

CLASIFICACIÓN DE LA REGIONALIZACIÓN Y PLUVIOMETRÍA EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

MARIA JOSÉ HERCULANO MACEDO¹; RONI VALTER DE S. GUEDES²; DANIELSON J. D. NEVES³; FRANCISCO DE ASSIS S. DE SOUSA⁴

Universidad Federal de Campina Grande (UFCG), Paraíba, Brasil, mariejhm@hotmail.com

RÉSUMEN:

La irregularidad de las lluvias en la región semiárida es resultado de la variación de los totales de la precipitación y de la duración e intensidad de las lluvias. En este sentido, el objetivo de este estudio es realizar la regionalización de las precipitaciones en la región semiárida brasileña utilizando para ello el método de aglomeración K-means desarrollado por MacQueen (1967). Se utilizaron los datos mensuales de precipitación de 270 estaciones meteorológicas / estaciones con pluviómetros, con al menos 20 años de registros, distribuidos en el área de estudio. Los resultados fueron consistentes con la realidad de las precipitaciones de la región, después de utilizar las métricas de Ward, la Vinculación Completa, Vecino Cercano y Vecinos Distantes. El área de estudio se delimitó en cuatro sub-regiones homogéneas de las lluvias, teniendo en cuenta la variabilidad estacional e interanual de los datos. De estos, la región 2 fue el de menor promedio de lluvias y la más baja total trimestral, que se encuentra en la parte central del semi-árido, con los mayores daños por los episodios de sequía. El más alto promedio de precipitaciones se produjeron en marzo y abril para el grupo 4, que presenta la mayor concentración de precipitaciones en el trimestre más húmedas.

Palabras-llave: lluvia, K-means, regiones homogéneas

Abstract:

The irregularity of rainfall in the semiarid region is the result of the variation in total precipitation and the duration and intensity of rainfall. In this sense, the objective of this study is to perform the regionalization of precipitation in the Brazilian semiarid region using the method of K-means clustering developed by MacQueen (1967). We used monthly precipitation data from 270 meteorological stations / stations with rain gauges, with at least 20 years of records distributed in the study area. The results were consistent with the reality of rainfall in the region, after using metrics like Ward, Complete Linkage, close neighbors and distant neighbors. The study area was delineated into four sub-regions of homogeneous rainfall, taking into account the seasonal and interannual variability of the data. Of these, region 2 was the lowest average rainfall and the lowest quarterly total, located in the central part of the semi-arid, with the greatest damage by drought events. The highest average rainfall occurred in March and April to group 4, which has the highest concentration of rainfall in the wettest quarter.

Keywords: rain, K-means, homogeneous regions

1. Introducción

La irregularidad de la precipitación pluviométrica en el semiárido brasileño resulta, no solo de la variación de los totales pluviométricos, sino principalmente de la duración e la intensidad de las lluvias. En virtud de esta variabilidad pluvial la historia del noreste de Brasil (NEB) está íntimamente asociada a la historia de las sequías. El déficit de agua necesaria para la subsistencia del hombre, además de ser un problema climatológico se transforma en un problema económico y social. Los efectos de las sequías se presentan a través de varias formas, sea por el aumento del desempleo rural, pobreza y hambre, sea por la consecuente

migración de las áreas afectadas. En otras ocasiones, en años específicos hay inundaciones en áreas ribereñas, desmoronamientos de tierra en los centros urbanos más poblados, entre otros.

