), considerado representativo da média desse mês, definido por:

$$F_j = \frac{D_j \cdot N_j}{12} \quad (3.6)$$

Para o cálculo da insolação máxima do dia 15, utilizou-se a seguinte expressão:

$$N_j = (2/15)[\text{arc. cos}(\text{tg}\phi \cdot \text{tg}\delta)] \quad (3.7)$$

Onde:

$\phi$ : Latitude do local;

$\delta$ : Declinação do Sol em graus, para o dia considerado; definido por:

$$\delta = 23,45^\circ \text{ sen}[360(284 + d)/365] \quad (3.8)$$

Em que  $d$  é o número de ordem, no ano do dia considerado (dia Juliano).

Salienta-se que a estimativa da evapotranspiração potencial (3.1) só é válida para valor de temperatura média do ar do mês inferior a  $26,5^\circ\text{C}$ . Quando a temperatura média desse mês for igual ou maior do que  $26,5^\circ\text{C}$ , Thornthwaite assumiu que  $E_j$  independe do índice anual de calor e utiliza-se para sua estimativa uma tabela apropriada.

### 3.4 – Cálculo do Balanço Hídrico

Aqui foi abordado o balanço hídrico proposto por Thornthwaite (1948) disponível em Varejão-Silva (2005). Sabe-se que uma das mudanças do método de Thornthwaite (1948)

refere-se à capacidade de armazenamento, denominada também de capacidade de água disponível desde que esta água esteja na camada onde se situa aproximadamente 80% do sistema radicular das plantas, que passou a ser estimada em função das propriedades físicas do solo, para o cálculo da CAD (mm) pode-se utilizar a seguinte expressão:

$$CAD = \rho_a \cdot H(C_C - P_M)/10 \quad (3.9)$$

Onde:

$\rho_a$  : Densidade aparente do solo ( $\text{g}/\text{cm}^{-3}$ );

H : Profundidade explorada pelo sistema radicular das plantas (cm);

$C_C$  : A umidade do solo quando em capacidade de Campo (%); e,

$P_M$  : A umidade do solo quando em ponto de murcha permanente (%).

**Obs:** Não utilizou-se o valor da CAD obtida através dessa expressão, apenas foi mencionada por enriquecimento desse estudo.

O balanço hídrico foi realizado apenas com dados de precipitação, temperatura média mensal do ar e um valor correspondente à capacidade de água disponível (CAD), ressaltando que utilizou-se balanços com as CADs de 75, 100, 125 e 150 mm. Deve-se lembrar ainda que a evapotranspiração é função da temperatura média mensal do ar e da insolação máxima. O balanço é o mesmo até a coluna da diferença entre a precipitação e evapotranspiração potencial (P-ETP), independente de qual CAD esteja utilizando. A partir desta coluna, é que se verificam alterações decorrentes em função de qual capacidade esteja trabalhando. Essas colunas significam: (NEG ACUM) que traduz a soma de todas as demandas mensais de água por evapotranspiração que foram solicitadas ao solo; (ARM) que refere-se à quantidade de água ainda existente no solo; (ALT) significa a alteração da quantidade de água existente neste solo no decorrer do processo de cálculo do balanço hídrico; (ETR) representa a evapotranspiração real; (EXC) corresponde ao excesso hídrico; e por fim (DEF), que expressa à deficiência hídrica. A estrutura utilizada do balanço hídrico originou-se da aplicação de um software encontrado em Belo Filho (2003) desenvolvido na própria Universidade, denominado Sistema de Estimativa da Evapotranspiração – SEVAP, mostrada a seguir na Figura 6:

MÊS	P (mm)	T (°C)	I	Fj	ETP (mm)	P-ETP (mm)	NEG. ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan												
Fev												
Mar												
Abr												
Mai												
Jun												
Jul												
Ago												
Set												
Out												
Nov												
Dez												
Total												

**Figura 6:** Modelo da planilha do balanço hídrico utilizado

**Fonte:** SEVAP

Concluída a etapa do balanço hídrico para as CADs de 75, 100, 125 e 150 mm, analisaram-se alterações decorrentes da variação delas nas variáveis da deficiência e do excesso, juntamente com os índices climáticos: de aridez, de umidade e hídrico no sentido de identificar alterações, que foram mostradas através de mapas separados.

### 3.5 – Índices Climáticos

Foi aplicada a técnica de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas dos índices climáticos: de aridez, de umidade e hídrico. Nesta aplicação, objetivou a identificar regiões homogêneas destes índices no Estado da Paraíba.

#### 3.5.1 – Índice de Aridez

Esse índice caracteriza-se por indicar a deficiência hídrica expressa em porcentagem da evapotranspiração potencial (necessidade). Segundo Ometto (1981) esse índice varia entre 0 e 100, ou seja, é 0 quando não existe deficiência e 100 quando ela iguala a evapotranspiração potencial. É definido em função da deficiência e evapotranspiração potencial (ambas anuais), expresso da seguinte forma:

$$I_a = 100 \cdot \frac{DEF}{ETP} \quad (3.10)$$

### 3.5.2 – Índice de Umidade

O índice de umidade representa o excesso hídrico expresso em percentagem da necessidade que é representada pela evapotranspiração potencial, ambas anuais, segundo a expressão:

$$I_u = 100 \cdot \frac{EXC}{ETP} \quad (3.11)$$

### 3.5.3 – Índice Hídrico

Geralmente tem-se durante o ano estações de excesso e falta d'água. Por isso, define-se o índice hídrico da seguinte maneira:

$$I_h = I_u - 0,6 \cdot I_a \quad (3.12)$$

Através da equação (3.12), verificamos que o índice de aridez tem um peso menor. De acordo com Ometto (1981), prevendo-se que um excesso de 6 mm é capaz de prover uma deficiência de 10 mm devido à redução da taxa de evapotranspiração.

Esses índices foram posteriormente utilizados como indicadores climáticos objetivando identificar no Estado da Paraíba, regiões homogêneas por meio da técnica, análise de agrupamentos.

## 3.6 – Análise de Agrupamentos

A análise de agrupamentos teve por finalidade descobrir agrupamentos homogêneos entre os 54 postos distribuídos pelo Estado da Paraíba, em relação aos índices climáticos. As matrizes foram organizadas da seguinte maneira: as linhas “n” corresponderam aos nomes

dos postos e as colunas “p” foram representadas pelos índices climáticos ( $I_a$ ,  $I_u$  e  $I_h$ ) de acordo com as quatro CADs estudadas, ou seja, na primeira matriz, “p” foi preenchida pelos dados do ( $I_a$ ), na segunda pelo ( $I_u$ ) e na terceira com o ( $I_h$ ), obtendo-se três matrizes utilizadas para análises.

### 3.6.1 – Distâncias Como Medida de Dissimilaridade

As medidas de distância são geralmente utilizadas como medidas de dissimilaridade entre os objetos de uma determinada matriz de dados. Existem várias medidas, no entanto, o pesquisador deve ter o conhecimento dos dados iniciais e ter muita atenção em qual distância ele deve utilizar. Foi aplicada somente a distância euclidiana em todos os métodos como medida de dissimilaridade através de um software estatístico.

*Distância euclidiana:* A distância entre dois indivíduos (i e j) é dada como a raiz quadrada do somatório das diferenças entre os valores de i e j para todas as variáveis ( $v=1, \dots, p$ ), expressa da seguinte forma:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{v=1}^p (X_{iv} - X_{jv})^2} \quad (3.13)$$

**Obs:** Para a distância ser utilizada como medida de similaridade, Hair et al. (2005) mencionaram que essa distância deve ser convertida através do uso de uma relação inversa. Que não será utilizada neste caso.

### 3.6.2 – Aplicação dos Métodos Hierárquicos de Agrupamento

Nas três matrizes obtidas neste trabalho, foram aplicados os seguintes métodos hierárquicos de agrupamento disponíveis em Reis (2001): Ligação Simples, Ligação Completa, Centróide e Ward.

1 – *Método da Ligação Simples* (ou critério do vizinho mais próximo): Este critério define como semelhança entre dois grupos a semelhança máxima entre quaisquer dois casos pertencentes a esses grupos, ou dito de outra maneira, dados dois grupos (i, j) e (k), a distância entre os dois será a menor das distâncias entre os elementos dos dois grupos:

$$d_{(i,j)k} = \min\{d_{ik}; d_{jk}\} \quad (3.14)$$

2 – *Método da Ligação Completa* (ou critério do vizinho mais afastado): Este critério é justamente o inverso do anterior, uma vez que a distância entre dois grupos é agora definida como sendo a distância entre os seus elementos mais afastados (maior distância), ou seja, dados dois grupos (i, j) e (k), a distância entre eles será a maior das distâncias entre os seus elementos:

$$d_{(i,j)k} = \max\{d_{ik}; d_{jk}\} \quad (3.15)$$

Na utilização de um coeficiente de correlação, este critério define como critério de agrupamento entre dois grupos a semelhança mínima entre quaisquer dois casos pertencentes a esses grupos.

3 – *Método do Centróide*: Nesta estratégia, a distância entre dois grupos é definida como a distância entre os seus centróides que são pontos definidos pelas médias das variáveis caracterizadoras dos indivíduos de cada grupo, isto é, o método do Centróide calcula a distância entre dois grupos como a diferença entre as suas médias, para todas as variáveis.

4 – *Método de Ward* (1963): Este tipo de critério baseia-se na perda de informação resultante do agrupamento dos indivíduos e medida através da soma dos quadrados dos desvios das observações individuais relativamente às médias dos grupos em que são classificadas. Segundo a autora, este método pode ser resumido nas seguintes etapas:

- a) Inicialmente, são calculadas as médias das variáveis para cada grupo;
- b) Em seguida, calcula-se o quadrado da distância euclidiana entre essas médias e os valores das variáveis para cada indivíduo;

- c) Somam-se as distâncias para todos os indivíduos;
- d) Por fim, pretende-se minimizar a variância dentro dos grupos. A função objetivo que se pretende minimizar é também chamada de soma dos quadrados dos erros (ESS) ou soma dentro dos grupos (WSS), definida segundo Reis (2001) por:

$$WSS = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad (3.16)$$

No início do processo de agrupamento, cada indivíduo constitui um grupo e  $WSS = 0$ . Em seguida, são agrupados os dois indivíduos que provocam um aumento mínimo no valor da soma dos quadrados dos erros, passando a existir  $n - 1$  grupos; estes  $n - 1$  grupos são então reexaminados e transformados em  $n - 2$  grupos, mas de tal modo que o aumento na função objetivo seja minimizado; o processo continua de forma sistemática até todos os indivíduos formarem um grupo apenas.

**Obs:** Embora esse método tenha sido explicado utilizando o quadrado da distância euclidiana, deve-se ressaltar que na aplicação, optou-se apenas pela utilização da distância euclidiana, por ter sido a distância estabelecida para todos os métodos estudados.

