



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Inferência Exploratória de Dados Espaço-Temporal da Precipitação Pluviométrica no Nordeste Brasileiro

Jhon Lennon Bezerra da Silva¹, Geber Barbosa de Albuquerque Moura², Marcos Vinícios da Silva¹, Roni Valter de Souza Guedes³, Fabrício Marcos Oliveira Lopes⁴, Ênio Farias de França e Silva⁵, Rochele Sheila Vasconcelos⁶, Anna Hozana Francilino⁷

¹ Mestre e Doutorando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Av. D. Manoel de Medeiros, SN, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900. E-mail: jhonlennoigt@hotmail.com (autor correspondente); marcolino_114@hotmail.com

² Doutor em Oceanografia, Professor Titular, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: geber@depa.ufpe.br

³ Analista em Gestão de Recursos Hídricos e Climáticos, Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: roniguedes84@yahoo.com.br

⁴ Doutor em Sensoriamento Remoto, Professor Associado, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: pabricao@gmail.com

⁵ Doutor em Irrigação e Drenagem, Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: enio.fsilva@ufrpe.br

⁶ Doutora em Engenharia Agrícola, Pós-doutoranda na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Campus Caruaru, Pernambuco, Brasil. E-mail: rochelly17@hotmail.com

⁷ Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: annafrancilino7@gmail.com

Artigo submetido em 05/07/2020 e aceite em 30/08/2020

RESUMO

A gestão eficiente dos recursos hídricos no Nordeste Brasileiro torna-se fundamental diante do regime hidrológico dos rios intermitentes, dos quais muitos são extremamente críticos, pois dependem de um regime pluviométrico irregular, tanto em escala de tempo mensal, quanto anual. Objetivou-se determinar a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica total anual, averiguando-se também, as regiões com padrões de precipitação semelhantes por técnicas de análise multivariada (clusters e componentes principais) no Nordeste do Brasil. Foram analisados dados de precipitação pluviométrica total anual, entre os anos de 1995 e 2016, de 37 diferentes estações meteorológicas do INMET, estas situadas nos limites territoriais dos nove estados do Nordeste Brasileiro. A análise de clusters verificou a formação de quatro grupos distintos, com padrões semelhantes de precipitação nas regiões dentro dos grupos, conforme também observado na análise de componentes principais. A padronização e/ou variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica dos municípios analisados mostrou-se está intimamente associada as condições das estações do ano e anomalias climatológicas, aos fatores de uso e ocupação do solo, condições de altitude e relevo, tais quais favorecem na formação e estabilidade de chuvas menores ou maiores no Nordeste Brasileiro. A análise multivariada de cluster e componentes principal identificaram padrões e semelhanças pluviométricas de grupos, nos diferentes estados do Nordeste do Brasil entre os anos de 1995 e 2016.

Palavras-chave: análise multivariada, mudanças climáticas, semiárido, padrões climáticos regionais.

Exploratory Inference of Spatial-Temporal Data of Rainfall in the Brazilian Northeast

ABSTRACT

The efficient management of water resources in the Northeast of Brazil is essential in view of the hydrological regime of intermittent rivers, of which many are extremely critical, as they depend on an irregular rainfall regime, both on a monthly and annual time scale. The objective of this study was to determine the spatial and temporal variability of the annual total rainfall, also investigating the regions with similar rainfall patterns by multivariate analysis techniques (clusters and principal components) in Brazilian Northeast. Data from total annual rainfall between the years 1995 and 2016, of 37 different INMET weather stations were analyzed, located within the territorial limit of the nine states of Brazilian Northeast. Cluster analysis

Silva, J. L. B., Moura, G. B. A., Silva, V. M., Guedes, R. V. S., Lopes, P. M. O., Silva, E. F. F., Vasconcelos, R. S., Francilino, A. F.

verified the formation of four distinct groups, with similar precipitation patterns in the regions within the groups as also observed in the principal component analysis. The pattern and/or spatial-temporal variability of rainfall in the municipalities analyzed was shown to be intimately associated with the conditions of the year and climatic anomalies stations, and the factors of land use and occupation, altitude and relief conditions, such as favoring the formation and stability of minor or major rain in the Brazilian Northeast. Multivariate cluster and principal component analysis identified rainfall patterns and similarities of groups, in the different states of Northeastern Brazil between the years 1995 and 2016.

Keywords: multivariate analysis, climate change, semiarid, regional climate patterns.

Introdução

Ao longo dos anos são notáveis as problemáticas enfrentadas pelos municípios do Nordeste Brasileiro, onde a escassez hídrica se faz cada vez mais presente em decorrência aos períodos de seca. Dessa forma, o monitoramento climático destas regiões torna-se fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos, bem como, no controle de inundações e erosão do solo.

O Nordeste Brasileiro ocupa uma área de 1.561.177,8 km² (18,27% do território nacional). Possui condição natural marcante do ponto de vista geoambiental, que é a semiaridez de caráter sazonal em grande parte do seu território e a alta variabilidade pluviométrica espaço-temporal (Sales, 2002; Araújo, 2011). Sendo o Nordeste a área semiárida mais populosa do mundo, extremamente suscetível a secas, tal qual sua gravidade e duração depende de diversos fatores (Rocha Junior et al., 2020). Dentre os fenômenos naturais adversos, a seca é destaca por Marengo et al. (2017), como o fator que mais afeta a sociedade, atuando em grandes extensões territoriais da região Nordeste do Brasil e com eventos que duram por longos períodos de tempo.

A gestão eficaz e o monitoramento dos recursos hídricos nas regiões do Nordeste têm importância fundamental, tendo em vista que o regime hidrológico dos seus rios intermitentes é crítico, pois o mesmo depende de um regime pluviométrico regular, embora baixas/sazonais, tanto em escala de tempo mensal, quanto anual. Em face, o uso intenso dos recursos hídricos para atender ao consumo humano, à indústria e à agricultura irrigada, vem obrigando à adoção de práticas de regulação e controle deste recurso, onde o gerenciamento atua visando minimizar os desperdícios e otimizar seus usos múltiplos (Campos, 2012; Souza Filho, 2015).

A ausência de planejamento e gestão em quantificar a precipitação pluvial favorece à deficiência hídrica, que somadas aos eventos de seca e variações meteorológicas causam diversos transtornos para os municípios da região Nordeste do

Brasil como um todo, especialmente os que compõem os limites territoriais do semiárido (Souza et al., 2013; Lopes et al., 2017).

A precipitação pluviométrica é a variável climatológica mais importante nos trópicos, considerada uma das principais componentes meteorológicas nos estudos sobre a disponibilidade hídrica, exercendo papel dominante sobre os padrões de respostas das condições ambientais e do balanço hídrico climatológico. É também um dos elementos meteorológicos fundamental para aplicações em modelagem hidrológica na unidade básica de planejamento de uma bacia hidrográfica, porém, observar e analisar a precipitação com consistência é um dos problemas mais difíceis nos dias atuais, devido as próprias variações e mudanças climáticas, falhas nas séries temporais com alta presença de erros de leitura e registro dos instrumentos, tanto manual como automático, dificultando ainda mais a compreensão desta variável (Tao et al., 2009; Santos et al., 2016; Silveira et al., 2016; Santos & Sousa, 2018).