En el semi-árido Brasileño, la distribución espacial y temporal de la lluvia no es uniforme por lo que presenta una gran variabilidad del clima. Esto se debe a la acción de los diversos sistemas meteorológicos que operan en la región, entre los que destaca los vórtices ciclónicos de aire superior, los sistemas frontales, la Zona de Convergencia Intertropical y los disturbios del este. Los vórtices ciclónicos de aire superior (VCAS) son los sistemas de circulación ciclónica que actúan en los meses de noviembre a febrero y se definen como sistema de baja presión a gran escala. Las lluvias se producen en las bandas de nubes de su periferia, mientras que en el centro, el movimiento de subsidencia inhibe la formación de nubes y puede funcionar durante meses (Kousky y GAN, 1981). Los sistemas frontales y los frentes fríos son las regiones de discontinuidad térmica que separa dos masas de aire de diferentes características. La penetración de los sistemas frontales, conduce a períodos prolongados de lluvia en el centro-sur de Bahía y juegan un papel importante en su régimen de precipitaciones cuyo el máximo se alcanza durante los meses de noviembre y enero (Araújo, 2006). Se sabe que los restos de estos sistemas también pueden organizar alguna actividad convectiva a lo largo de la costa del noreste de Brasil, durante el otoño y el invierno, provocando un aumento de las precipitaciones en la región. La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se caracteriza por la presencia de áreas de nubes convectivas que consiste en grupos convectivos de mesoescala. Es el resultado de la interacción de la confluencia de los vientos Alíseos del noreste y sureste, lo que resulta en el movimiento ascendente del aire con alto contenido de vapor de agua. A medida que sube el aire, se enfría resultando en las nubes . (ALVES, 2000; Araujo, 2006). Trastornos del Este son los sistemas que presentan producción de lluvia, por lo general en los meses de mayo a agosto desde el norte de Río Grande do Norte a Bahía. Su desplazamiento se produce en la dirección este-oeste hacia el continente. Su intensidad depende de la temperatura superficial del mar (TSM), la cizalladura del viento y los efectos de la topografía y el movimiento de la brisa del mar y de la tierra con el fin de intensificar o disipar este sistema (Araujo, 2006).

El análisis de conglomerados es una rama de la estadística multivariante, que es utilizado en el proceso de clasificación y consiste en determinar el nivel de similitud o diferencia entre los elementos con la aplicación de una función de agrupación para una determinada variable. En meteorología, esta técnica ha sido ampliamente utilizado para clasificar las regiones homogéneas en lluvias, térmicamente homogéneas, y como una descripción de las características sinóptica locales (vorticidad relativa, temperatura, altura geopotencial) y así sucesivamente, según la investigación de Gong y Richman (1995), Ramos et al (2001), Unal et al (2003), Michailidou et al. (2009) y Satyanarayana y Srinivas (2011). Así, el objetivo de este estudio es subdividir el semiárido brasileño en sub-regiones homogéneas en precipitación, utilizando para este fin el Analisis de Agrupamiento.

2. Material y Métodos

2.1 Área de estudio

En este estudio se consideró la región semiárida brasileña, la cual comprende parte de los Estados de Piauí, Ceará, Rio Grande del Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, y Minas Gerais, conforme la Imagen 1.



Imagen 1 – Mapa de la Nueva Delimitación del Semiárido (municipios incluidos por el criterio de precipitación media anual, o sea, precipitación media anual inferior a 800mm). Fuente: Ministério de la Integración Nacional/SDR, (2005).

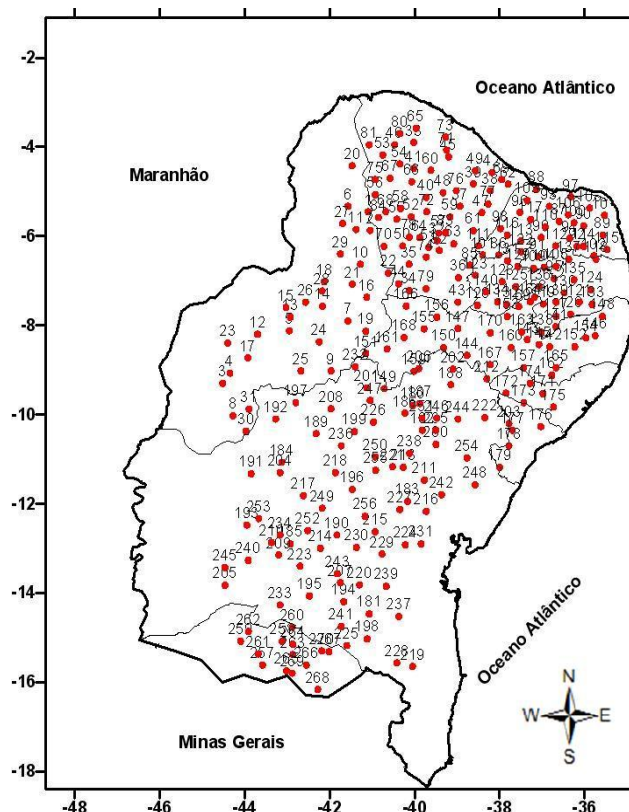


Imagen 2 – Distribución espacial de las 270 estaciones/puestos pluviométricos pertenecientes a la región semiárida brasileña.