### 3.6.3 – Escolha do Método e Análise Estatística dos Grupos

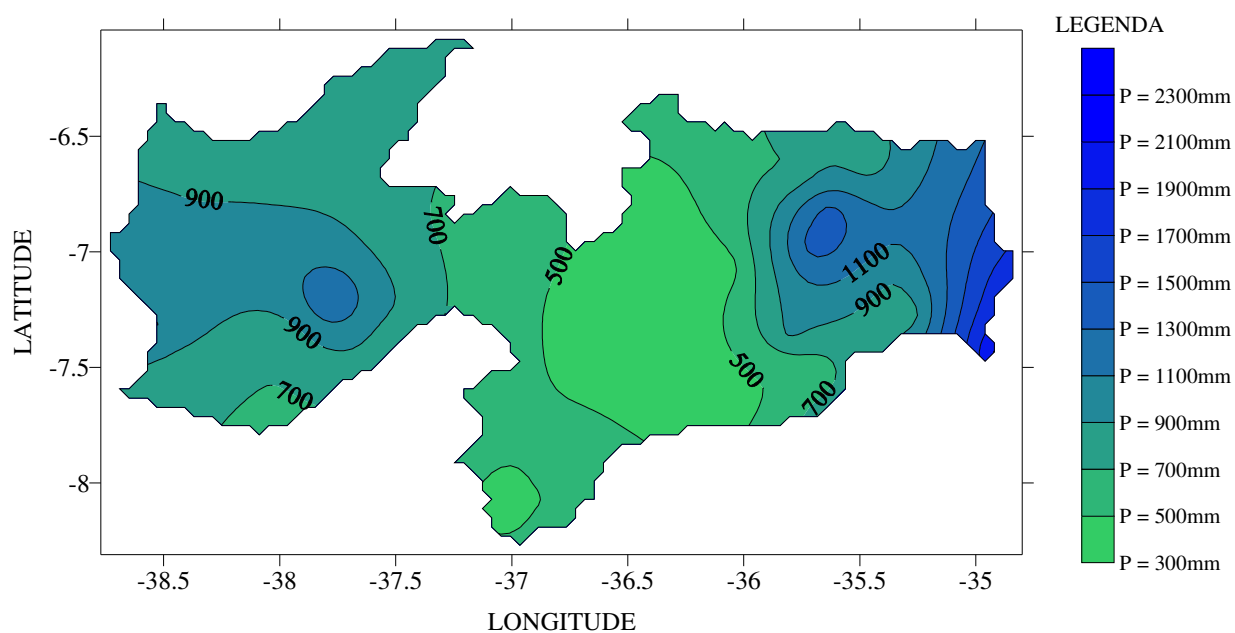
Dentre os quatro métodos empregados, foi escolhido o que melhor representou a característica climática de cada índice estudado utilizando também o critério de agregação (ou critério da inércia) para identificação de um número prévio de grupos homogêneos compostos por esses postos. Em cada grupo homogêneo desses postos para cada índice, analisou-se detalhadamente por meio de ferramentas da estatística descritiva (Bussab e Morettin, 2007) no sentido de comprovar a homogeneidade entre os elementos de cada grupo, além de extrair informações favoráveis a diversos estudos.



## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Precipitação

Antes de realizar os estudos da análise de agrupamentos, utilizou-se do método de interpolação Kriging para diversas variáveis estudadas. A Figura 7 refere-se à precipitação média anual no Estado da Paraíba segundo os 54 postos estudados:



**Figura 7:** Precipitação média anual no Estado da Paraíba

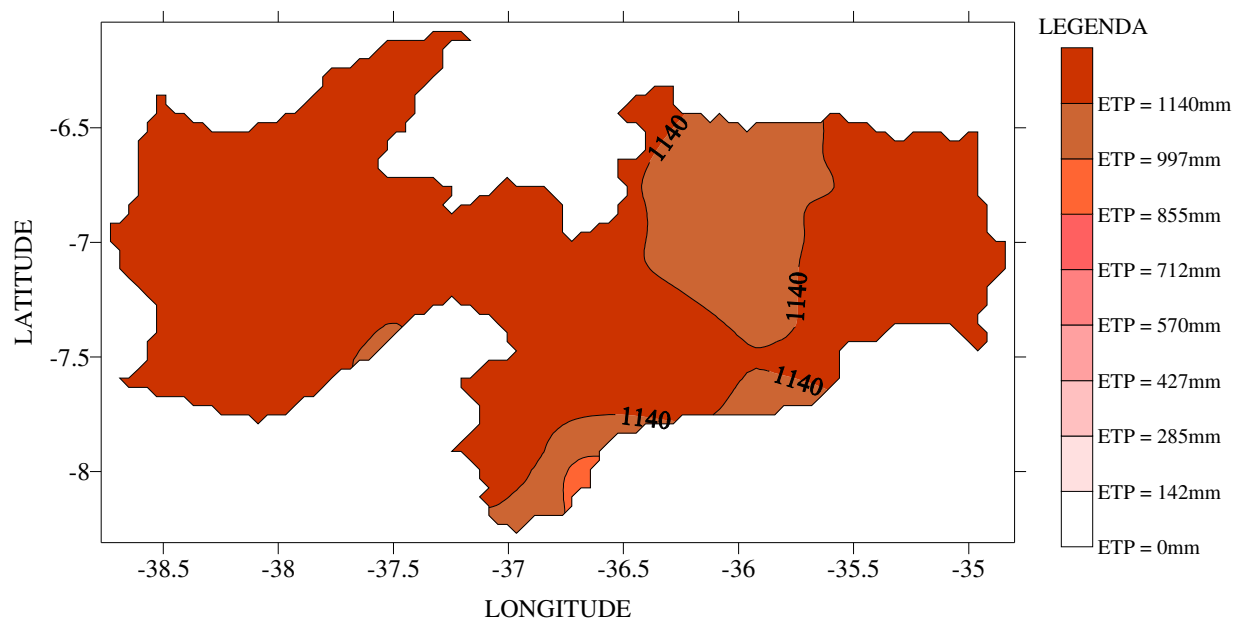
Através da figura constata-se alta variabilidade espacial da precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba. Este resultado foi coerente com Silva et al. (2003) quando mencionaram que no Litoral a precipitação pode ultrapassar os 1500 mm, enquanto que na região semi-árida a precipitação pluvial média é inferior a 800 mm.

A observação na Figura 7 permite concluir que a alta precipitação no Litoral é devido a fenômenos atmosféricos que favorecem essa ocorrência e por se tratar de uma localização próxima do Oceano Atlântico. Destacam-se também o Brejo e Alto Sertão que apresentaram consideráveis quantidades pluviométricas. Sabe-se que na grande maioria do Estado da Paraíba, a precipitação média foi inferior a 1000 mm, com locais que chegaram a uma faixa pouco superior a 300 mm, situados no Cariri/Curimataú, mostrando a grande escassez de água em algumas localidades, que são as mais prejudicadas neste aspecto.

Por fim, pode-se destacar que a análise da distribuição espacial da precipitação média anual obteve coerência com a característica predominante, em cada microrregião, das seis mencionadas por Menezes et al. (2008) nesse mesmo Estado.

#### 4.2 – Evapotranspiração Potencial

Sabe-se que a evapotranspiração é a ação simultânea da evaporação e da transpiração das plantas. É importante o conhecimento da mesma no sentido de identificar regiões e realizar comparações, desde que a metodologia seja a mesma para todo o campo de estudo. Com essa idéia, estimou-se valores da evapotranspiração potencial média anual para todo o Estado da Paraíba, conforme mostra a Figura 8:



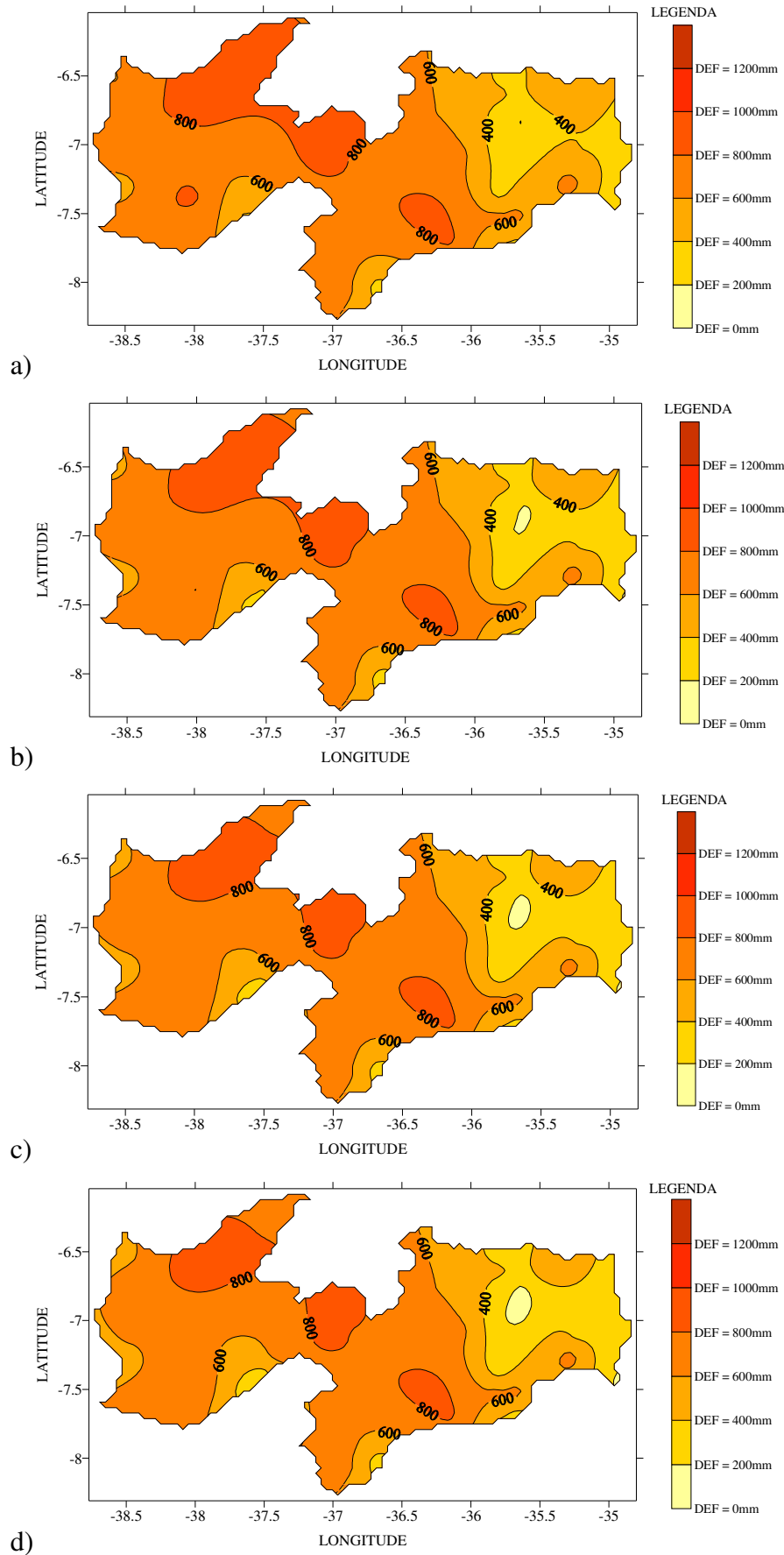
**Figura 8:** Evapotranspiração potencial média anual para o Estado da Paraíba

Observa-se na figura que não ocorreu grande variação espacial da temperatura média do ar no Estado Paraíba, conseqüentemente, a estimativa da evapotranspiração potencial seguiu a mesma configuração, sabendo que ela é estimada apenas com dados de temperatura média mensal do ar e da insolação máxima. Portanto, na Paraíba de uma forma geral, a evapotranspiração potencial média anual foi superior a 855 mm com suas respectivas variações dentre os locais, mostrando a grande demanda de água na Paraíba por evapotranspiração.