Diante da alta capacidade científica e técnica, a vulnerabilidade climatológica, os conflitos devido a disponibilidade de água em geral dos recursos hídricos nas regiões do Nordeste do Brasil, à modelagem matemática ganha cada vez mais destaque nos estudos sobre hidrologia, comportamento e distribuição das chuvas, bem como no planejamento e gestão da quantidade e qualidade da água. Deste modo, observar o comportamento espaço-temporal da precipitação é essencial para a tomada de decisões, vista a complexidade hidrológica distribuída, sendo as técnicas estatísticas altamente utilizadas como a análise de agrupamento multivariada de clusters e componentes principais, cruciais para analisar e comparar as semelhanças de grupos homogêneos entre as precipitações pluviométricas de diferentes regiões (Fechine & Galvêncio, 2008; Soares et al., 2016).

A análise de dados de precipitação, em sua normalidade é composto por um grande banco de dados, que por sua vez as estatísticas convencionais,

sintetiza pouca informação, pois realizam observações de até duas variáveis. Por outro lado, a Análise de Componentes Principais (ACP) e clusters, possibilitam reduzir o tamanho do banco de dados, criando um novo conjunto de dados composto por componentes linearmente independentes (Stone & Auliciems, 1992).

A ACP e clusters, tem sido utilizado em vários estudos climatológicos para a identificação de padrões de precipitação temporal e espacial e mesmo para a delimitação de grupos de chuva homogêneos, (Singh, 2006; Almazroui et al., 2015; Costa et al., 2016; Fazel et al., 2018; Mutti et al., 2020).

Contudo, diante da dificuldade para obter e concentrar dados regionais mais completos e necessidade de utilização de séries longas de precipitação em estudos climáticos, objetivou-se determinar mediante a inferência exploratória de dados à variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica total anual, identificando e comparando as regiões com padrões de precipitação semelhantes, por meio de técnicas de análise multivariada, para 37 municípios do Nordeste Brasileiro, entre o período de 1995 e 2016. Além também da necessidade em contribuir no campo da ciência nas pesquisas sobre avaliação da

vulnerabilidade climática e seus impactos na região Nordeste do Brasil, sendo este trabalho válido do ponto de vista da inferência e análises pontuais.

Material e Métodos

Área de Estudo

A presente pesquisa foi desenvolvida por meio de dados de precipitação pluviométrica total anual, coletados de estações meteorológicas automáticas e convencionais localizadas em municípios da região Nordeste do Brasil. O Nordeste se localiza entre os paralelos de 2° S e 18° S e entre os meridianos de 32° W e 52° W (Figura 1). Nessa Região encontram-se as áreas do presente estudo, correspondendo a 37 estações meteorológicas de superfície situadas em 37 diferentes municípios da região Nordeste. As estações estão inseridas nos estados do Ceará (sete estações); Rio Grande do Norte (quatro estações); Paraíba (cinco estações); Pernambuco (quatro estações); Alagoas (duas estações); Sergipe (duas estações); Bahia (três estações); Piauí (seis estações) e Maranhão (quatro estações), conforme visualiza-se a espacialização destas na Figura 1.

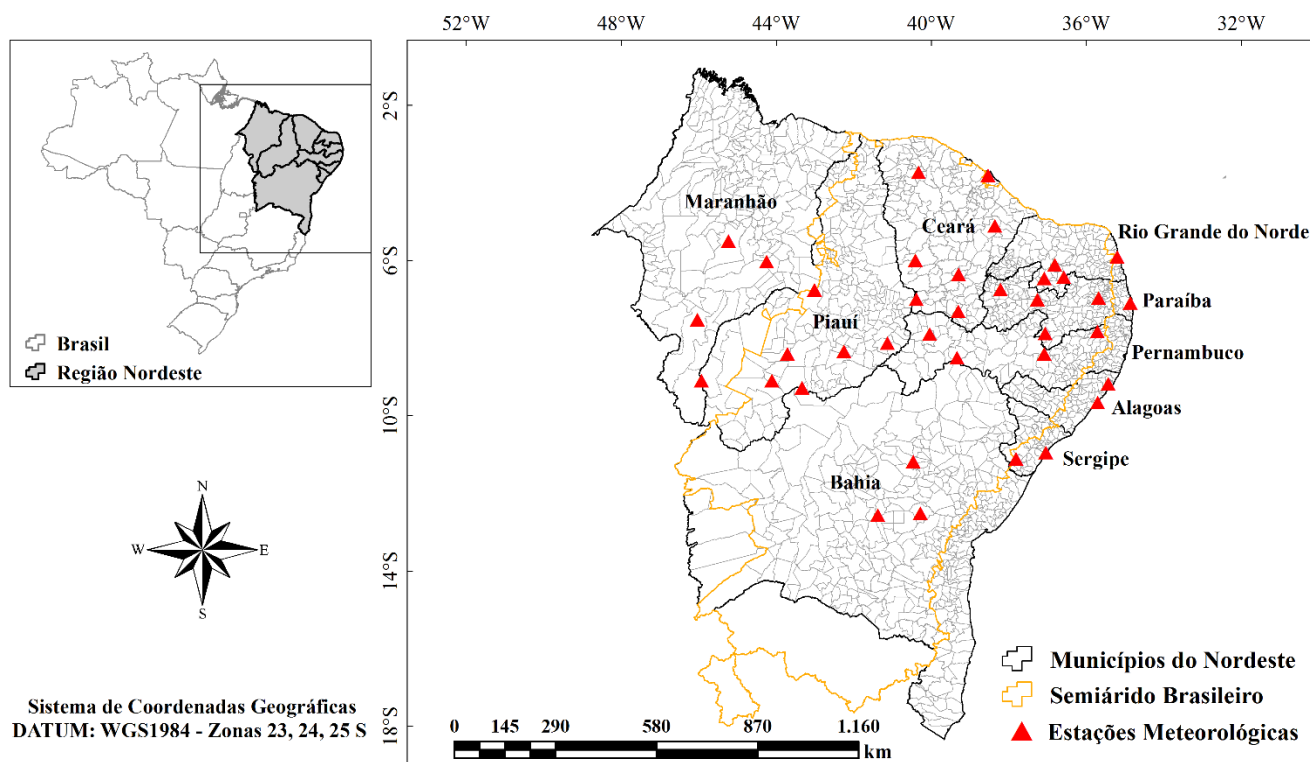


Figura 1. Mapa espacial de localização da região Nordeste do Brasil, com espacialização das estações meteorológicas automáticas e convencionais nos diferentes municípios em estudo.

A região Nordeste do Brasil apresenta uma temperatura do ar média anual entre 22 °C e >26 °C, e uma precipitação total anual variando de 2500 mm a valores inferiores a 500 mm em regiões entre os estados da Bahia e Pernambuco (Alvares et al., 2013; Marengo et al., 2014).