2.2 Datos de precipitación

Fueron utilizados datos mensuales de precipitación pluvial de estaciones/puestos meteorológicos distribuidos en la región semiárida brasileña (Imagen 2). las 270 estaciones/puestos pluviométricos utilizados presentan series temporales de, no mínimo, 20 años de datos (Anexo A). Estos datos fueron concedidos por la Agencia Nacional de Aguas (ANA), Empresa de Pesquisa Agropecuária del Rio Grande do Norte (Emparn), Fundação Cearense de Meteorologia Y Recursos Hídricos (FUNCEME) y Agencia Ejecutiva de Gestión de Águas del Estado de la Paraíba (AESAs).

2.3 Métodos

2.3.1 Análisis de agrupamiento (Cluster Analysis)

La metodología de este estudio se basó fundamentalmente en las técnicas de Analisis Multivariada. El analisis de agrupamiento consiste en reunir individuos semejantes en una misma clase, formando grupos caracterizados por la homogeneidad interna y diferenciados entre grupos. Fueron Determinadas las regiones homogeneas a través del método aglomerativo K-means desarrollado por MacQueen (1967) con base en datos medios mensuales de precipitación para todo el semiárido.

El método K-means posee un algoritmo de aprendizaje que organiza los objetos en k particiones donde cada una representa un grupo. Su funcionamiento es descrito para dividir los objetos en k grupos y, a partir de la similitud del valor de la media de los atributos numéricos, agrupa a los demás objetos en torno de estos grupos previamente indicados.

3. Resultados y Discusiones

3.1 Regiones pluviométricamente homogéneas do semiárido brasileño

Para la caracterización de los grupos homogéneos de precipitación fue observada la carta média anual pluvial referente a las 270 estaciones/puestos pluviométricos desconsiderando las isolinéas interpoladas en el Este y Oeste de la Imagen 3.

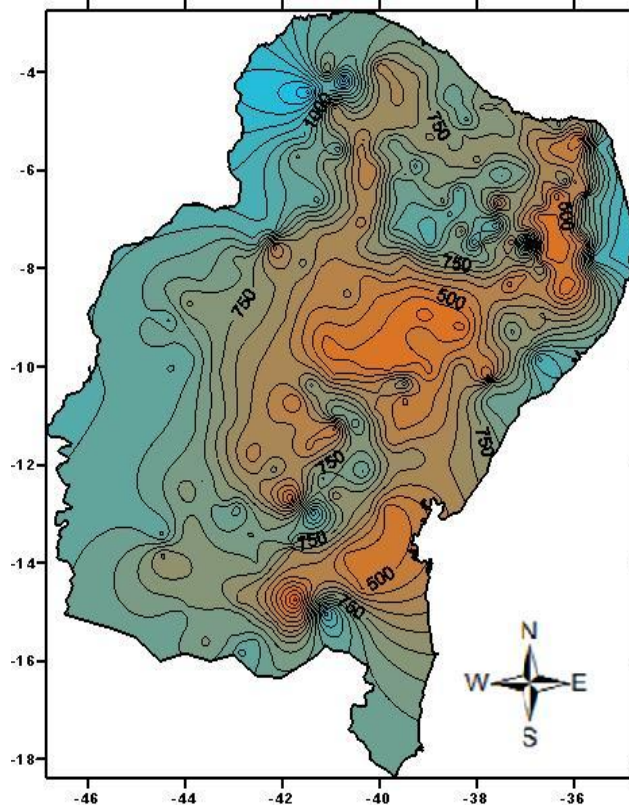


Imagen 3 – Carta de precipitación média anual del semiárido brasileño referente a las 270 estaciones/puestos pluviométricos.