#### 4.3 – Deficiência Hídrica

Com os dados de precipitação, temperatura média mensal do ar e a estimativa da evapotranspiração potencial, determinou-se o balanço hídrico proposto por Thornthwaite (1948) para os 54 postos em quatro CADs, obtendo-se diversas variáveis. A Figura 9 mostra a deficiência hídrica nas diversas lâminas para o Estado da Paraíba.

Através da figura verificou-se que a deficiência diminuiu quando aumentou a capacidade de água disponível deste solo (CAD) nas lâminas estudadas (de 75 até 150 mm), tornando-se mais notório no Brejo, Sertão e Alto Sertão. No restante do Estado, a mesma tornou-se constante principalmente em quase toda a parte do Cariri/Curimataú e em boa parte do Agreste. Pode-se explicar a diminuição para as localidades que apresentaram essa situação através do seguinte raciocínio: considerando que a evapotranspiração potencial anual (ETP) é constante para todas as CADs e que a coluna de preenchimento da DEF no balanço hídrico é dada pela diferença entre as evapotranspirações potencial e real (ETR). O que está variando seria a evapotranspiração real (ETR), que em alguns casos, aumentou, ocasionando a diferença entre as faixas estabelecidas da DEF aqui mostradas. Deve-se considerar que as modificações dos limites das faixas podem ocasionar comportamentos dessa deficiência razoavelmente diferentes em algumas regiões desse Estado. Porém, sua característica de um modo geral não fica comprometida.



**Figura 9:** Deficiência hídrica da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm

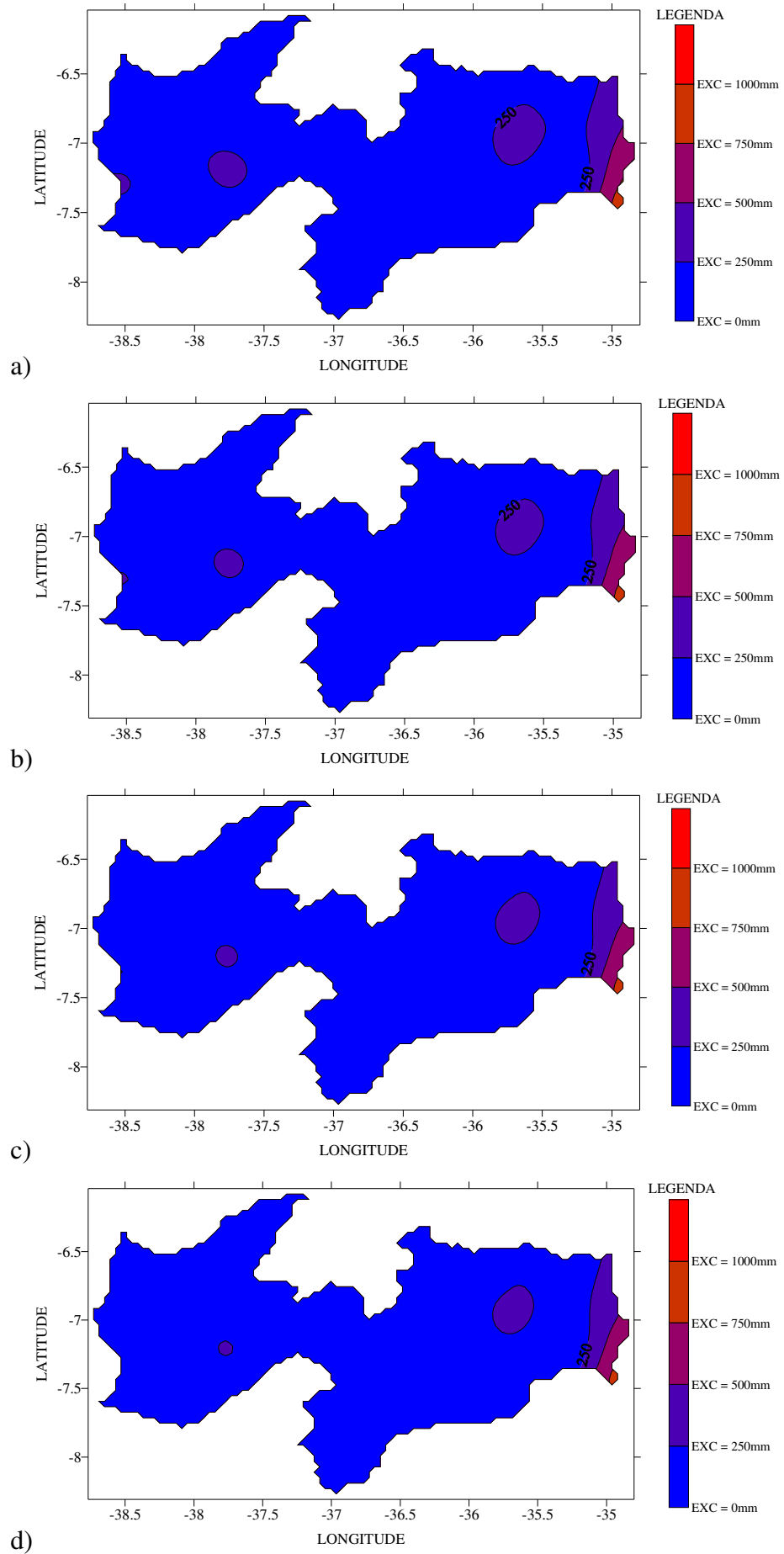
Embora as estimativas foram obtidas por meio do balanço hídrico proposto por Thornthwaite (1948), o resultado da DEF na maior parte da Paraíba apresentada aqui foi bem coerente com o mapeamento dessa mesma variável para a CAD de 100 mm (b) apresentado por Sentelhas et al. (2008) com um balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), lembrando que a estimativa da evapotranspiração Potencial é a mesma nos dois métodos. A coerência está no sentido que as menores deficiências são localizadas predominantemente no Litoral, Brejo e Agreste; já as maiores são localizadas no restante do Estado, com algumas exceções de algumas regiões. Pode-se atribuir o detalhamento do nosso trabalho devido à quantidade de postos (54) estudada aqui.

#### 4.4 – Excedente Hídrico

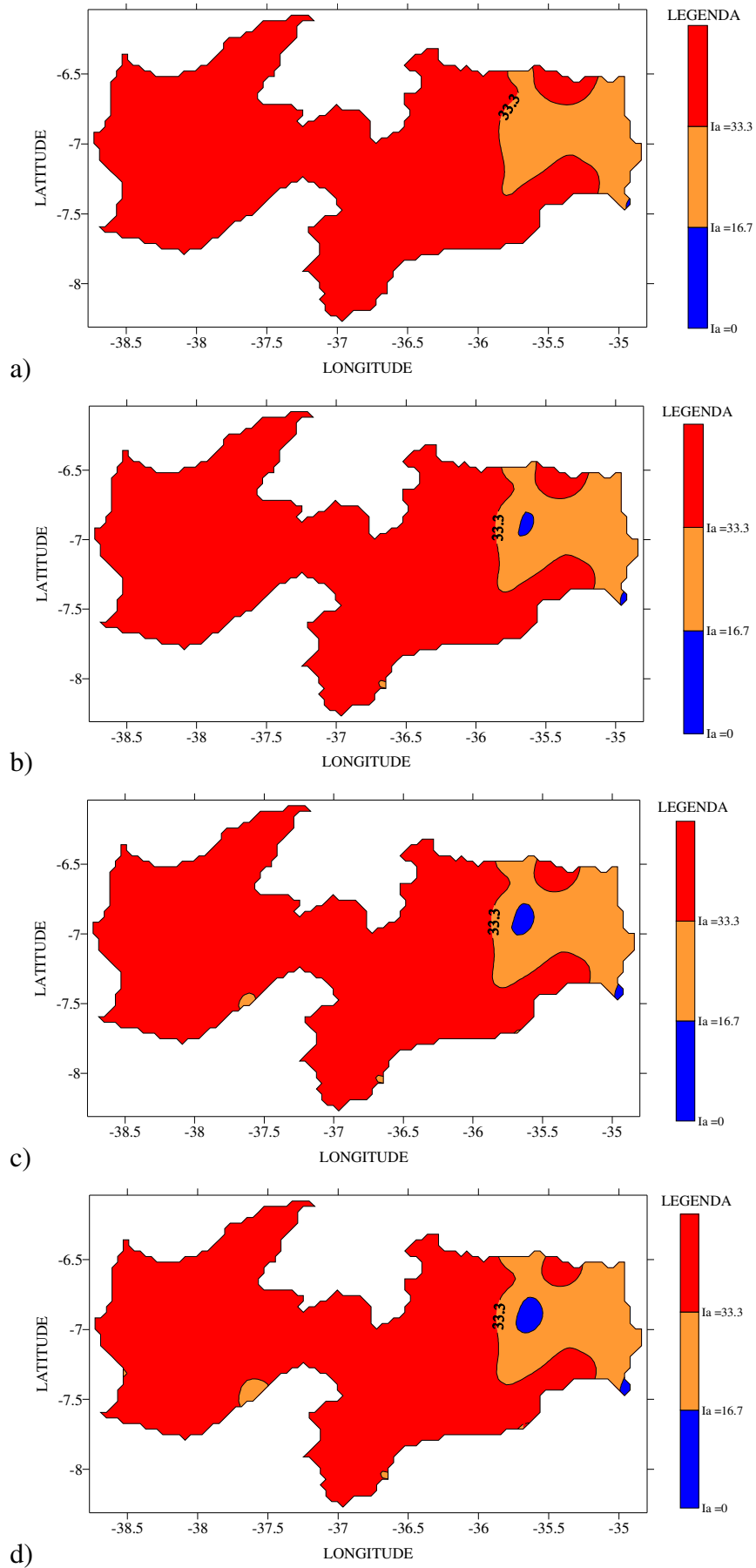
A Figura 10 mostra a variação espacial do excesso hídrico para a Paraíba segundo interpolação realizada de acordo com os postos estudados. Através desta figura observa-se que a variação espacial do excedente hídrico foi notada facilmente apenas no Alto Sertão paraibano com a diminuição da faixa de 250 a 500 mm para a faixa inferior de 0 a 250 mm. Nas outras regiões, a variação praticamente não existiu, predominando a primeira faixa em quase todo o Estado, ou seja, todos com excedentes hídricos inferiores a 250 mm, com exceção do Litoral, em que apresentou um número mais elevado dessa variável. Analisando a equação de obtenção de excesso no balanço hídrico, pode-se perceber que esse baixo índice é devido ao baixo índice de precipitação pluviométrica desse Estado (com exceção do Litoral). Verificou-se que o resultado do EXC para a lâmina de 100 mm (b) também apresentou satisfatória coerência com Sentelhas et al. (2008).