Na maior parte do seu território, o Nordeste possui vegetação predominante do bioma Caatinga, distribuída em 17 grandes unidades de paisagens, que por sua vez, estão subdivididas em 105 unidades geoambientais (Rodal & Sampaio, 2002), num total de 172 no Nordeste como um todo (Silva et al., 1993). A população estimada para o ano de 2018, de acordo com o último censo demográfico do IBGE é cerca de 56.760.780 habitantes, assegurando-se como segunda Região mais populosa do Brasil (IBGE, 2019).

A Caatinga é um bioma endêmico do Nordeste do Brasil, ecossistema altamente dinâmico que corresponde de forma rápida às condições climáticas, sendo a precipitação um fator dominante e controlador da estrutura e distribuição de sua cobertura vegetal. Todavia, a vegetação passa por

uma série de alterações e expansão da susceptibilidade à desertificação, sendo 30% irreversivelmente degradado, seja pelas mudanças climáticas, seca e/ou atividades antrópicas, comprometendo toda sua biodiversidade (Araújo et al., 2005; Vieira et al., 2015).

Por meio de modelos digitais do projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que oferece a partir de etapas de processamento (conversão de dados) o desenvolvimento de mapas espaciais de altitude, declividade e condições de relevo, em um Modelo Digital de Elevação (MDE) (Miranda, 2005), disponibilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey - USGS) destaca-se a Figura 2, que ilustra o mapa temático espacial de altimetria do Nordeste Brasileiro. Os dados SRTM foram interpolados para uma resolução espacial de 30 m pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e georreferenciados pelo Sistema de Coordenadas Geográficas, DATUM: WGS1984, nas zonas 23, 24 e 25 S.

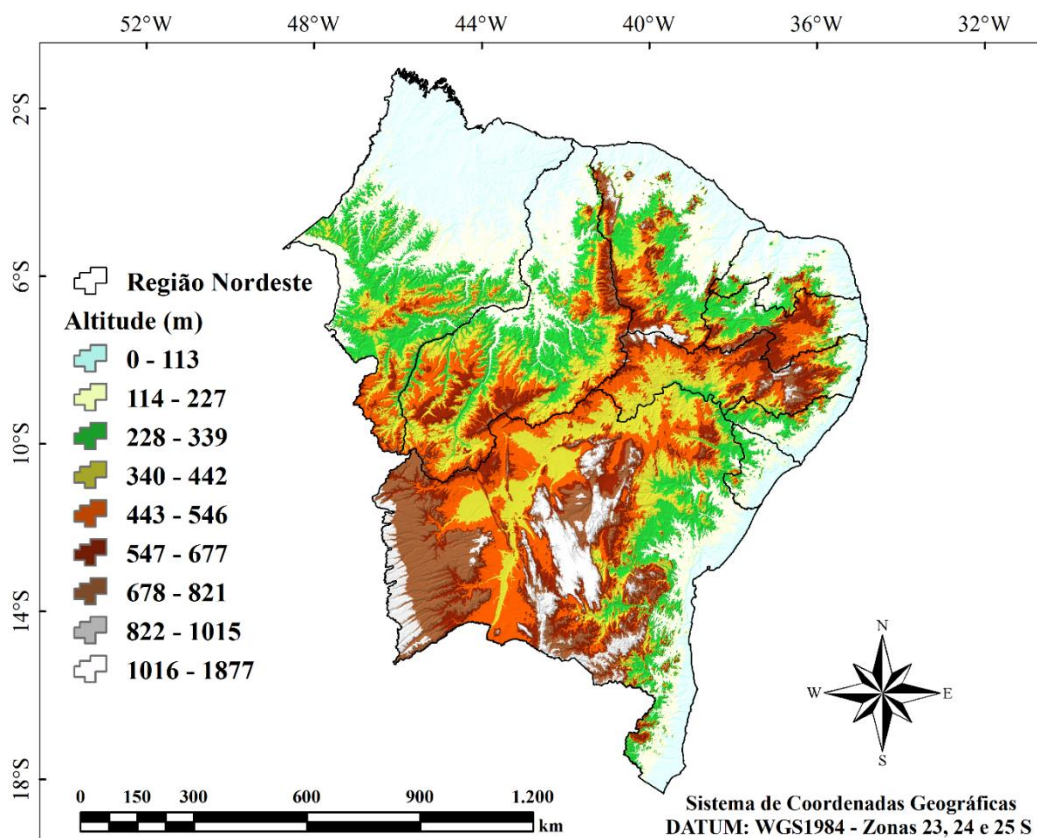


Figura 2. Mapa temático espacial de altimetria da região Nordeste do Brasil.

Dados Meteorológicos

Foram coletados dados de precipitação pluviométrica total anual, registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na qual utilizou-se o somatório anual de 37 diferentes estações meteorológicas de superfície. Estas, situadas em 37 municípios que se localizam dentro dos limites territoriais do Nordeste Brasileiro. As estações apresentam uma série de dados totais anuais climatológicos de precipitação num período de 22 anos para cada município, que vão desde os anos 1995 a 2016.

Os dados de precipitação foram analisados de forma cuidadosa para não comprometer o controle da qualidade dos dados. Vale destacar que este conjunto de dados não foi necessário a realização de preenchimento de falhas, devido as estações apresentarem dados ao longo do tempo completos e consistentes.

Análise Estatística Descritiva

Com a principal finalidade foi monitorar as condições climáticas regionais, os resultados quantitativos anuais da precipitação pluviométrica dos municípios foram submetidos a estatística descritiva por medidas de tendência central (média) e dispersão (mínimo, máximo, desvio padrão - DP e coeficiente de variação - CV) e avaliados quanto a sua variabilidade espaço-temporal a partir do CV (%), conforme Warrick & Nielsen (1980), que atribuíram os critérios de classificação como de baixa variabilidade ($CV < 12\%$); média variabilidade ($12\% < CV < 60\%$) e alta variabilidade ($CV > 60\%$).

Análise Multivariada de Agrupamento de Clusters e Componentes Principais

A análise de agrupamento é uma técnica multivariada que objetiva propor uma estrutura de reconhecimento da existência de grupos (estrutura classificatória), baseado nas características que os grupos possuem, com objetivo ainda mais específico de dividir o conjunto de observações em um número de grupos homogêneos (Santos & Sousa, 2018).

A definição dos grupos na análise de agrupamento foi conforme a metodologia estabelecida por Johnson & Wichern (1982), no qual faz um traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, no ponto médio da distância Euclidiana, essa linha é denominada de Linha de Fenon.

Deste modo, também com o objetivo de analisar e comparar as semelhanças entre as precipitações pluviométricas dos municípios do Nordeste do Brasil em estudo, aplicou-se a técnica de análise multivariada de agrupamento de clusters. Os aglomerados foram organizados por anos, pelo somatório da precipitação total anual e cidades. O método de variância aplicado foi o hierárquico pelo vizinho mais próximo, de Ward (1963), tendo como medida de dissimilaridade a distância euclidiana, conforme Equação 1 (Everitt & Dunn, 1991).

$$d_e = \left[\sum_{j=1}^n (P_{p,j} - P_{k,j})^2 \right]^{0,5} \quad (1)$$

em que, d_e – distância euclidiana; $P_{p,j}$ e $P_{k,j}$ – variáveis quantitativas j dos indivíduos p e k , respectivamente.