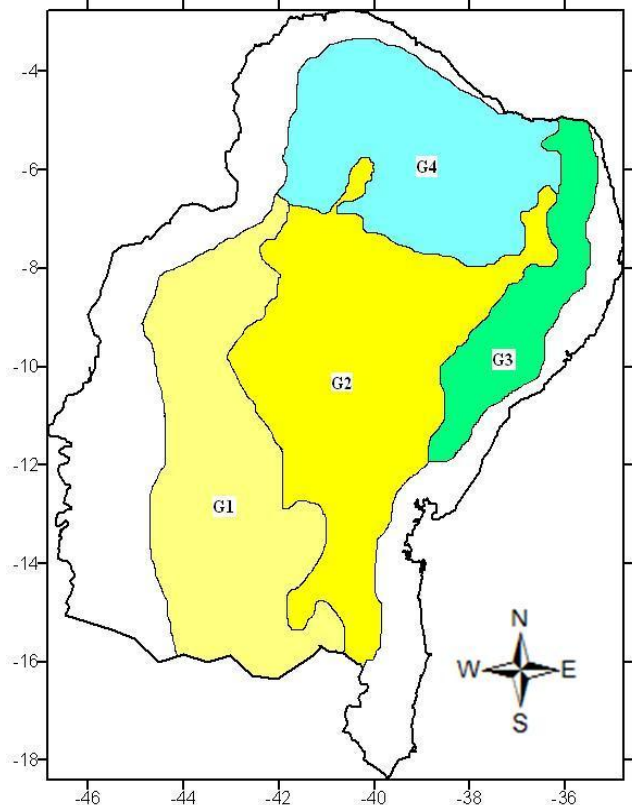


Imagen 4 – Regiones pluviométricamente homogéneas obtenidas a partir del análisis de agrupamientos utilizando el método de K-Means.

Para la determinación de las regiones pluviométricamente homogéneas se adoptó de entre los varios métodos, el método de Agrupamiento K-Means, siendo este muy utilizado para la obtención de regiones pluviométricas en los estudios de André et al. (2008) y Gruppelli (2008), y no siendo diferente en este estudio, pues este presentó los mejores resultados condizantes con la realidad pluviométrica de la región de entre los métodos de Ward, Ligación Completa, Vecino Próximo y Vecino Distante.

El semiárido brasileño fue clasificado en cuatro sub-regiones pluviométricamente homogéneas en relación a la variabilidad sazonal e interanual de la precipitação. La delimitación de estas regiones es exhibida en la Imagen 4. Sus principales características están sintetizadas en Tabela 1 y descripción detallada a seguir.

Tabela 1 – Principales características de las cuatro regiones (grupos) homogéneas de las precipitaciones en el Semiárido brasileño.

Región (grupo)	Localización	P (mm)	TMC	PTT	PAT (%)	VP
1	Piauí (centro-sul) Bahia(central), norte de MG.	816,5	NDJ	415,4	50,9	caatinga/cerrado
2	Oeste de PE, Centro (BH, PB e PI), Sudoeste do CE.	572,7	JFM	258,3	45,1	floresta semi-decídua/caatinga / vegetación rupestre
3	Leste del semiárido brasileño (RN, PB, PE, AL y SE)	674,2	MAM	287,3	42,6	floresta decídua/ floresta pluvial perenifolia/ cerrado
4	Oeste (PB y RN), Noreste del Piauí y Ceará.	784,9	FMA	495,9	63,2	caatinga/ cerrado/ floresta decídua/ floresta estacional semi-decídua.

P- Precipitación media anual; TMC – Trimestre Mas lluvioso; PTT- Precipitación Total Trimestral; PAT – Percentual Acumulado Trimestral; VP – Vegetación Predominante.

3.2 Caracterización de las regiones homogéneas de las precipitaciones del semiárido brasileño

Región 1. En esta región la precipitación media anual es de 816,5 mm. La Imagen 5 ilustra el ciclo medio mensual de las precipitaciones y sus respectivos desvíos-padrón. La lluvia máxima de 150,1 mm con desvío-padrón de 34,3 mm ocurre en diciembre mientras que la mínima de 4,2 mm con desvío-padrón de 12,7 mm en agosto. Las lluvias en esta región poseen mayores índices en el trimestre noviembre, diciembre y enero, lloviendo en estos meses el equivalente a 50,9% del total medio anual. Según Molion & Bernardo (2002) y Meneghetti & Ferreira (2009) estas lluvias están relacionadas a inestabilidades provenientes del planalto central, efectos de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) y sistemas frontales. Los tipos de vegetación predominantes en esta región son la Caatinga y el Cerrado (Tabela 1).

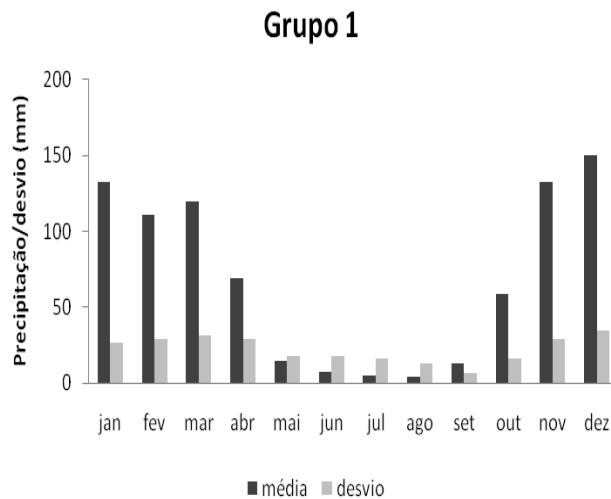


Imagen 5 – Precipitaciones médias mensuales y sus respectivos desvios-padrón para las estaciones de la región (grupo) 1.