#### 4.5 – Índice de Aridez

A Figura 11 representa o índice de aridez em todo o Estado, com suas faixas seguindo o próprio limite de classificação nas quatro CADs. Pode-se perceber que basicamente na Paraíba predominam duas faixas de subdivisão do índice que seriam de  $(16,7 \leq I_a < 33,3)$  situadas em sua maioria no Litoral, Brejo e Agreste, seguido de  $(I_a \geq 33,3)$  situada praticamente no restante do Estado.



**Figura 10:** Excesso hídrico da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm



**Figura 11:** Índice de aridez da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm

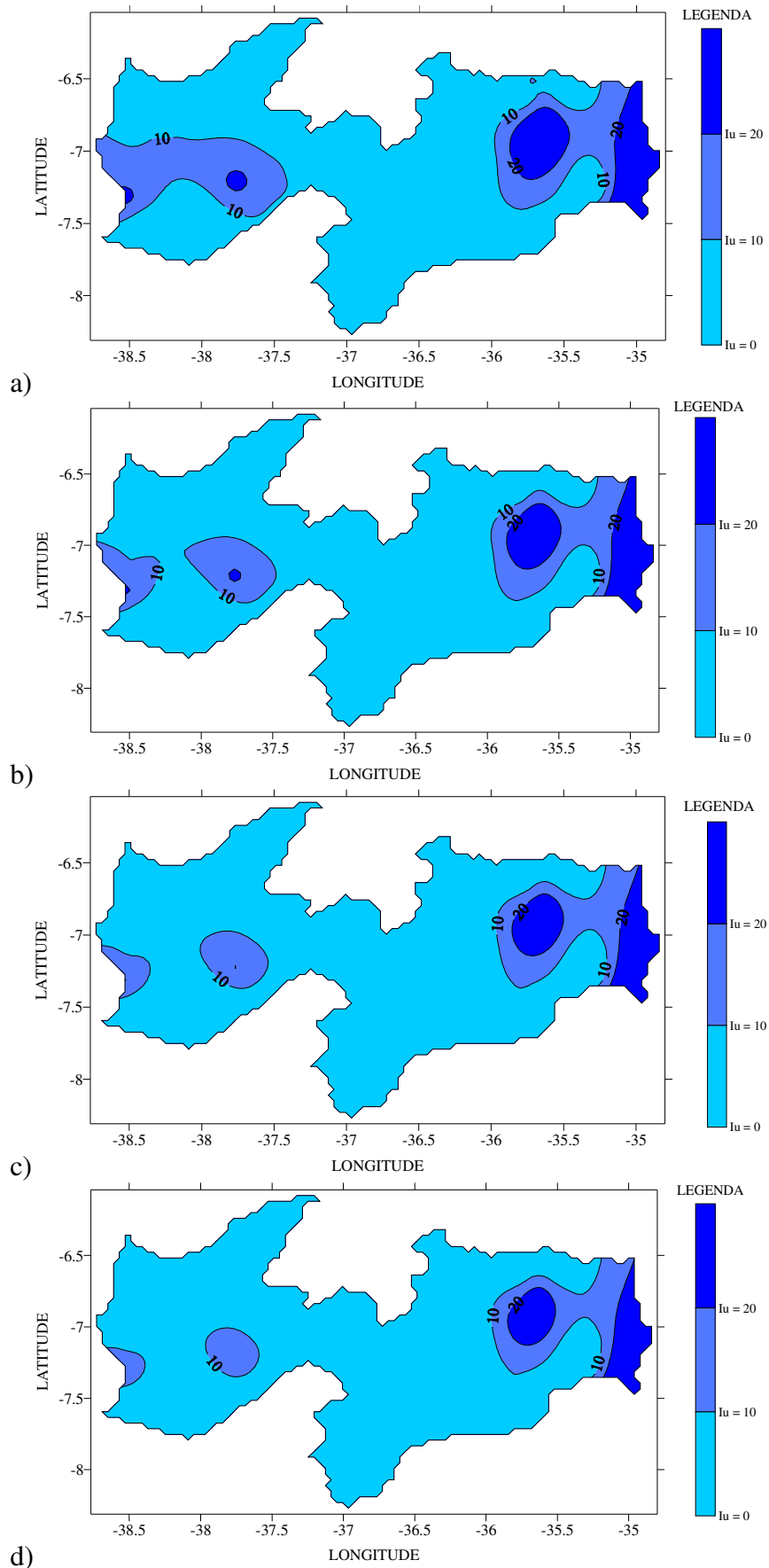
Todos seguem essa mesma característica independentemente de qual CAD esteja utilizando. De acordo com a tabela de subtipos climáticos segundo Thornthwaite (1948) em função do índice de aridez, verifica-se que na Paraíba (Figura 11. b) predominam moderada a grande deficiência de água. Na questão referente a esse índice em função das CADs destacaram-se um núcleo ( $I_a < 16,7$ ) localizado no Brejo surgindo a partir da CAD de 100 mm (b) aumentando com as outras lâminas, juntamente com outro núcleo ( $16,7 \leq I_a < 33,3$ ) aparecendo no Sertão a partir da CAD de 125 mm (c), ambos provocados pela diminuição das suas faixas de origem para uma inferior.

#### 4.6 – Índice de Umidade

O índice de umidade representa o excesso hídrico expresso em percentagem da necessidade que é representada pela evapotranspiração potencial. A Figura 12 mostra a interpolação deste índice na Paraíba de acordo com os 54 postos, definidos através de limites determinados pela classificação climática de Thornthwaite (1948), para facilitar o entendimento e auxiliar nas possíveis classificações futuras.

Analisando essa figura do índice de umidade no Estado da Paraíba, percebe-se que este mesmo em função das CADs, ocorreram diminuições significativas em partes do Sertão e Alto Sertão, dizendo significativas, neste caso, por mudarem de faixa de subdivisão climática, ou seja, mudaram para uma faixa inferior. As demais regiões não apresentaram valores significativos ao ponto de mudarem de subdivisão climática, embora elas possam ter até reduzido este índice. Analisando agora como um todo, no Estado da Paraíba predomina-se um índice de umidade em torno de valores inferiores a 10. De acordo com a tabela dos subtipos climáticos segundo Thornthwaite (1948) em função do índice de umidade, predominam pequeno ou nenhum excesso de água (Figura 12. b). Destaca-se no Litoral, Brejo e uma pequena parte do Agreste, a boa presença da segunda subdivisão climática que seria ( $10 \leq I_u < 20$ ) e da terceira ( $I_u \geq 20$ ), independentemente de qual CAD esteja trabalhando, diferentemente do que aconteceu em partes do Sertão e Alto Sertão que tiveram uma redução de subtipos climáticos, mudando os limites climáticos, como mencionados anteriormente. Mais uma vez constata-se este resultado devido a grande escassez de chuva em muitas partes desse Estado, com exceções de algumas localidades em sua maioria situadas no Litoral e Brejo, juntamente com pequenas regiões no Agreste, Sertão e Alto Sertão.





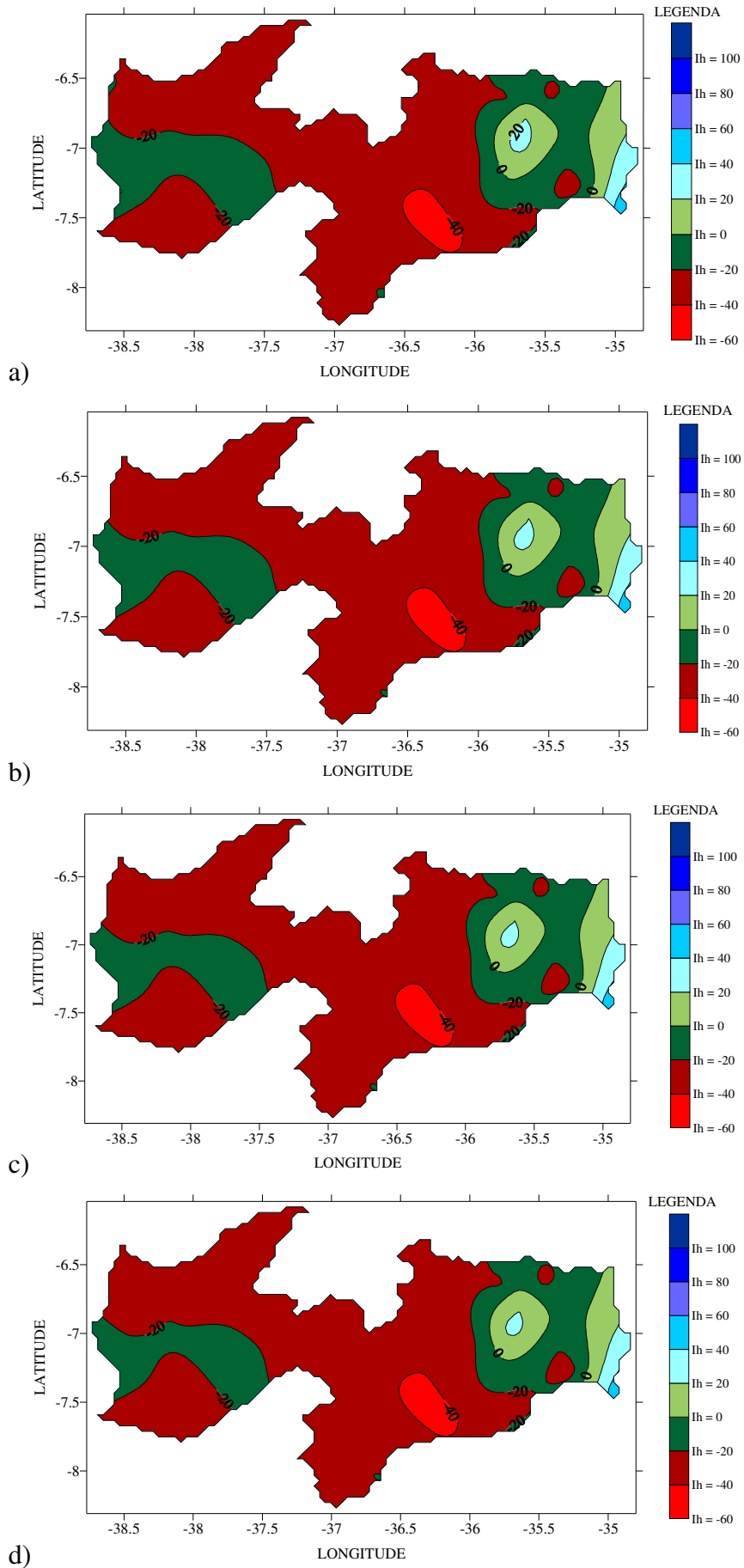
**Figura 12:** Índice de umidade da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm

#### 4.7 – Índice Hídrico

O índice hídrico é função dos índices de aridez e de umidade, como definido pela equação (3.12), onde o índice de aridez tem um menor peso nesta equação. Através dele classificam os tipos climáticos segundo Thornthwaite (1948). A Figura 13 mostra a interpolação no mesmo critério adotado até aqui, com suas faixas climáticas segundo a própria classificação de Thornthwaite (1948).

