

IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS NA PARAÍBA POR MEIO DA ANÁLISE MULTIVARIADA

Joherlan Campos de Freitas¹, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva², Emerson Ricardo Rodrigues Pereira³, Antonio Ricardo Santos de Andrade⁴, Pedro Vieira de Azevedo⁵

¹ Doutorando em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande, PB, BRASIL. E-mail: joherlancampos@yahoo.com.br;

² Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, CTRN/UFCG, Campina Grande, PB, BRASIL. E-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br;

³ Doutor em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande, PB, BRASIL. E-mail: emerson.ufcg@yahoo.com.br;

⁴ Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Garanhuns, UAG/UFRPE, Garanhuns, PE, BRASIL. E-mail: arsauag@uag.ufrpe.br;

⁵ Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, CTRN/UFCG, Campina Grande, PB, BRASIL. E-mail: pvieira@dca.ufcg.edu.br.

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) para o Estado da Paraíba/PB. 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 similaridade. Na aplicação dos métodos, o de Ward foi o que ocasionou uma melhor correspondência entre os 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.

Palavras-chave: Análise de Agrupamentos, Índices Climáticos, Evapotranspiração, Balanço Hídrico.

IDENTIFICATION OF HOMOGENEOUS REGIONS OF CLIMATE INDEXES IN PARAÍBA THROUGH MULTIVARIATE ANALYSIS

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/PB. 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. 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.

Key words: Cluster Analysis, Climatic Indexes, Evapotranspiration, Water Balance.

1. INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo variáveis meteorológicas tem se mostrado muito eficiente em diversas áreas do conhecimento científico. Ao longo dos anos, diversos pesquisadores em todo mundo têm voltado sua atenção principalmente para as variáveis meteorológicas importantes no estudo das mudanças climáticas, buscando conhecer variações das mesmas tanto a nível global como regional. Neste sentido procuram-se ferramentas adequadas que possibilite avaliar a variabilidade espacial e temporal dessas variáveis que identifique ocorrências ou não mudanças significativas nas diferentes áreas do globo. A técnica da análise multivariada é uma delas que merece destacada, pois a mesma possibilita trabalhar com grandes amostras de dados, reduzindo-os ao máximo o tamanho da amostra sem que haja deformação importante do conjunto de dados originais (CEBALLOS & BRAGA 1995; WILKS, 2006, RICHMAN 1986; GONG E RICHMAN 1995; EVERITTI 1993). Essa metodologia tem sido empregada inúmeros pesquisadores a dados meteorológicos quando se deseja encontrar regiões homogêneas sob o ponto de vista de suas características peculiares, ou seja, com isso técnicas estatísticas de homogeneização são fundamentais para captar características semelhantes e assim obter um padrão de similaridades regionalizado das chuvas.

Nos últimos anos técnicas estatísticas mais elaboradas têm sido utilizadas com frequências em diversos estudos climatológicos. Gurgel et al. (2003) estudaram a variabilidade do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) sobre o Brasil, utilizando a análise de agrupamentos. Melo Júnior et al. (2006) utilizaram os componentes principais rotacionados e agrupamentos análise determinar grupos homogêneos do regime de chuvas em região hidrográfica do Atlântico, trecho Leste no Estado de Minas Gerais. Fragoso e Gomes (2008) aplicaram a ACP os dados de chuva para identificar padrões de precipitação associados aos eventos intensos de chuva no sul de Portugal. Recentemente, Amanajás e Braga (2010), utilizam a ACP para analisar a variabilidade espacial da chuva no estado Amapá. Os autores encontraram resultados coerentes com o regime climático da região.