O método de variância de Ward tem como finalidade a formação de grupos, tornando mínimo o total das somas de quadrados dentro destes. Deste modo, formam-se grupos para cada etapa do processo, de modo que a solução resultante tenha a menor soma de quadrados dentro dos grupos, considerando adesões de todos os prováveis pares de grupos, sendo que os dois que resultam em menor aumento de soma de quadrados são agrupados até que todos os grupos formem um único grupo, por fim aglomerando todos os indivíduos (Everitt & Dunn, 1991).

Em complementação, diante da necessidade de analisar conjuntos de observações que podem estar correlacionados, aplicou-se também a técnica multivariada de análise de componentes principais (ACP). Foi utilizada para condensar a maior quantidade da informação original contida em n variáveis ($n = 37$ municípios), em duas variáveis latentes ortogonais denominadas componentes principais (CP1 e CP2, respectivamente). Para isso, foi utilizada a matriz de covariância dos dados, da qual foram extraídos os autovalores que originam os autovetores (componentes principais, CPs) (Kaiser, 1958). Diante disso, o grupo original de 37 variáveis foi definido por duas novas variáveis possíveis, o que permitiu sua posição em figuras biplot. Utilizou-se o critério de Kaiser (1958), considerando os autovalores acima de 1, pois geram componentes

com quantidade relevante de informação contida nos dados originais, fazendo o descarte das componentes que apresentarem autovalor inferior a 1.

Nas duas técnicas multivariadas foram utilizados o somatório anual dos 37 postos pluviométricos.

Resultados e Discussão

O monitoramento espaço-temporal e variabilidade da precipitação pluviométrica baseada em 22 anos de totais anuais destacaram importantes respostas nos diferentes municípios do Nordeste Brasileiro através das análises estatísticas, beneficiando, principalmente, o manejo da agricultura irrigada destas regiões, devido à presença de localidades com déficit hídrico acentuado.

Essa variabilidade espaço-temporal associada aos baixos totais anuais de precipitação resulta na frequente ocorrência de dias sem chuva, ou seja, veranicos, e consequentemente, em eventos de seca. Na maioria dessas regiões estudadas as chuvas são concentradas em poucos meses, geralmente intensas e ocorrem em poucos dias do ano, pode-se destacar cerca de 3 a 4 meses para as localidades mais secas (Vieira et al., 2015; Marengo et al., 2017). Esses fatores apresentaram-se bem mais intensos sobre os municípios do interior nordestino, localizados especialmente nos limites territoriais do Semiárido Brasileiro, tornando-os mais vulneráveis, causando riscos para a segurança alimentar, energética e hídrica (Eakin et al., 2014; Cunha et al., 2019).

Costa et al. (2020) em pesquisa sobre a análise dos índices extremos climáticos no Nordeste

do Brasil, dentre os anos de 1961 a 2014, observaram para a maioria das estações meteorológicas, uma redução na precipitação total anual e na frequência de dias chuvosos na região. Diante disso, os autores frisaram tamanha preocupação devido a região Nordeste do Brasil ser marcada pela escassez de recursos hídricos perenes e pela ameaça de processos de desertificação.

A Tabela 1 destaca a estatística descritiva dos 22 anos de dados da precipitação pluviométrica total anual, avaliados em 37 municípios do Nordeste do Brasil. Vale destacar, que ao longo do tempo, a análise de comparação da variação espacial da precipitação pluvial total anual se apresentou de média variabilidade, com valores do CV variando entre 17 e 44%, conforme os critérios de classificação de Warrick & Nielsen (1980). Moura et al. (2008), em estudo sobre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil destacaram que a alta variabilidade interanual ocasiona irregularidade na distribuição espaço-temporal da precipitação pluviométrica, comprometendo fortemente as condições socioeconômicas locais. Corroborando, deste modo, Brito et al. (2018) e Cunha et al. (2018) frisaram que nas regiões semiáridas do Nordeste do Brasil a seca severa é um desastre natural que tem altos impactos socioeconômicos, que vem afetando a vida de milhares de pessoas durante séculos, pois o alto déficit hídrico nestas regiões desfavorecem as atividades agrícolas, de modo que a agricultura familiar e de subsistência é altamente dependente dos regimes de chuva.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos e variabilidade da precipitação pluviométrica total anual para os municípios em estudo do Nordeste Brasileiro.

Município	Estatística descritiva				
	Mínima (mm)	Máxima (mm)	Média (mm)	DP (mm)	CV (%)
Alto Parnaíba - MA	994,40	1848,00	1286,87	232,43	18
Alvorada do Gurgueia - PI	500,00	1369,30	852,90	234,65	28
Aracaju - SE	735,00	1562,90	1180,56	244,77	21
Arcoverde - PE	301,20	980,80	612,98	174,84	29
Areia - PB	420,90	2067,40	1279,85	371,09	29
Balsas - MA	720,20	1555,30	1187,74	267,71	23
Barbalha - CE	576,20	1526,40	1043,68	292,13	28
Barra da Corda - MA	655,80	1644,00	1118,04	249,09	22
Bom Jesus - PI	492,20	1320,90	864,01	208,76	24
Cabrobó - PE	195,10	841,10	497,26	174,81	35

Caicó - RN	189,10	1046,30	587,13	233,88	40
Campos Sales - CE	331,20	876,00	555,71	157,63	28
Caracol - PI	197,50	1071,80	665,65	226,77	34
Colinas - MA	496,00	1742,40	1270,99	291,01	23
Cruzeta - RN	195,80	1053,60	633,78	228,76	36
Florânia - RN	193,50	1350,90	618,58	271,34	44
Floriano - PI	500,00	1403,40	966,40	223,00	23
Fortaleza - CE	824,80	2359,50	1503,18	447,27	30
Iguatu - CE	409,40	1603,00	936,71	252,96	27
Itabaianinha - SE	709,40	1432,40	1097,81	189,42	17
Itaberaba - BA	180,50	915,70	609,99	189,66	31
Jacobina - BA	325,30	1757,60	784,10	273,39	35
João Pessoa - PB	1017,30	2544,50	1818,51	454,05	25
Lençóis - BA	538,80	1811,30	1082,79	297,98	28
Maceió - AL	1089,80	2674,30	1770,71	422,99	24
Monteiro - PB	82,20	1073,50	607,24	236,88	39
Morada Nova - CE	167,00	1165,60	646,46	224,43	35
Natal - RN	1105,00	2485,10	1711,86	430,86	25
Ouricuri - PE	199,90	1024,80	595,97	203,35	34
Patos - PB	219,60	1116,60	727,92	245,61	34
Paulistana - PI	184,30	1106,50	588,52	216,79	37
Porto de Pedras - AL	883,40	2439,50	1593,80	404,80	25
São João - PI	358,10	864,40	641,92	142,41	22
Sobral - CE	449,30	1606,00	866,83	289,50	33
Sousa - PB	295,60	1851,40	896,61	351,38	39
Surubim - PE	227,80	954,70	578,25	173,73	30
Tauá - CE	276,80	937,20	539,58	164,62	31

Oliveira et al. (2017) estudando sobre a climatologia e análise de tendências de precipitação extrema em sub-regiões do Nordeste do Brasil observaram uma variabilidade anual pronunciada em todas as sub-regiões, que destacaram a identificação de um forte sinal sazonal, com as estações de chuva e seca bem definidas.