Através da figura nota-se que diferentemente dos outros índices abordados anteriormente, existem muitas faixas climáticas (ou tipos climáticos) detalhando mais o mapeamento deste índice. Ao analisar estes mapas verificou-se inicialmente que praticamente não ocorreram variações entre eles em função das CADs estudadas. O que de maneira geral é consequência dos valores apresentados dos índices de aridez e de umidade, como previsto. Na Paraíba predominam-se (Figura 13. b) os climas: **semi-árido** ( $-40 \leq I_h < -20$ ), seguido pelo **seco e sub-úmido** ( $-20 \leq I_h < 0$ ) e **úmido e sub-úmido** ( $0 \leq I_h < 20$ ). Como era também de se esperar, no Litoral paraibano ocorreu à predominância de índices hídricos positivos, em regiões favorecidas por se localizarem próximas ao Oceano Atlântico, com condições atmosféricas favoráveis a precipitação. Por fim, merece destaque também a um pequeno núcleo correspondente ao clima **árido** ( $-60 \leq I_h < -40$ ) que é situado no Cariri/Curimataú.

Pode-se explicar o núcleo situado no Brejo através de dois fatores que podem contribuir para o aparecimento das faixas referentes ao clima **úmido e sub-úmido** ( $0 \leq I_h < 20$ ), juntamente com a faixa ( $20 \leq I_h < 40$ ) correspondente ao clima **úmido**. Este tipo de clima pode ser devido ao favorecimento da precipitação neste local juntamente com a altitude dos postos estudados, em que tem-se a diminuição da evapotranspiração potencial em função dessa altitude.



**Figura 13:** Índice hídrico da Paraíba nas CADs de a: 75; b: 100; c: 125 e d: 150 mm

## 4.8 – Análise de Agrupamentos

Após as análises realizadas com a distribuição espacial de diversas variáveis em função da variação das CADs, utilizou-se da análise de agrupamentos para identificar regiões homogêneas dos índices climáticos: de aridez, de umidade e hídrico, de acordo com suas características que neste caso, corresponderam às suas lâminas estudadas.

### 4.8.1 – Análise de Agrupamentos Para o Índice de Aridez

Os grupos homogêneos de postos no Estado da Paraíba foram identificados por meio do corte transversal no dendrograma, utilizando o critério matemático da inércia para divisão prévia de grupos nos quatro métodos estudados (Ligação Simples, Ligação Completa, Centróide e Ward). De acordo com Braga et al. (1998) este critério de corte é aquele em que o número  $n$  de grupos formados resulta no maior salto de inércia com relação ao precedente  $n + 1$ . O método de Ward foi o que melhor representou a natureza dos dados através da semelhança com as características deste mesmo índice no Estado, utilizando como medida de parença (ou função de agrupamento) a distância euclidiana. A Figura 14 mostra o dendrograma deste índice para a Paraíba, evidenciando a seqüência de agrupamentos. Logo, com esses dois procedimentos de análise do número de grupos e do melhor método com relação às características climáticas deste índice, identificou-se cinco grupos homogêneos formados pelos postos de acordo com o índice de aridez. Esse método de agrupamento de Ward foi também utilizado devido a sua adequação em outros estudos (Baldo et al., 2000; Braga et al., 1998; Silva et al., 2001) cuja variável estudada foi à precipitação. A Figura 15 mostra as regiões homogêneas deste índice formadas pelos postos até aqui estudados em todo o Estado da Paraíba.

Através do método escolhido, confirmou-se a realidade desse mesmo índice para a Paraíba, ou seja, os menores índices localizaram-se praticamente no Litoral, Agreste e Brejo; com os maiores índices localizados predominantemente no Cariri/Curimataú e partes do Sertão. O Quadro 1 mostra cada posto enquadrado em sua respectiva região, obtida pela técnica.

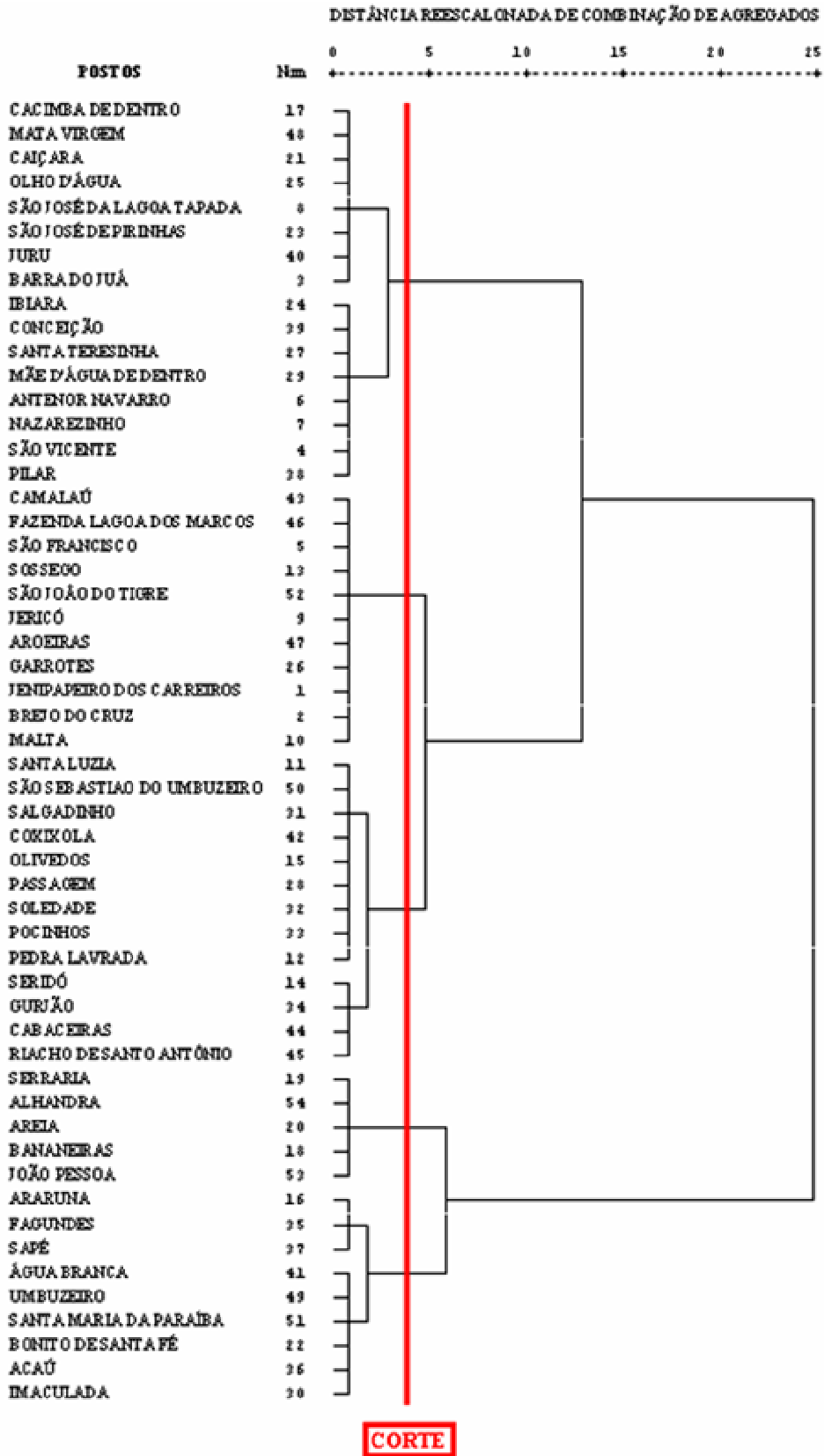
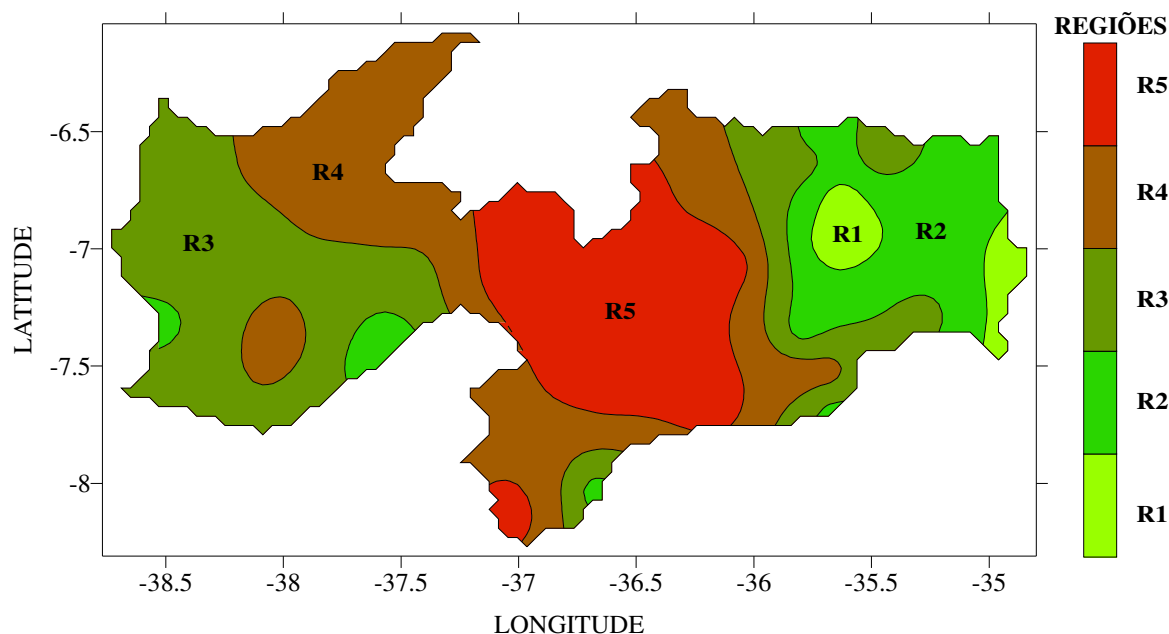


Figura 14: Dendrograma do índice de aridez para o Estado da Paraíba através do método de Ward utilizando a distância euclidiana como medida de parença



**Figura 15:** Regiões homogêneas de índice de aridez obtidas pela análise de agrupamentos (Método de Ward e como função de agrupamento a distância euclidiana)

**Quadro 1:** Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice de aridez

REGIÕES	POSTOS
<b>R1</b>	Bananeiras, Serraria, Areia, João Pessoa e Alhandra.
<b>R2</b>	Araruna, Bonito de Santa Fé, Imaculada, Fagundes, Acaú, Sapé, Água Branca, Santa Maria da Paraíba e Umbuzeiro.
<b>R3</b>	Barra do Juá, São Vicente, Antenor Navarro, Nazarezinho, São José da Lagoa Tapada, Cacimba de Dentro, Caiçara, São José de Piranhas, Ibiara, Olho D'água, Santa Teresinha, Mãe D'água de Dentro, Pilar, Conceição, Juru e Mata Virgem.
<b>R4</b>	Jenipapeiro dos Carreiros, Brejo do Cruz, São Francisco, Jericó, Malta, Sossego, Garrotes, Camalaú, Fazenda Lagoa dos Marcos, Aroeiras e São João do Tigre.
<b>R5</b>	Santa Luzia, Pedra Lavrada, Seridó, Olivedos, Passagem, Salgadinho, Soledade, Pocinhos, Gurjão, Coxixola, Cabaceiras, Riacho de Santo Antônio e São Sebastião do Umbuzeiro.