Considerando a grande aplicabilidade do método da análise em multivariada (ACP e Agrupamentos) a diversas variáveis meteorológicas com diferentes finalidades, pensou-se em determinar regiões climáticas do ponto de vista de índice climático de aridez (I_a), de umidade (I_u) e hídrico (I_h) através do balanço proposto por: THORNTHWAITE (1948) realizados para vários níveis de capacidade de água disponível (CAD). Portanto, a presente pesquisa tem por principal objetivo identificar regiões homogêneas dos 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;

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Dados e área de estudo

Utilizaram-se dados de precipitação de 54 postos do Estado da Paraíba no período de 1970 a 2000. Esses estão disponíveis na Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Os dados de temperatura do ar foram estimados através de metodologia proposta por Cavalcanti et. al. (2006) para todas as localidades. O Estado da Paraíba está compreendido entre meridianos de $34^{\circ}45'54''$ e $38^{\circ}45'45''$ W e os paralelos de $6^{\circ}02'12''$ e $8^{\circ}19'18''$ S, tem área de aproximadamente 56.440 Km^2 , e 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 (Figura 1).

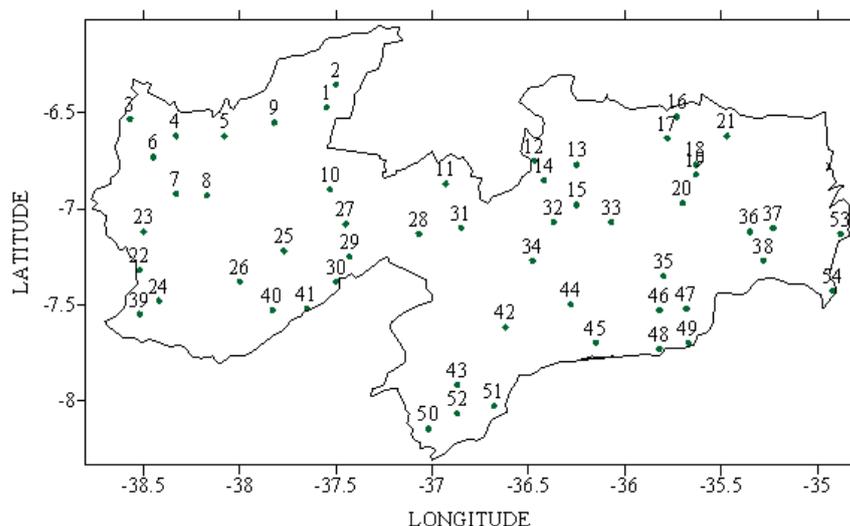


Figura 1. Distribuição espacial dos 54 postos pluviométricos no Estado da Paraíba, para série especificada de 1970 a 2000.

2.2. Cálculo da evapotranspiração potencial

Para a estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) utilizou-se o método proposto por THORNTHWAITE 1948 apud VAREJÃO-SILVA (2005) que é função da temperatura média mensal do ar e da insolação máxima. A ETP é dada em (mm.mês^{-1}) e estimada da seguinte forma:

$$(ETP)_j = F_j \cdot E_j \quad (1)$$

Em que, E_j é Evapotranspiração potencial ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) que é estimada pela Temperatura mensal do ar T_j ($^{\circ}\text{C}$) e, I é o índice anual de calor definido obtido pelas expressões a baixo:

$$E_j = 0,533 \left(\frac{10 \cdot \bar{T}_j}{I} \right)^a \quad (2)$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad (3)$$

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

$$i_j = \left(\frac{\bar{T}_j}{5} \right)^{1,514} \quad (4)$$

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

Na equação 1 F_j é o fator de correção que leva em conta o número (D_j) de dias do mês em questão e o valor médio da insolação máxima teoricamente possível, ou seja:

$$F_j = \frac{D_j \cdot N_j}{12} \quad (5)$$

N_j é a insolação máxima do mês é calculada pela seguinte expressão:

$$N_j = (2/15) [\text{arc}\cdot\cos(-\text{tg}\phi \cdot \text{tg}\delta)] \quad (6)$$

Em que, ϕ e δ , respectivamente, a Latitude e declinação do Sol no dia 15 do mês considerado.

2.3. Cálculo do Balanço Hídrico

O balanço hídrico proposto por Thornthwaite (1948) originada da aplicação de um software encontrado em Belo Filho (2003) desenvolvido na UFCG denominado Sistema de Estimativa da Evapotranspiração – SEVAP. Esse balanço 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.