Os municípios de Monteiro-PB, Morada Nova-CE, Itaberaba-BA, Paulistana-PI, Caicó-RN, Florânia-RN, Cabrobró-PE, Cruzeta-RN, Caracol-PI, Ouricuri-PE, Patos-PB, Surubim-PE e Tauá-CE chegaram a apresentar baixos totais anuais, com precipitações mínimas entre 82,20 e 276,80 mm ano⁻¹, dentre o período de 1995 a 2016 (Tabela 1), conforme registros climatológicos do INMET. Vale destacar que são regiões que se localizam sobre os limites territoriais do Semiárido Brasileiro, zona climática do tipo BSh, clima típico do interior do

Nordeste do Brasil, que possui baixa pluviosidade e escassez hídrica devido os frequentes e longos períodos de seca e, ainda, pelas altas temperaturas. Em diversas regiões, a demanda evaporativa costuma ser maior do que a própria precipitação, que geralmente apresenta para o semiárido, um total anual menor que 700 mm. Nesse sentido, são regiões que têm déficit de umidade líquida, com elevada evapotranspiração potencial (Alvares et al., 2013; D'Odorico et al., 2013; Gutiérrez et al., 2014; Mariano et al., 2018).

Analisando o município de Surubim-PE, nas séries climatológicas dos anos de 1961 a 1990 e dos anos de 1981 a 2010, observou-se valores respectivos de precipitação acumulada de 726 e 609 mm (INMET, 2020), enquanto que no presente trabalho entre os anos de 1995 e 2016 destaca-se o valor de 578,25 mm (Tabela 1). Esses resultados mostram

para este município uma nítida redução dos valores precipitados, típico do Semiárido Brasileiro e/ou que está virando uma região semiárida.

Dentre o histórico das secas do Nordeste do Brasil, destacam-se os anos de seca entre o período de 22 anos deste estudo (1995 a 2016), sendo eles: 1997 e 1998; 2001 e 2002; 2005; 2007 a 2009; 2010; 2012 a 2016. Ainda, através da intensificação de anomalias climáticas negativas, os anos de 1997-1998; 2005; 2010 e 2015 tiveram secas intensas e severas, com forte presença do fenômeno El Niño (Marengo et al., 2017; Oliveira et al., 2017; Brito et al., 2018; Cunha et al., 2018; Mariano et al., 2018; Cunha et al., 2019). Todavia, vale frisar que o El Niño explica e contribui negativamente, em parte, para irregularidades na precipitação pluvial do Nordeste, também vale destacar que nem todos os anos de El Niño configuram-se em seca no Nordeste do Brasil (Marengo et al., 2018).

As anomalias climáticas que causam instabilidade nas chuvas da região Nordeste do Brasil estão associadas a diversos fenômenos de grande escala e complexidade climática como, por exemplo, o El Niño e La Niña; o gradiente meridional da temperatura da superfície do mar sobre o Oceano Atlântico tropical; as oscilações da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que age ou não em conjunto com as teleconexões, e quanto à formação, localização e tempo de duração dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) (Moura et al. 2008; Hastenrath, 2012; Marengo &

Bernasconi, 2015; Marengo et al., 2017; Oliveira et al., 2017; Lucena et al., 2018; Marengo et al., 2018; Rocha Junior et al., 2020).

Marengo et al. (2018), em estudo sobre os aspectos climatológicos da seca no Nordeste do Brasil, entre os anos de 2010 e 2016, destacaram que a intensificação das secas neste período foi devido estarem ligadas a uma anomalia no Atlântico tropical, favorecendo a instalação de uma condição anômala da ZCIT ao norte, o que consequentemente colaborou para anomalias negativas de precipitação. Por outro lado, há fortes evidências de que os extremos estão se tornando cada vez mais frequentes com indicações de relações a partir da mudança climática induzida pelas ações antrópicas (D'Odorico et al., 2013; Gutiérrez et al., 2014; Marengo & Espinoza, 2016; Cunha et al., 2018; Mariano et al., 2018).

Em suma, os municípios de Areia-PB, Fortaleza-CE, Porto de Pedras-AL, Natal-RN, João Pessoa-PB e Maceió-AL destacaram altos totais anuais, com precipitações máximas entre 2067,40 e 2674,30 mm ano⁻¹ no período de 1995 a 2016 (Tabela 1). Vale destacar que são regiões situadas nas faixas litorâneas, que possuem maior disponibilidade de umidade oriunda do oceano.

A Figura 3 apresenta a distribuição temporal da precipitação pluviométrica média anual para os 37 municípios em estudo, entre o período de 1995 a 2016. Os eventos de chuva variaram entre a média anual de 497,26 e 1818,51 mm ano⁻¹.

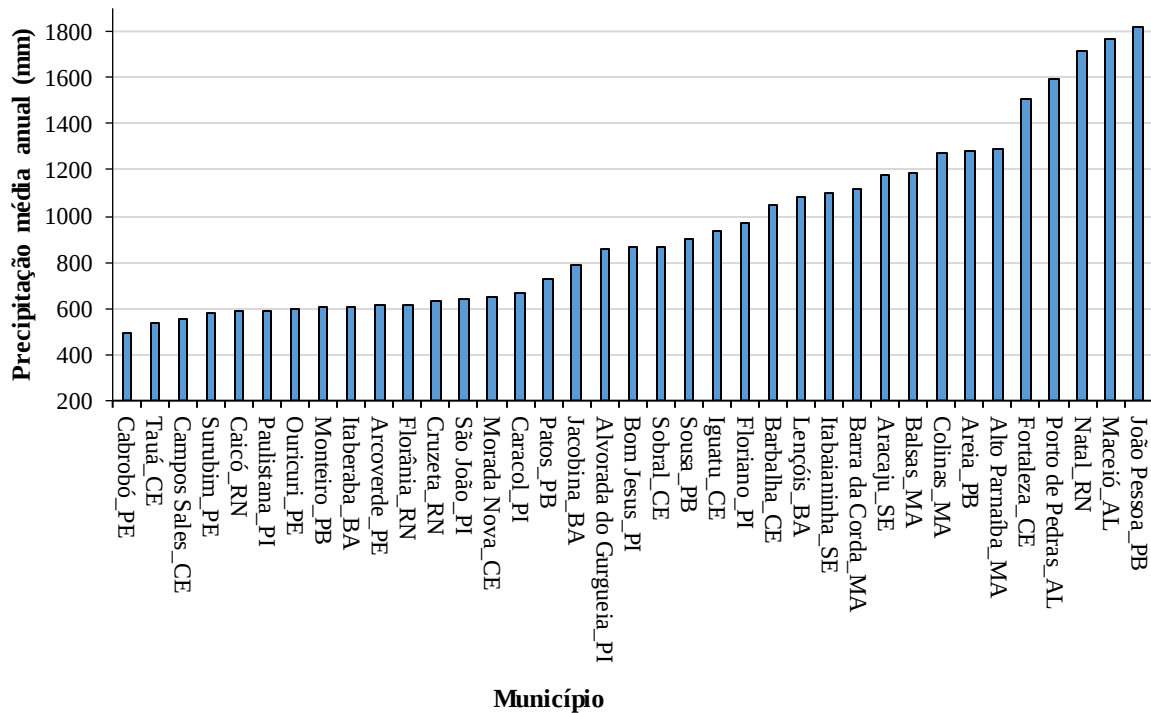


Figura 3. Distribuição da precipitação pluviométrica média anual dos municípios do Nordeste Brasileiro em estudo, para a série de dados climatológicos de 22 anos (1995 a 2016).