Utilizou-se do auxílio da estatística descritiva para estudar agora cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos, mostrada na Tabela 2, em que pode-se comprovar os resultados obtidos pela técnica de agrupamentos.

**Tabela 2:** Resumo estatístico do índice de aridez para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos

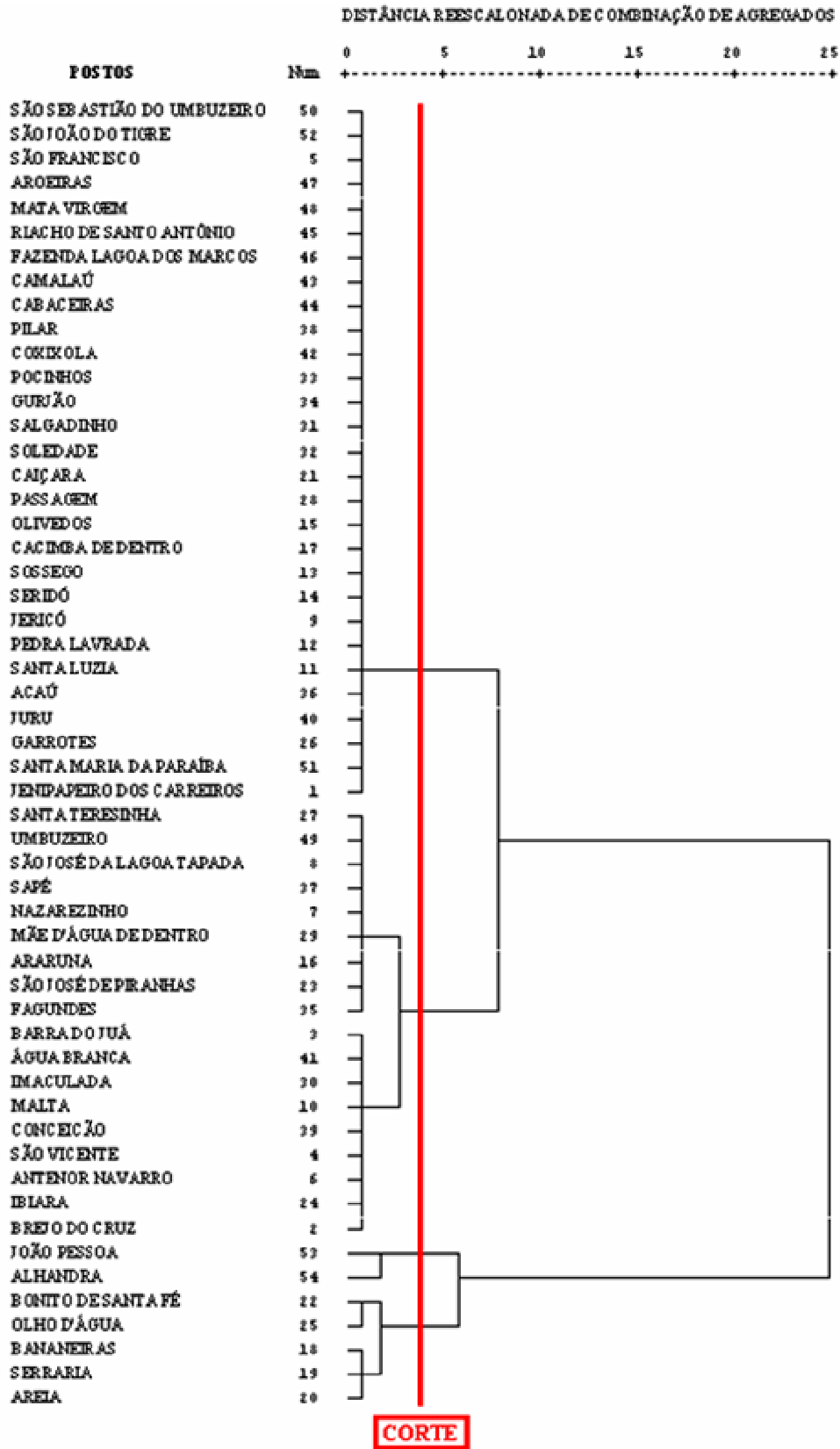
ESTATÍSTICA	REGIÕES DE Ia FORMADAS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS				
	R1	R2	R3	R4	R5
<b>Média</b>	16,03	31,12	44,31	53,78	62,61
<b>Variância</b>	10,04	12,99	13,31	2,66	13,02
<b>Desvio-Padrão</b>	3,17	3,60	3,65	1,63	3,61
<b>Mínimo</b>	12,58	25,80	38,60	50,48	58,30
<b>Máximo</b>	20,43	36,08	49,03	55,70	70,10
<b>Amplitude</b>	7,85	10,28	10,43	5,22	11,80
<b>Total</b>	5	9	16	11	13

Com a ajuda desta tabela, comprovou-se que o índice de aridez foi elevado na maior parte do Estado, com pequenos índices localizados no Litoral, Brejo e pequena parte do Agreste.

#### 4.8.2 – Análise de Agrupamentos Para o Índice de Umidade

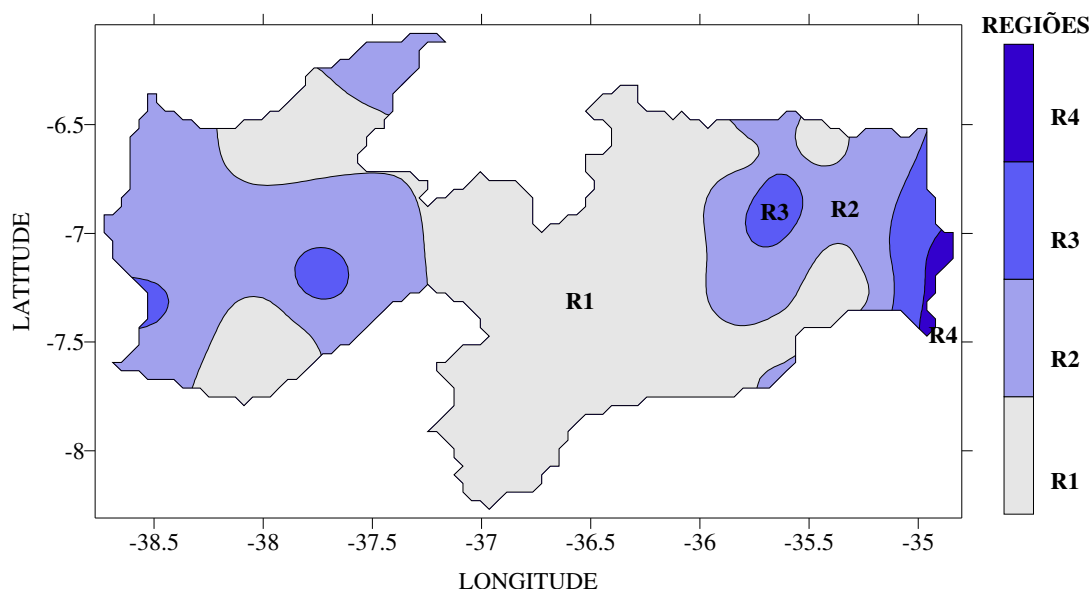
Com o índice de umidade analisou-se da mesma maneira para identificar, agora, regiões homogêneas deste índice compostas pelos 54 postos. Com a ajuda do critério de inércia dividiu-se previamente esse Estado em quatro grupos homogêneos formados pelos postos, mostrados também pelo corte transversal no dendrograma (Figura 16). O método que melhor representou a climatologia da Paraíba com relação a esse índice foi novamente o método de Ward, com a distância euclidiana aplicada como função de agrupamento.

Definido o número de grupos através do critério de agregação e pela informação fornecida através do estudo prévio do comportamento climático deste índice, com o método de Ward sendo novamente o mais adequado, utilizando como função de agrupamento a distância euclidiana, identificou-se quatro regiões homogêneas deste índice para a Paraíba, mostradas na Figura 17.



**Figura 16:** Dendrograma do índice de umidade para o Estado da Paraíba através do método de Ward utilizando a distância euclidiana como medida de parecência





**Figura 17:** Regiões homogêneas de índice de umidade obtidas pela análise de agrupamentos (Método de Ward e como função de agrupamento a distância euclidiana)

Pode-se comprovar novamente através da técnica de agrupamentos a característica geral da Paraíba no que relaciona ao índice de umidade. Como era de se esperar, os maiores índices encontraram-se no Litoral, Brejo e Agreste, favorecidos pela boa precipitação ocorrente nestes locais, destacando também partes do Sertão e Alto Sertão. Este fato não ocorreu no Cariri/Curimataú, cujo índice foi muito baixo, devido à escassez da precipitação nesta região.

O Quadro 2 classifica os postos em cada região obtida pela análise de agrupamentos. Através dele verificou-se que a maioria dos postos foi localizada nas duas primeiras regiões (R1 e R2). De acordo com os pontos interpolados, juntamente com as regiões estabelecidas, concluí-se que essa ferramenta demonstrou coerência com a natureza real deste índice para a Paraíba.

Estabeleceu-se mais uma vez o estudo estatístico de cada região homogênea obtida no sentido de validação da metodologia, assim como num detalhamento destas regiões de acordo com os objetivos deste estudo, mostrada na Tabela 3.

Verifica através desta tabela que 29 postos se enquadraram na primeira região (R1), o que comprovou o baixo índice de umidade na Paraíba como um todo, seguido da predominância também da segunda região (R2), composta por 18 postos. Essas duas regiões caracterizaram praticamente todo o Estado da Paraíba, em que R1 teve como média deste índice de 0,12 e R2, posteriormente, com média de 5,90 comprovando assim, as análises

anteriormente verificadas. No que se refere à variabilidade encontrada, apresentou-se crescente de acordo com a seguinte ordem de regiões: R1, R2, R3 e R4.