O índice de aridez I_a caracteriza-se por indicar a deficiência hídrica expressa em percentagem da evapotranspiração potencial (necessidade). Segundo Ometto (1981) esse índice varia entre 0 e 100, ou seja, é zero 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:

$$I_a = 100 \cdot \frac{\text{DEF}}{\text{ETP}} \quad (7)$$

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

$$I_u = 100 \cdot \frac{EXC}{ETP} \quad (8)$$

Finalmente o índice hídrico é obtido a partir do excesso e falta d'água, ou seja:

$$I_h = I_u - 0,6 \cdot I_a \quad (9)$$

2.4. Análise de Agrupamentos dos índices de I_a , I_u e I_h

A análise de agrupamentos foi utilizada para identificar grupos homogêneos de índices climáticos (I_a , I_u e I_h) em 54 postos distribuídos no Estado da Paraíba, em relação as quatro CADs. As técnicas de agrupamentos consistem em classificar indivíduos de uma população que tenham características semelhantes em um número restrito de classes. Foram testados vários tipos de agrupamentos como Ligação Simples, Ligação Completa, Centróide e Ward. No entanto os métodos que apresentaram melhor coerência espacial com as condições climáticas do local foi o método de Ward para os índices de aridez e umidade, e Ligação Completa para o índice hídrico. Para medir a similaridade ou dissimilaridade dos grupos ou indivíduos utilizou-se a distância euclidiana, ou seja, 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 por:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{v=1}^p (X_{iv} - X_{jv})^2} \quad (10)$$

No Método da Ligação Completa (ou critério do vizinho mais afastado) 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:

$$d_{(i,j)k} = \max\{d_{ik}; d_{jk}\} \quad (11)$$

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.

O método de Ward (1963) propôs que em qualquer estágio de uma análise, a perda de informações, que resulta do agrupamento de indivíduos em grupos, pode ser medida pela soma total do quadrado dos desvios de todos os pontos em torno da média do grupo para o qual estão contidos. Em cada passo dentro da análise a união de todos os pares possíveis do grupo é considerada, e os dois grupos cuja fusão resulta no menor incremento do erro na soma dos desvios quadráticos são combinados. O agrupamento é obtido diretamente através da equação:

$$W = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum x_i \right)^2 \quad (12)$$

Onde x_i é o n -ésimo indivíduo do grupo a qual pertence. As etapas descritas anteriormente, embora instrutivas acerca do processo de agrupar indivíduos, não facilitam a interpretação dos resultados a respeito de como serão obtidos os grupos e o número deles num processo de agrupamento. Necessita-se de instrumentos mais apropriados; um deles é o dendrograma que é uma representação gráfica muito usada na análise de agrupamento para apresentar o resultado de um agrupamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de Agrupamentos para o índice de aridez - I_a

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 $n+1$. A Figura 2 mostra o dendrograma deste índice para a Paraíba, evidenciando a seqüência de agrupamentos.