A Figura 4 apresenta, sob forma de dendrograma (árvore de afinidade) a sequência dos agrupamentos da variação anual com a classificação dos municípios que apresentaram precipitação pluviométrica semelhante na região Nordeste.

Conforme o método estabelecido por Johnson & Wichern (1982), fez um traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, no ponto médio de 1,21 da distância Euclidiana total.

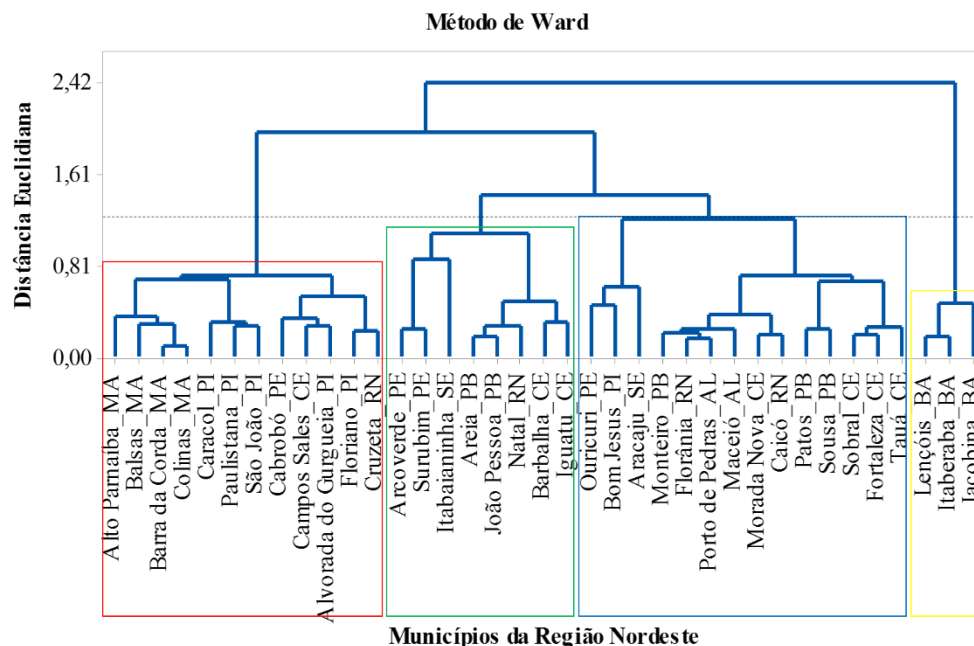


Figura 4. Dendrograma de clusters dos municípios do Nordeste Brasileiro em estudo, para a série de dados climatológicos de precipitação pluviométrica de 22 anos (1995 a 2016).

Houve a formação de quatro grupos distintos, na sequência, o grupo 1 (em vermelho) foi composto por municípios dos estados do Maranhão, Piauí, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte; grupo 2 (em verde) por municípios dos estados de Pernambuco, Sergipe, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará; grupo 3 (em azul) por municípios dos estados de Pernambuco, Piauí, Sergipe, Paraíba, Rio Grande do Norte, Alagoas e Ceará e o grupo 4 (em amarelo) por municípios apenas do estado da Bahia (Figura 4).

A localização dessas regiões, assim como, as demais pertencentes aos limites territoriais da região Nordeste estão submetidas à influência de fenômenos climáticos e meteorológicos distintos, tais quais exaltam características peculiares e únicas de todo o mundo. Observou-se especificamente neste estudo, que os grupos formados destacam que os diversos sistemas e anomalias climáticas observados

no Nordeste do Brasil atuaram com diferentes intensidades entre ambos. Moura et al. (2020) estudando a identificação de preditores para as chuvas do setor leste do Nordeste do Brasil destacaram que sistemas como as ondas de leste, brisas, ZCIT e frente fria atuam nas localidades destes grupos com intensidades diferentes, devido principalmente a orografia. Os autores observaram, para o grupo 1, a influência do oceano Atlântico, devido está situado no litoral, o grupo 2 está a barlavento do planalto da Borborema, influenciado por brisas, e o grupo 3 encontra-se a sota-vento, este que é um setor com subsidência de vento.

Na Figura 5 destaca-se o mapa temático da distribuição espaço-temporal da análise multivariada de agrupamento de clusters em municípios do Nordeste Brasileiro. Os grupos destacados sob forma de dendrograma foram ilustrados espacialmente, tais quais dividiram-se em quatro grupos distintos.