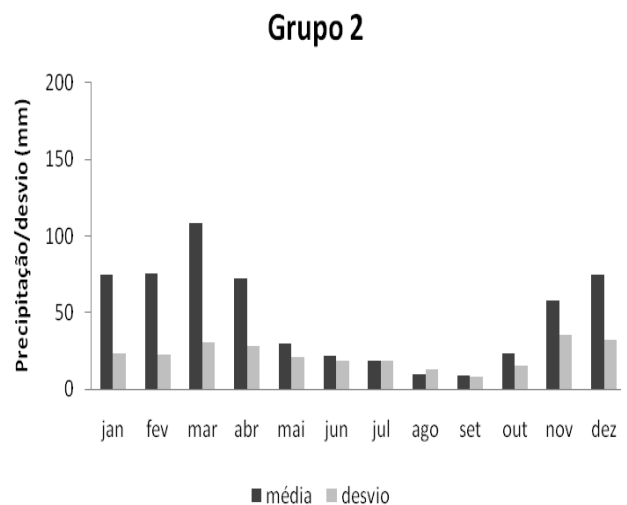


Imagen 6 – Precipitaciones médias mensuales e sus respectivos desvios-padrón para las estaciones de la región (grupo) 2.

Región 2. Esta región presenta total médio anual de precipitación de 572,7 mm, siendo este el menor total médio anual pluviométrico de las cuatro regiones. La Imagen 6 exhibe el comportamiento médio mensual de las precipitaciones e sus respectivos desvios-padrón. La región se sitúa en la parte central del semiárido, en vista de eso fue constatado que los meses de diciembre a marzo presentaron los mayores índices pluviométricos, concordando con los resultados obtenidos por Meneghetti & Ferreira (2009). Los valores máximo y mínimos mensuales fueron de 108,2 mm, en marzo y 9,2 mm, en septiembre, respectivamente. Las precipitaciones en la región están relacionadas a las ZCAS, a los sistemas frontales y a los Vórtices Ciclónicos de Alta Troposfera (VCAN). Los tipos predominantes de vegetación en esta región son caatinga, vegetación rupestre y floresta semi-decídua (Tabela 1).

Región 3. Esta región presenta un total médio anual de precipitación de 674,2 mm. La Imagen 7 demuestra el comportamiento médio mensual de las precipitaciones y sus respectivos desvios-padrón. El máximo mensual es de 105,5 mm en abril y mínimo de 13,8 mm en octubre. Los meses de mayor precipitación están concentrados entre marzo y julio, hecho observado en los estudios de Meneghetti & Ferreira (2009), estas precipitaciones están relacionadas a los sistemas de brisas, olas del leste y sistemas frontales. La región presenta como principales tipos de vegetación, floresta decídua, floresta pluvial perenifolia y cerrado, conforme a la Tabela 1.

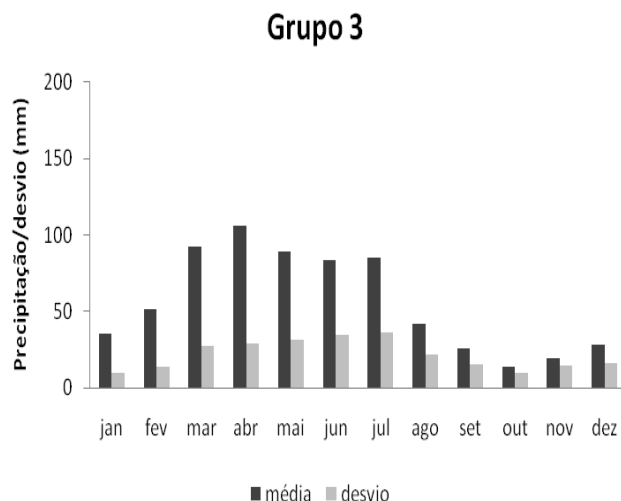


Imagen 7 – Precipitações médias mensuais e sus respectivos desvios-padrón para las estaciones de la región (grupo) 3.