**Quadro 2:** Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice de umidade

<b>REGIÕES</b>	<b>POSTOS</b>
<b>R1</b>	Jenipapeiro dos Carreiros, São Francisco, Jericó, Santa Luzia, Pedra Lavrada, Sossego, Seridó, Olivedos, Cacimba de Dentro, Caiçara, Garrotes, Passagem, Salgadinho, Soledade, Pocinhos, Gurjão, Acaú, Pilar, Juru, Coxixola, Camalaú, Cabaceiras, Riacho de Santo Antônio, Fazenda Lagoa dos Marcos, Aroeiras, Mata Virgem, São Sebastião do Umbuzeiro, Santa Maria da Paraíba e São João do Tigre.
<b>R2</b>	Brejo do Cruz, Barra do Juá, São Vicente, Antenor Navarro, Nazarezinho, São José da Lagoa Tapada, Malta, Araruna, São José de Piranhas, Ibiara, Santa Teresinha, Mãe D'água de Dentro, Imaculada, Fagundes, Sapé, Conceição, Água Branca e Umbuzeiro.
<b>R3</b>	Bananeiras, Serraria, Areia, Bonito de Santa Fé e Olho D'água.
<b>R4</b>	João Pessoa e Alhandra.

**Tabela 3:** Resumo estatístico do índice de umidade para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos

<b>ESTATÍSTICA</b>	<b>REGIÕES DE <math>I_u</math> FORMADAS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS</b>			
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>
<b>Média</b>	0,12	5,90	28,13	57,59
<b>Variância</b>	0,08	10,05	42,16	128,40
<b>Desvio-Padrão</b>	0,29	3,17	6,49	11,33
<b>Mínimo</b>	0,00	1,70	21,85	49,58
<b>Máximo</b>	1,05	12,65	37,48	65,60
<b>Amplitude</b>	1,05	10,95	15,63	16,03
<b>Total</b>	29	18	5	2

#### 4.8.3 – Análise de Agrupamentos Para o Índice Hídrico

O critério da inércia foi também utilizado para uma divisão prévia do número de grupos. Neste índice, na análise de agrupamentos, diferentemente dos demais, o método que melhor representou a realidade dele na Paraíba foi o método do vizinho mais distante (Ligação Completa), utilizando a distância euclidiana como medida de parença. Com essas duas verificações percebe-se que a Paraíba foi dividida em cinco regiões homogêneas desse índice. Através do dendrograma, pode-se perceber a seqüência de agrupamentos, juntamente com o corte transversal para obtenção dos cinco grupos (Figura 18).

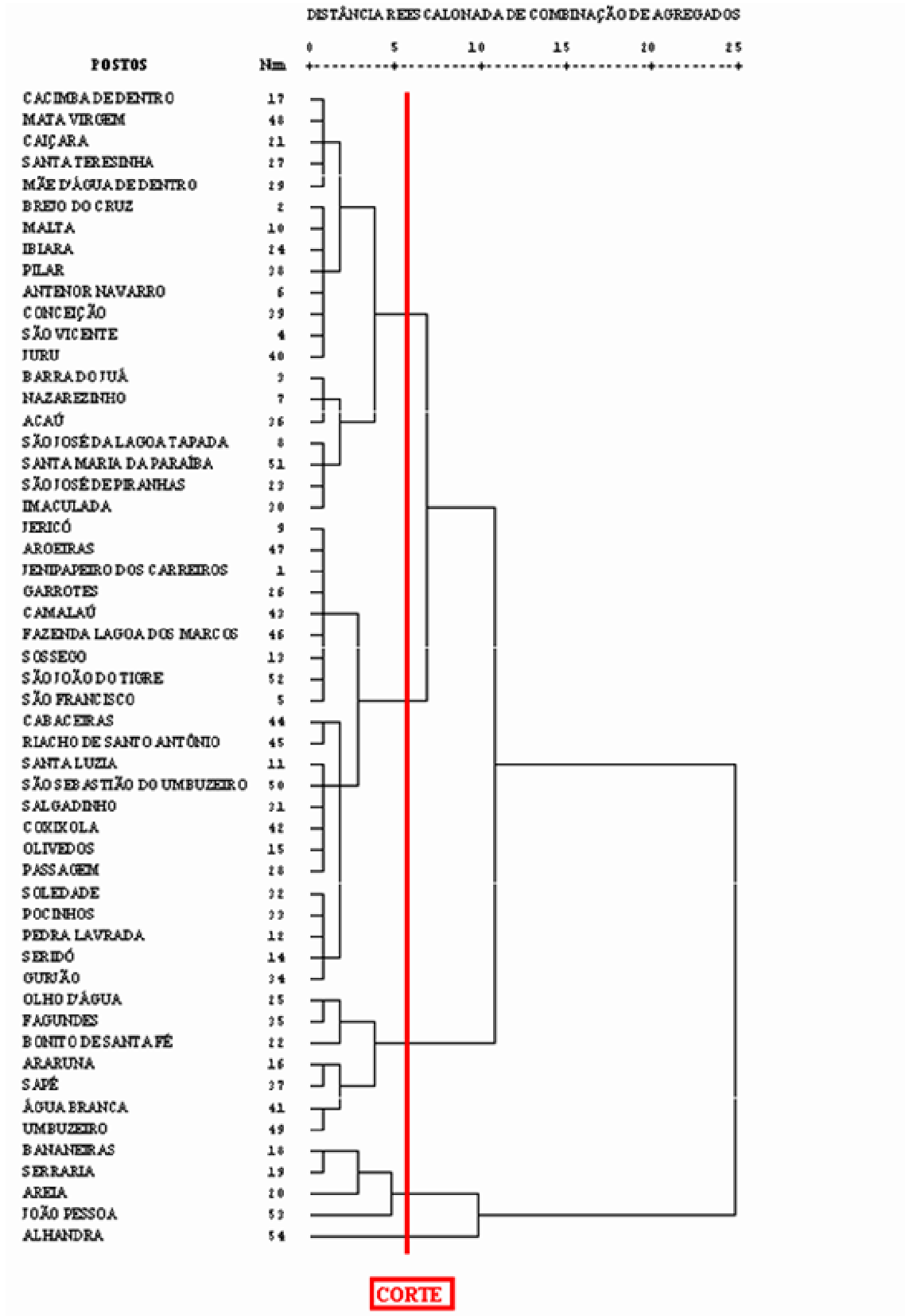
Esse método hierárquico de agrupamento da Ligação Completa foi utilizado por Diniz (2003) para determinar regiões homogêneas de temperaturas máximas e mínimas do ar para o Estado do Rio Grande do Sul. Araújo (2005) aplicou também o mesmo método para identificar as regiões homogêneas da temperatura média trimestral do ar, utilizando dados de 40 estações meteorológicas, e estudar sua variabilidade climática (1913-2002) para esse mesmo Estado.

A espacialização destes grupos, denominados aqui de regiões, é mostrada na Figura 19, para o Estado da Paraíba.

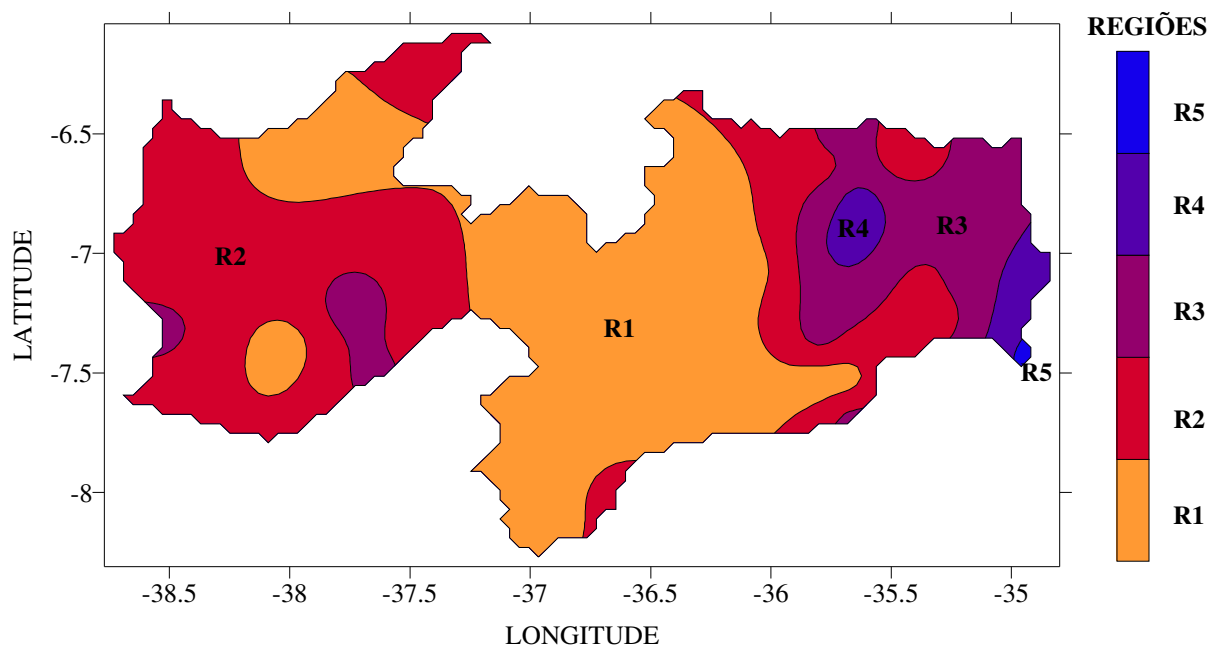
Este tipo de índice diferiu dos outros dois estudados e analisados anteriormente, no fato de que ele pode assumir tanto valores negativos como positivos. Neste mapa, a sua legenda foi construída do valor negativo até o positivo, ou seja, inicia-se com valores negativos e termina com valores positivos. Através dele, percebe-se que a predominância nesse Estado foi às regiões (R1 e R2), com exceção de partes do Litoral, Brejo e Agreste, além de algumas pequenas partes no restante desse Estado.

O Quadro 3 classifica os postos em cada região obtida pela análise de agrupamentos para a Paraíba.

Através deste quadro pode-se perceber que a grande maioria dos postos pertenceu às regiões 1 e 2. Destacando-se apenas Alhandra (composta na quinta região), diferente dos demais postos, por apresentar um índice hídrico bastante elevado positivamente, quando comparado com os outros e mais uma vez explicado pela sua localização no Litoral, que é uma região favorável a precipitação ao longo do ano.



**Figura 18:** Dendrograma do índice hídrico para o Estado da Paraíba através do método da Ligação Completa utilizando a distância euclidiana como medida de parença



**Figura 19:** Regiões homogêneas de índice hídrico obtidas pela análise de agrupamentos (Método da Ligação Completa e como função de agrupamento a distância euclidiana)

**Quadro 3:** Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice hídrico

REGIÕES	POSTOS
R1	Jenipapeiro dos Carreiros, São Francisco, Jericó, Santa Luzia, Pedra Lavrada, Sossego, Seridó, Olivedos, Garrotes, Passagem, Salgadinho, Soledade, Pocinhos, Gurjão, Coxixola, Camalaú, Cabaceiras, Riacho de Santo Antônio, Fazenda Lagoa dos Marcos, Aroeiras, São Sebastião do Umbuzeiro e São João do Tigre.
R2	Brejo do Cruz, Barra do Juá, São Vicente, Antenor Navarro, Nazarezinho, São José da Lagoa Tapada, Malta, Cacimba de Dentro, Caiçara, São José de Piranhas, Ibiara, Santa Teresinha, Mãe D'água de Dentro, Imaculada, Acaú, Pilar, Conceição, Juru, Mata Virgem e Santa Maria da Paraíba.
R3	Bonito de Santa Fé, Olho D'água, Fagundes, Sapé, Água Branca, Umbuzeiro e Araruna.
R4	Bananeiras, Serraria, Areia e João Pessoa.
R5	Alhandra.