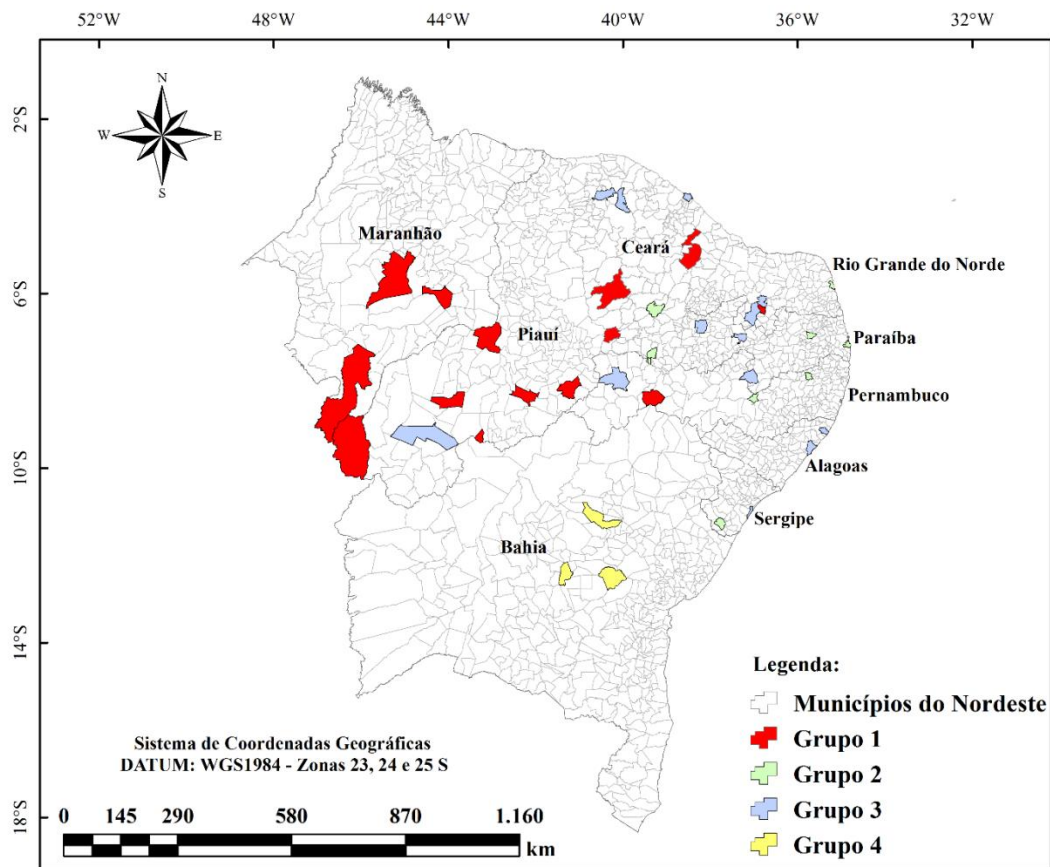


Figura 5. Mapa temático da distribuição espaço-temporal da análise multivariada de agrupamento de clusters dos municípios do Nordeste Brasileiro em estudo, para a série de dados climatológicos de precipitação pluviométrica de 22 anos (1995 a 2016).

Sarmadi & Shokoohi (2015) espacializaram a precipitação no Irã baseado em dados de grade do Centro de Climatologia de Precipitação de 1951 a 2007. Brito et al. (2017) caracterizaram a variabilidade das chuvas no estado do Rio de Janeiro. Raziei (2018) avaliou uma série temporal de 1990 a 2014 da precipitação mensal de 155 estações no Irã para identificar áreas com diferentes variabilidades de tempo, pela técnica de análise multivariada de agrupamento de clusters para formação de dendrograma. Tais quais, corroborando com o presente estudo, ambos os autores destacados nestes estudos observaram que o uso da técnica de clusters, principalmente em dados de precipitação, apresentaram resultados satisfatórios na formação de grupos semelhantes. Conforme observado na presente pesquisa através da padronização dos regimes de chuvas mesmo sendo em localidades diferentes.

Salienta-se que as regiões do estado do Maranhão têm umidade da Amazônia com as

condições edafoclimática diferente. Em sua parte central, é seco, sem umidade, no qual, recebe chuvas quando grandes sistemas atmosféricos causam instabilidade e movimentam massas de umidade extra. Já o Litoral do Nordeste tem disponibilidade da umidade proveniente do atlântico. Oliveira et al. (2017) destacaram valores de precipitação mais altos na sub-região noroeste do Nordeste, devido à sua proximidade com a região Norte do Brasil, tal qual o clima é influenciado pela massa atmosférica Amazônica.

A padronização e/ou variabilidade da precipitação pluviométrica dessas regiões do Nordeste Brasileiro está associada a diversos fatores como os de uso e ocupação do solo, áreas urbanas, condições de altitude e relevo (Figura 2), áreas de preservação ambiental como, por exemplo, a Mata Atlântica. Bezerra et al. (2019) em estudo sobre as mudanças nos índices extremos de precipitação na bacia do rio São Francisco, observaram que devido à complexidade da hidrometeorologia da região a

análise espacial dos índices extremos não mostrou claramente mudanças regionais. E quando observaram tendências opostas, foi associado a intensa mudança de cobertura do solo nas últimas décadas.

Em função disso, principalmente, se associa aos efeitos das mudanças climáticas que têm alterado os padrões de chuva, provocando maiores veranicos, secas severas e eventos extremos, com isso alterando os acumulados anuais mais recentes, despadronizando a maioria das regiões estudadas. Oliveira et al. (2017) ao analisarem a climatologia das sub-regiões do Nordeste Brasileiro, observaram diferentes áreas climatológicas em relação à precipitação. Os autores concluíram que se deve a uma atividade de diferentes sistemas climáticos atuantes no Nordeste, bem como a diferentes tipos de cobertura vegetal e ao efeito de fenômenos de mesoescala, como a circulação de brisa.

Concomitantemente são fatores que favorecem na formação e estabilidade de índices menores ou maiores de chuva nestas regiões. Deste modo, Rocha Junior et al. (2019) destacaram que os recursos hídricos são afetados pelas mudanças climáticas seja elas naturais ou antropogênicas em escalas regionais, causando a degradação do solo em função da redução da umidade e armazenamento de água nas bacias hidrográficas.

Bao et al. (2019) estudando uma bacia hidrográfica na China, destacaram o impacto causado no balanço hídrico pela variabilidade climática e as mudanças do uso e cobertura da terra, que por sua vez, influenciaram significativamente nos regimes hidrológicos, principalmente nas regiões áridas e semiáridas da bacia, estas que apresentaram problemas ainda mais críticos de escassez hídrica. Rocha Junior et al. (2019) destacam que esses efeitos estão diretamente relacionados ao fenômeno da seca, caracterizado pelo alto déficit hídrico com uma escala de tempo relativamente longa.

Lopes et al. (2018) aplicando análise multivariada no estudo da variação do índice de aridez em municípios da Bahia e Pernambuco destacaram a influência de fatores meteorológicos nas mudanças de padrões de aridez devido à elevação deste, principalmente pela diminuição dos valores de precipitação, além da própria elevação nos valores de temperatura.

A Figura 6 apresenta a análise multivariada de componentes principais no espaço e no tempo, dos municípios estudados na região Nordeste (A) e a respectiva série histórica de 1995 a 2016 (B), respectivamente. Baseado na metodologia proposta por Kaiser (1958), as componentes 1 e 2 apresentaram autovalor superior a 1, perante isso as mesmas foram utilizadas na produção dos gráficos biplot (Figuras 6A e 6B).