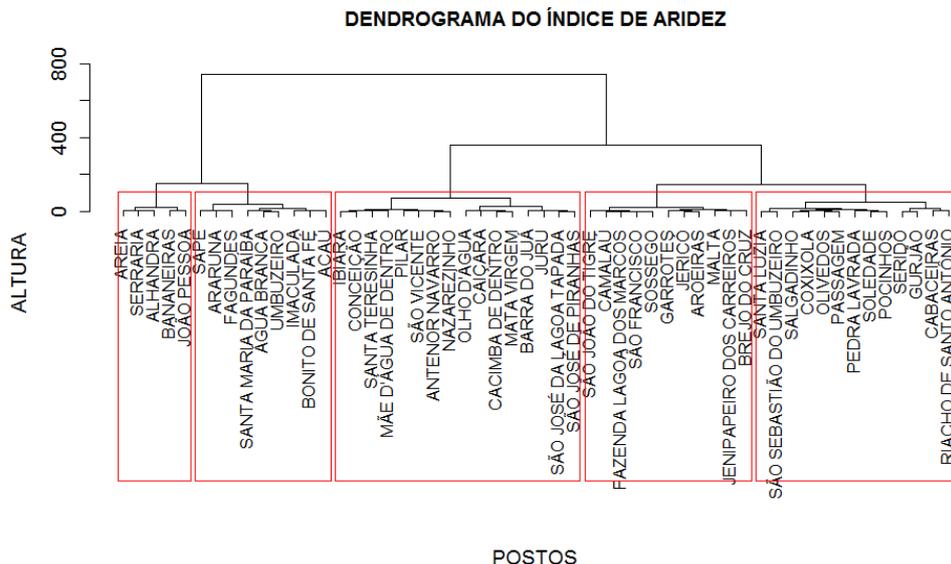


Figura 2. Dendrograma do índice de aridez (I_a) para o Estado da Paraíba através do método de Ward utilizando a distância euclidiana como medida de parença, para série especificada de 1970 a 2000.

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 partir do corte transversal no dendrograma de acordo com o critério matemático da inércia e conhecimento prévio da climatologia da região, identificou-se cinco (05) grupos homogêneos do índice de aridez.

A Figura 3 representa as regiões homogêneas para os 54 postos distribuídos no Estado da Paraíba.

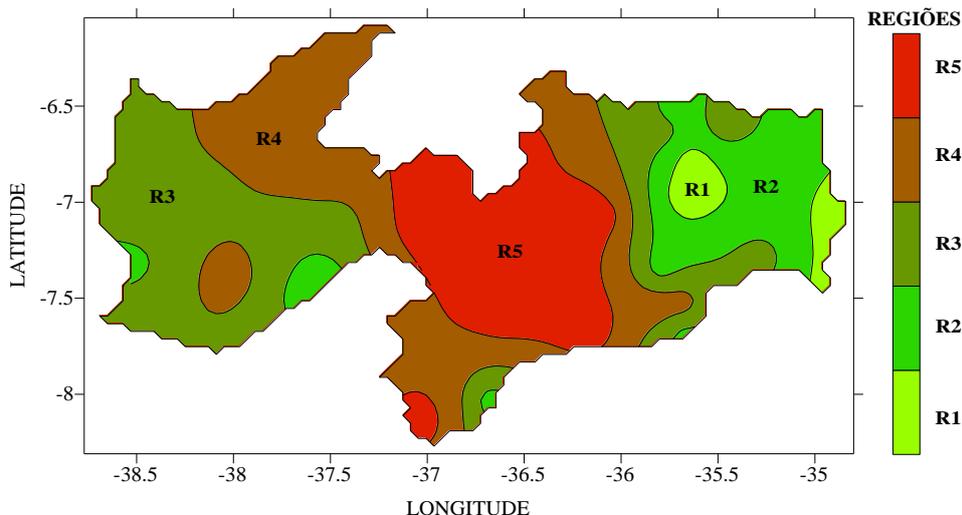


Figura 3. Regiões homogêneas de índice de aridez (I_a) para o Estado da Paraíba, para série especificada de 1970 a 2000.

Por meio destes dois procedimentos de análise do número de grupos e do melhor método com relação às características climáticas deste índice identificaram-se cinco regiões homogêneas formadas 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.

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 de análise de agrupamento.

Quadro 1. Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice de aridez (I_a), para série especificada de 1970 a 2000.

REGIÕES	POSTOS
R1	Bananeiras, Serraria, Areia, João Pessoa e Alhandra.
R2	Araruna, Bonito de Santa Fé, Imaculada, Fagundes, Acaú, Sapé, Água Branca, Santa Maria da Paraíba e Umbuzeiro.
R3	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.
R4	Jenipapeiro dos Carreiros, Brejo do Cruz, São Francisco, Jericó, Malta, Sossego, Garrotes, Camalaú, Fazenda Lagoa dos Marcos, Aroeiras e São João do Tigre.
R5	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 identificar cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos. Pela Tabela 1, verificar-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.

Tabela 1. Resumo estatístico do índice de aridez (I_a) para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos, para série especificada de 1970 a 2000.

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

3.2. Análise de Agrupamentos para o índice de umidade - I_u

Com a ajuda do critério de inércia dividiu-se a área em estudo em quatro grupos homogêneos formados pelos postos, mostrados também pelo corte transversal no dendrograma (Figura 4). O método que apresentou melhor coerência com a climatologia da Paraíba com relação a esse índice foi novamente o método de Ward, com a distância euclidiana aplicada como função de agrupamento.