Por último, comprovou-se numericamente através da Tabela 4 o que foi dito até agora, com relação às regiões homogêneas de índice hídrico formadas pelos 54 postos estudados, num detalhamento por meio de ferramentas da estatística descritiva.

**Tabela 4:** Resumo estatístico do índice hídrico para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos

ESTATÍSTICA	REGIÕES DE Ih FORMADAS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS				
	R1	R2	R3	R4	R5
<b>Média</b>	-36,05	-23,30	-6,73	26,27	57,90
<b>Variância</b>	9,21	15,77	32,28	67,65	----
<b>Desvio-Padrão</b>	3,03	3,97	5,68	8,22	----
<b>Mínimo</b>	-42,80	-28,55	-14,65	19,43	57,90
<b>Máximo</b>	-31,53	-16,33	0,98	37,13	57,90
<b>Amplitude</b>	11,27	12,22	15,63	17,70	----
<b>Total</b>	22	20	7	4	1

Nota-se através dessa tabela que a predominância na Paraíba foi desse índice ser negativo, comprovado pelo número de postos localizados nas regiões R1 e R2. A média de R1 foi de -36,05 e na segunda região (R2), ficou em torno de -23,30. Portanto, de uma maneira geral, concluí-se que esta ferramenta foi de grande utilidade na identificação de regiões homogêneas destes índices.

## 5 – CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos neste estudo chegou-se as seguintes conclusões, tendo como base os objetivos especificados.

1. O método de Ward utilizando a distância euclidiana foi o que melhor representou a natureza dos dados através da semelhança com as características dos índices de aridez e de umidade para o Estado da Paraíba, resultando em cinco e quatro regiões homogêneas, respectivamente, para esses índices;
2. O método que melhor evidenciou a realidade do índice hídrico na Paraíba foi o método da Ligação Completa, utilizando a distância euclidiana como medida de parença, o qual identificou cinco regiões homogêneas;
3. A estatística descritiva foi de fundamental importância para o detalhamento dessas regiões homogêneas obtidas pela técnica hierárquica de agrupamentos;
4. Não ocorreram grandes variações das variáveis: DEF, EXC,  $I_a$ ,  $I_u$  e  $I_h$  em função das lâminas estudadas de 75, 100, 125 e 150 mm em grande Parte do Estado da Paraíba;
5. A técnica hierárquica de agrupamentos foi uma ferramenta importante no estudo da identificação de regiões homogêneas de índices climáticos no Estado da Paraíba.

## **6 – RECOMENDAÇÕES**

1. Esta pesquisa teve como principal finalidade o estudo espacial dando contribuição à climatologia do Estado, portanto, não indicado para eventuais estudos pontuais baseados em resultados obtidos aqui. No entanto, para estudos pontuais, recomenda-se um balanço hídrico mais sofisticado, cuja capacidade de água disponível seja em função das propriedades do solo com dados de temperatura do ar, se possíveis, reais para que se obtenham valores mais exatos;
2. Para utilizar a técnica hierárquica de agrupamentos em outras localidades seguindo a mesma metodologia, recomenda-se um estudo detalhado dos índices na região para as lâminas de 75 a 150 mm, evitando a ocorrência de muitos postos com índices que não correspondam à realidade dessas lâminas.



## 7 – BIBLIOGRAFIA

ALBUQUERQUE, M. A. de. **Estabilidade em análise de agrupamento (cluster analysis)**. Recife, 2005. 62 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

AMORIM, R. C. F.; RICIERY, R. P.; VIRGENS FILHO, J. S.; AMORIM, R. F. C. Estimativa da evapotranspiração potencial pelo método de Jensen & Haise para cidade de Cascavel/PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria – RS. **Anais...** Santa Maria – RS: SBA, 2003, p. 381-382. CD-ROM.

ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V. da S.; PINHEIRO, F. M. A. Disponibilidade hídrica para a Região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 135-142, 2005.

ARAÚJO, S. M. B. **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias do ar no Rio Grande do Sul**. Pelotas, 2005. 54 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; RODRIGUES, M. F. G. Previsão estatística das chuvas de outono no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 19-30, 1998.

BALDO, M. C.; ANDRADE, A. R. de; MARTINS, M. de L. O. F.; NERY, J. T. Análise da precipitação pluvial do Estado de Santa Catarina associada com a anomalia da temperatura da superfície do oceano Pacífico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 283-293, 2000.

BELO FILHO, A. F. **Sistema de Estimativa da Evapotranspiração – SEVAP**. Campina Grande, 2003, 66 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande.

BRAGA, C. C.; MELO, M. L. D. de; MELO, E. C. S. Análise de agrupamento aplicada a distribuição da precipitação no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., CONGRESSO DA FLISMET, 8., 1998. Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. CL-98001. CD-ROM.

BRAGA, C. C., SILVA, B. B da. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6., Sociedade Brasileira de Meteorologia. Salvador – BA. 1990. **Anais...**, p. 200-205.

BUSSAB, W. de O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 5. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2007. 526 p.

CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. de P. R.; SOUSA, F. de A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise Multivariada**: Para os cursos de administração, Ciências Contábeis e Economia. São Paulo: Editora Atlas, 2007. 541 p.

DINIZ, G. B.; Berlato, M. A.; CLARKE, R. T.; FONTANNA, D. C. Identificação de regiões homogêneas de temperaturas máxima e mínima do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 303-312, 2003.

DORLING, S. R.; DAVIES T. D.; PIERCE C. E. Cluster analysis: A technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry - Method and applications. **Atmospheric Environment**, New York, v. 26, n. 14, p. 2575-2581, 1992.

EVERITT, B. S. **Cluster Analysis**. 3. ed. London: Edward Arnold, 1993. 170 p.

FACCIOLI, G. G.; CAMPECHE, L. F. M.; SILVA, A. A. G. da; SOUSA, I. F. de; SHIBATA, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) para o Município de Rio Real, Bahia, utilizando informações de uma estação meteorológica automática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas – SP. **Anais...** Campinas – SP: SBA, 2005. E&M067. CD-ROM.

GOMES, H. B.; GOMES, H. B.; AMORIM, R. C. F. de; AMORIM, R. F. C. de; SILVA JUNIOR, R. S. da.; LEITE, C. C.; CAVALCANTI, A. S. Estimativa da Evapotranspiração Potencial utilizando métodos empíricos para o Município de Rio Largo – Maceió em 1996. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria – RS. **Anais...** Santa Maria – RS: SBA, 2003, p 383-384. CD-ROM.

GURGEL, H. da C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003.

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados**. Tradução: Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 2005. 593 p.

HATFIELD, J. L.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration estimates under deficient water supplies. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 5, p. 301-308, 1996.

HENRIQUE, F. de A. N. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência em Campina Grande – PB**. Campina Grande, 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande.

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 33-46, 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pb>>. Acesso em: 17 jul. 2008.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. de R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 311-322, 2005.

<<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps>>. Acesso em: 08 abr. 2009.

MELO JÚNIOR, J. C. F. de; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G. Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v. 10, n. 2, p. 408-416, 2006.

MENDONÇA, E. A. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência no Município de Capim – PB**. Campina Grande, 2008. 114 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. de; SANTOS, C. A. C. dos; SILVA, L. L. da. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 152-161, 2008.

MEZZOMO, D.; DINIZ, G. B.; SILVA, J. B. da. Análise espectral da temperatura mínima média em dois trimestres numa região homogênea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 121-132, 2007.

MIELE, A.; CARGNELUTTI FILHO, A.; TONIETTO, J.; MANDELLI, F. Agrupamento de Municípios em relação a variáveis climáticas relacionadas à vitivinicultura no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 14., 2005, Campinas – SP. **Anais...** Campinas – SP: SBA, 2005. M&C065. CD-ROM.

OLIVEIRA, L. F. C. de; CARVALHO, D. F. de; ROMÃO, P. de A.; CORTÊS, F. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 121-126, 2001.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

REIS, E. **Estatística Multivariada Aplicada**. 2. ed. Lisboa – Portugal: Edições Sílabo, 2001. 343 p.

SANSIGOLO, C. A.; NERY, J. T. Análise de fatores comuns e agrupamentos das precipitações nas Regiões Sudeste e Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., CONGRESSO DA FLISMET, 8., 1998. Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. CL-98126. CD-ROM.

SANTANA, J. A. da S.; SANTANA JÚNIOR, J. A. da S.; SOUTO, J. S.; MACÊDO, A. B. Balanço hídrico e classificação climática de thornthwaite da Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte – RN. **Brasil Florestal**, v. 23, n. 80, p. 9-16, 2004.

SANTOS, E. A. B. dos. **Estudo de resultados do espectro multifractal da retina humana, como medida de classificação: Uma aplicação de análise de agrupamento**. Recife, 2008, 67 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SENTELHAS, P. C.; SANTOS, D. L. dos; MACHADO, R. E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 28-42, 2008.

SILVA, J. B. da; CUNHA, F. B.; GAVIÃO NETO, W. P. Modelagem das chuvas trimestrais por regiões homogêneas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 317-324, 2001.

SILVA, V. de P. R. da; CAVALCANTI, E. P.; NASCIMENTO, M. G. do; CAMPOS, J. H. B. da C. Análises da precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v. 7, n. 2, p. 269-274, 2003.

SOUSA, W. dos S.; SOUSA, F. de A. S.; LIMEIRA, R. C. Estudo da estrutura da evapotranspiração na Região Nordeste do Brasil utilizando análise de componentes principais. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas – SP. **Anais...** Campinas – SP: SBA, 2005, E&M041. CD-ROM.

SOUZA, J. L. de; AMORIM, R. F. C. de; CARVALHO, S. M. R. de; PEREIRA, J. O.; CURTI, P. R. Agrupamento de estações pluviométricas do Estado de Alagoas, utilizando-se análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 2, p. 603-612, 1992.

TEIXEIRA, A. H. de C.; SILVA, B. B. da. Balanço hídrico seriado de Petrolina, Pernambuco. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999. Petrolina – PE.

VALIATI, M. I.; DUTRA, I.; CUNHA, A. R. da; ESCOBEDO, J. F. Estimativa da evapotranspiração potencial em ambiente protegido utilizando o método do Tanque Classe A e de Penman-Monteith. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria – RS. **Anais...** Santa Maria – RS: SBA, 2003, p 63-64. CD-ROM.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital, Recife, 2005. 516 p.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a Região de Araraquara – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

YU, T. Y.; CHANG, L. F. W. Delineation of air-quality basins utilizing multivariate statistical methods in Taiwan. **Atmospheric Environment**, New York, v. 35, n. 18, p. 3155-3166, 2001.

ZEPKA, G. dos S. Análise do Balanço hídrico para a cidade de Pelotas, RS. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002. Foz do Iguaçu – RS.