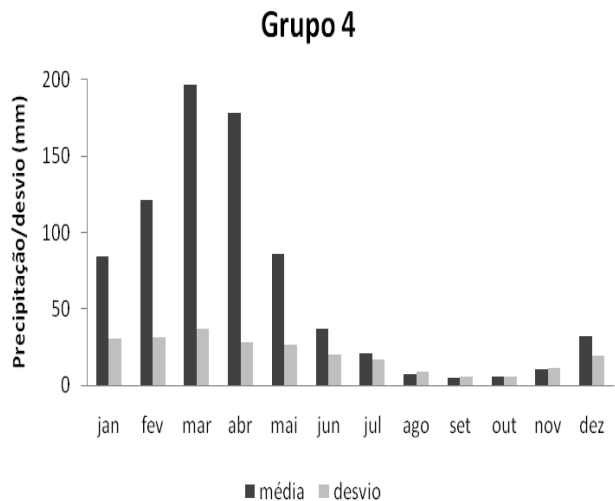


Imagen 8 – Precipitações médias mensuais e sus respectivos desvios-padrón para las estaciones de la región (grupo) 4.

Región 4. Esta región presenta un total médio anual de precipitação de 784,9 mm. El ciclo sazonal de las precipitaciones presenta un trimestre mas lluvioso de marzo a mayo, resultado semejante fui obtenido por Meneghetti & Ferreira (2009). Este trimestre presenta tmas de la mitad de la precipitacion anual equivalente a 63,2%. El máximo mensual es de 196,3 mm en marzo y mínimo de 4,7 mm en septiembre. Las precipitaciones en esta región estan relacionadas a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), VCAN y la orografía. Esta región presenta vegetación del tipo caatinga, cerrado, floresta decídua y floresta estacional semi-decídua (Tabela 1).

4. Conclusiones

El método de agrupamiento K-Means permitió subdividir el semiárido en cuatro regiones pluviométricamente homogéneas. De estas, la región 2 fue la que presentó menor média y menor total trimestral pluviométrico, esta situada en la parte central del semiárido, siendo la mas castigada por las sequias. La mayor média pluviométrica ocurrió en los meses de marzo y abril referente al grupo 4, presentando este grupo la mayor concentración de pluviometria en el trimestre mas lluvioso.

5. Referencias Bibliográficas

ALVES, L. M. **Análise das intensidades de Chuvas no Nordeste do Brasil.** Trabalho de graduação para obtenção do título de Meteorologista – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V. S.; PINHEIRO, F. M. A.; FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões pluviométricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, p. 501 - 509, 2008.

ARAÚJO, L. E. **Análise estatística de chuvas intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

BRASIL. **Ministério da Integração Nacional/SDR. Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semi-árido Nordestino e do Polígono das Secas.** Brasília, DF, 2005. p.118.

GONG, X.; RICHMAN, M. R.; On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. **Journal of Climate**, v.8, p. 897-924, 1995.

GRUPPELLI, J. L.; MARQUES, J. R.; DINIZ, G. B. Relação entre as anomalias de TSM e qualidade potencial da uva na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.30, n.1, 2008.

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

MACQUEEN, J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: Le Cam, L.M., Neyman, J., Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability 1, University of California Press, Berkeley, p. 281–297, 1967.

MICHAILIDOU, C.; MAHERAS, P.; ARSENI-PAPADIMITRIOU, A.; KOLYVA-MACHERA, F. ANAGNOSTOPOULOU, C. A study of weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold-wet period, part II: discriminant analysis. **Theoretical and Applied Climatology**, v.97, p.179–194, 2009.

MENEGHETTI, G. T.; FERREIRA, N. J. Variabilidade sazonal e interanual da precipitação no Nordeste Brasileiro. IN: **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, 2009.

MOLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

RAMOS, M. C. Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. **Atmospheric Research**, v.57, p.123–138, 2001.

SATYANARAYANA, P. SRINIVAS, V.V. Regionalization of precipitation in data sparse areas using large scale atmospheric variables – A fuzzy clustering approach. **Journal of Hydrology**,v.405, p.462–473, 2011.

UNAL, Y.; KINDAP, T.; KARACA, M. Redefining the climate zones of Turkey using cluster Analysis. **International Journal of Climatology**, v.23, p.1045–1055, 2003.

Los autores:

Maria José Herculano Macedo;
Roni Valter de S. Guedes;
Danielson j. D. Neves;
Francisco de Assis S. De sousa.