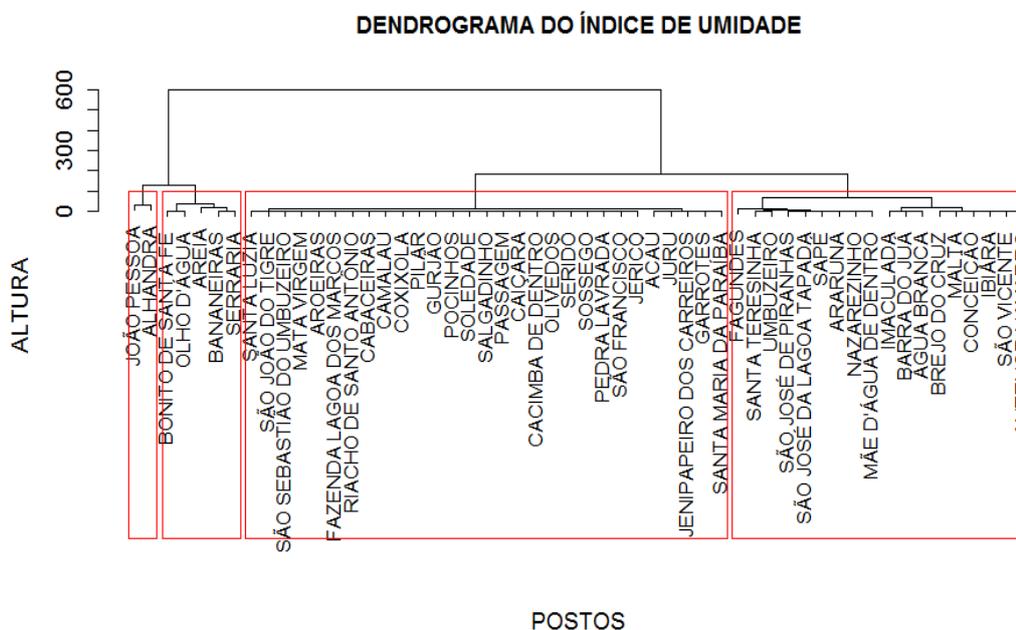


Figura 4. Dendrograma do índice de umidade (I_u) para o Estado da Paraíba através do método de Ward utilizando a distância euclidiana como medida de parença, para série especificada de 1970 a 2000.

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 e utilizando como função de agrupamento a distância euclidiana, identificaram-se quatro regiões homogêneas deste índice para a Paraíba, mostradas na Figura 5.

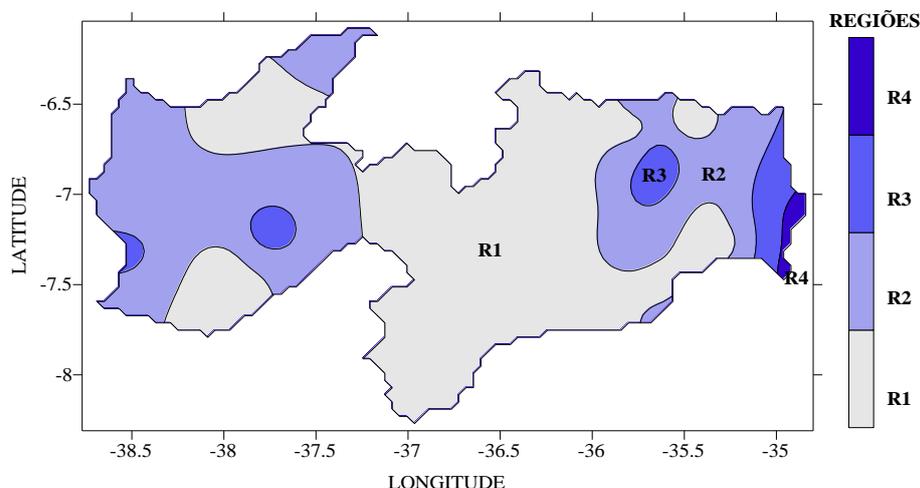


Figura 5. Regiões homogêneas de índice de umidade (I_u) obtidas pela análise de agrupamentos (Método de Ward e como função de agrupamento a distância euclidiana), para série especificada de 1970 a 2000.

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. Por meio deste quadro, 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, conclui-se que essa ferramenta demonstrou coerência com a natureza real deste índice para a Paraíba.

Quadro 2: Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice de umidade (I_u), para série especificada de 1970 a 2000.

REGIÕES	POSTOS
R1	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.
R2	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.
R3	Bananeiras, Serraria, Areia, Bonito de Santa Fé e Olho D'água.

A Tabela 2 mostra os resultados da estatística de cada região homogênea obtida no sentido de validação da metodologia, assim como num detalhamento destas regiões de acordo com os objetivos deste estudo

Tabela 2. Resumo estatístico do índice de umidade (I_u) para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos.

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

Verifica através da Tabela 2 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.

3.3. Análise de Agrupamentos para o índice hídrico - I_h

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 (Figura 6). Com essas duas verificações percebe-se que a Paraíba foi dividida em cinco regiões homogêneas desse índice.

Este 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.

Com base em 54 postos pluviométricos para o índice climático hídrico, obtidos através do balanço hídrico climatológico, foi utilizado o método da ligação completa com a medida de similaridade dada pela distância euclidiana, com o objetivo de agrupá-los. Definindo a distância de corte igual a 50, foram formados cinco grupos homogêneos para o Estado da Paraíba (Figura 6).

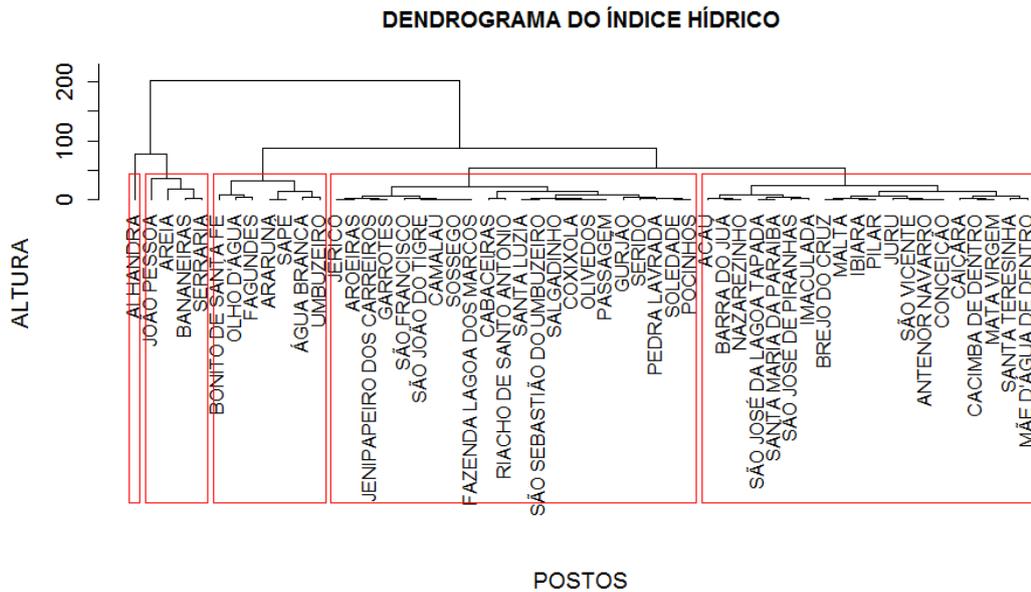


Figura 6. Dendrograma do índice hídrico (I_h) para o Estado da Paraíba através do método da Ligação Completa utilizando a distância euclidiana como medida de parença, para série especificada de 1970 a 2000.

Pela Figura 6, observa-se que o resultado do agrupamento utilizando I_h diferiu dos agrupamentos obtidos pelos índices I_a e I_u em função do mesmo assumir tanto valores negativos como positivos. Na Figura 7 a escala da legenda foi construída do valor negativo até o positivo, ou seja, inicia-se com valores negativos e termina com valores positivos. Pela Figura 7, observa-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.

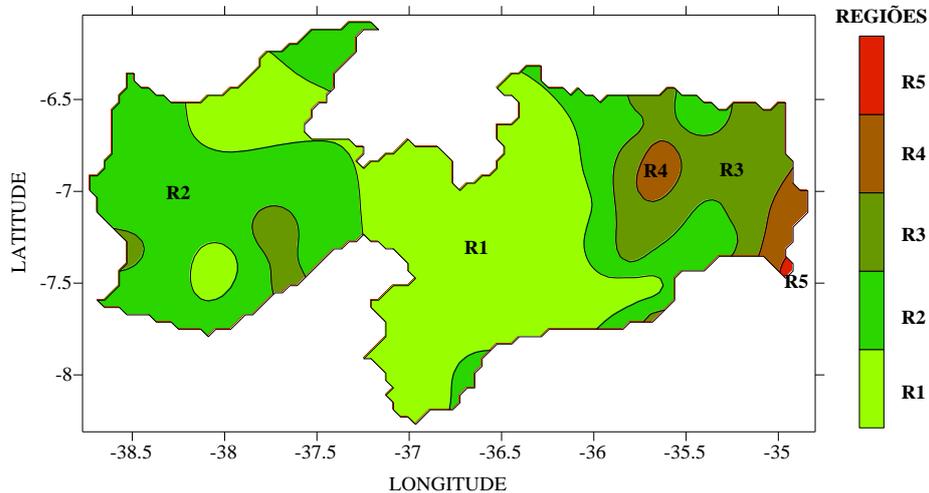


Figura 7. Regiões homogêneas de índice hídrico obtido pela análise de agrupamentos (Método da Ligação Completa e como função de agrupamento a distância euclidiana), para série especificada de 1970 a 2000.

O Quadro 3 classifica os postos em cada região obtida pela análise de agrupamentos para a Paraíba, onde pode-se observar 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.

Quadro 3. Postos localizados em cada região homogênea obtida pela análise de agrupamentos para o índice hídrico (I_h), para série especificada de 1970 a 2000.

REGIÕES	POSTOS
R1	Jenipapeiro dos Carreiros, São Francisco, Jericó, Santa Luzia, Pedra Lavrada, Sossego, Seridó, Olivados, 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.

A Tabela 3 apresenta os resultados da estatística descritiva por região homogênea do índice hídrico formado pelos 54 postos estudados. Pelos resultados, identificou-se que, do total de 54 postos estudados, 49 deles apresentaram valores positivos, e 5 postos com valores negativos.

Tabela 3. Resumo estatístico do índice hídrico (I_h) para cada grupo formado pela técnica de agrupamentos, para série especificada de 1970 a 2000.

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

Nota-se através da Tabela 3 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, conclui-se que esta ferramenta foi de grande utilidade na identificação de regiões homogêneas para valores do índice hídrico.

4. CONCLUSÃO

A aplicação do método de Ward aos índices climáticos evidenciou a existência de que cinco regiões semelhantes dos índices de aridez e quatro para o índice de umidade no Estado da Paraíba. Já para o índice hídrico o método que melhor se ajustou a realidade da climatologia da chuva no estado Paraíba foi o método da ligação completa, dividindo-o em cinco regiões homogêneas. Em síntese essa técnica da análise em multivariada é uma ferramenta importante porque propiciou mostrar a existência de diferentes regiões com maior ou menor potencialidades hídricas para o cultivo de culturas de subsistência no estado da Paraíba.

5. REFERÊNCIAS

- 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.
- 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.
- BUSSAB, W. de O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 5. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2007. 526 p.
- 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.
- DINIZ, G. B.; Berlatto, 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.
- EVERITT, B. S. **Cluster Analysis**. 3. ed. London: Edward Arnold, 1993. 170 p.
- 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.
- 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.
- 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 AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas – SP. **Anais...** Campinas – SP: SBA, 2005. M&C065. CD-ROM.

- 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.
- 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.
- 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.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital, Recife, 2005. 516 p.
- WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, v. 58, p. 236 – 244. Mar. 1963.
- 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.
-