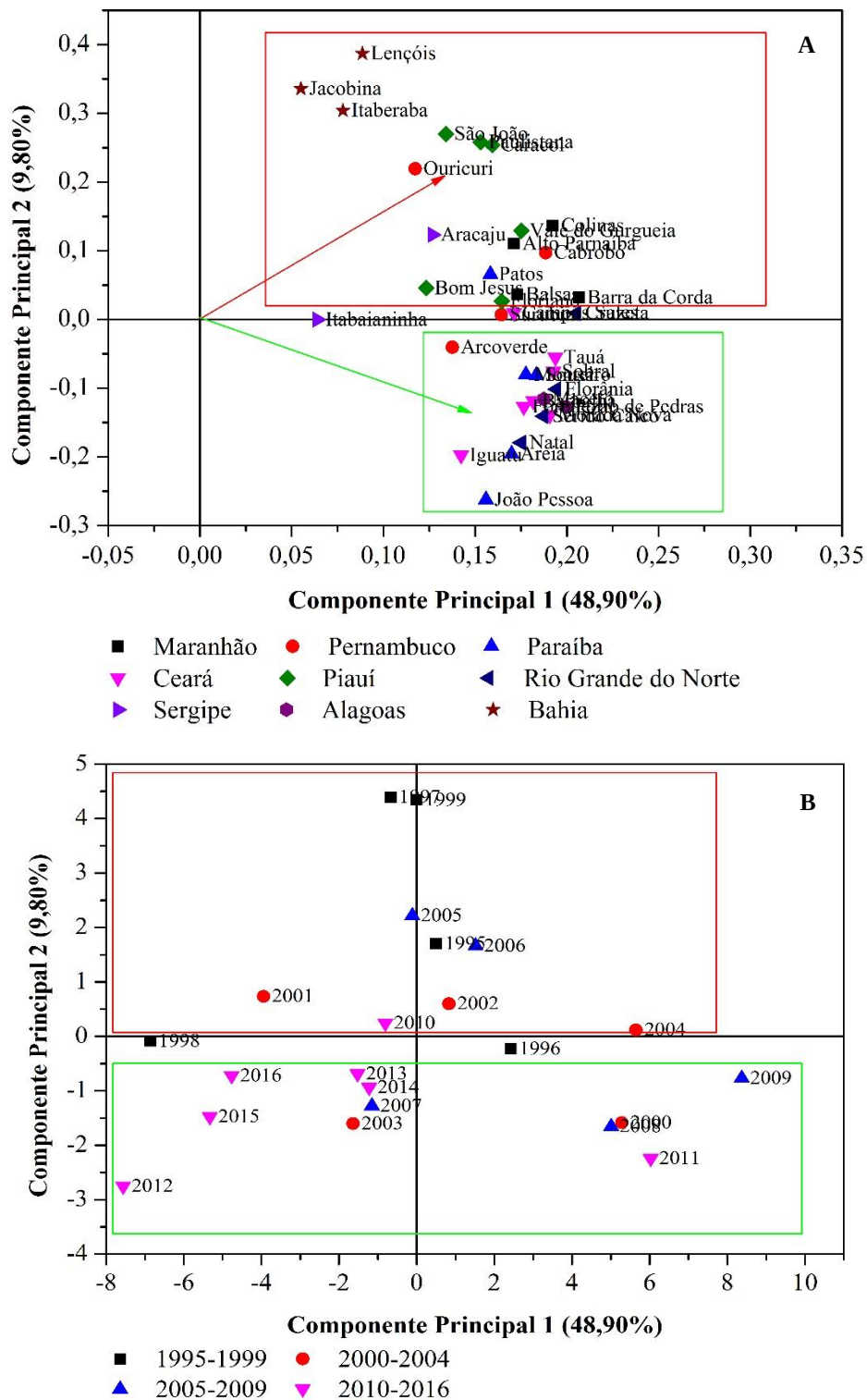


Figura 6. Análise multivariada de componentes principais no espaço e no tempo, dos municípios estudados no Nordeste Brasileiro (A) e dos anos de precipitação pluviométrica da série histórica de 1995 a 2016.

A variância total representativa para os municípios foi de 58,70% (Figura 6), próximo ao resultado observado no estudo de Raziei (2018), com achados para a variância total de 68,50%. Amiri & Mesgari (2019) avaliaram a variabilidade espacial da precipitação anual sobre as províncias de Chaharmahal e Bakhtiari com base em dados mensais de precipitação de 42 estações entre 1981 e 2012 através da análise multivariada e obtiveram resultados da variância total de 86,92%, resultados esses de grande representatividade.

Com base na componente principal 1 (CP1), é explicada melhor as variabilidades anuais da série estudada, devido aos maiores valores da variância total dessa componente. Em sua maioria, os valores negativos se referem aos anos secos e os positivos aos chuvosos. A componente principal 2 (CP2) está relacionada a análise espacial, pois os valores positivos da CP2 jogam postos da Bahia distantes e separam alguns Estados (Figura 6).

Costa et al. (2016), avaliaram a variabilidade espaço-temporal da precipitação durante a estação seca e investigaram as relações entre fenômenos climáticos e eventos de seca nas bacias dos rios Paraíba do Meio e Mundaú, de uma série histórica de 1962-2008. Os autores observaram resultados que corroboram com o presente estudo, onde destacaram que os fenômenos climáticos estão correlacionados com base na CP1.

Mutti et al. (2020) realizaram a caracterização climatológica das chuvas entre os estados da Paraíba e Rio grande do Norte, por meio da criação de clusters e análise de componentes principais, e obtiveram resultados significativos na caracterização temporal ao longo dos meses, principalmente pela CP1, de uma série histórica de 1962-2015.

Baseando-se mais especificamente na CP2, os estados do Ceará e da Paraíba, por exemplo, apresentaram semelhanças da precipitação entre si, nos anos de 2007 a 2016, com exceção do ano de 2010, que não mostrou nenhuma variação em nenhum dos estados do Nordeste. Os demais Estados por sua vez tiveram semelhança da precipitação entre os anos de 1995 e 2002, com exceção somente do ano de 1998 que não mostrou nenhuma variação em nenhum dos Estados (Figuras 6A e 6B).

Diante destes resultados, é destacável, também, os anos de 2012 a 2016, quando confirmaram o período de seca (valores negativos) na maioria dos municípios estudados (Figura 6B). Tal

qual este período é bastante explorado na literatura pelos efeitos severos da seca em regiões do Nordeste. Inclusive classificando e considerando como a maior seca das últimas décadas, em termos de magnitude e duração (Marengo et al., 2017; Cunha et al., 2018; Marengo et al., 2018; Cunha et al., 2019).

Cunha et al. (2018) estudando sobre as mudanças nos padrões espaço-temporais das secas no Nordeste brasileiro destacaram, principalmente, condições de mudanças mais severas em termos da extensão espacial dos fenômenos, sendo a seca de 2012-2013 caracterizada por impactos generalizados, atingindo quase 50% da área total do Nordeste.

Em outro estudo sobre os eventos extremos da seca no Brasil a partir de índices baseados na meteorologia e em sensoriamento remoto, Cunha et al. (2019) alertaram que o período de 2011-2019 foi o evento de seca mais grave dos últimos 60 anos.

Martins et al. (2018) analisando o evento da seca de 2012-2016 por análise de atribuição multimétodo da hidrometeorologia no Nordeste do Brasil, destacaram impressionantes 135 anos do seu período de retorno.

Estes resultados também servirão para destacar a essencialidade de estudos sobre as mudanças do clima local nestes municípios do Nordeste do Brasil, visto que, as vulnerabilidades climáticas podem causar impactos severos na agricultura, especialmente nas regiões semiáridas. Estas informações permitem o planejamento prévio nas tomadas de decisões e adequações técnicas de manejo e produção por parte dos produtores rurais nestas regiões, evitando condições socioeconômicas desfavoráveis, até mesmo sob eventos climáticos extremos.

Conclusões

A variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica total anual confirma características climáticas peculiares, estando os padrões de chuva associados tanto com as condições das estações do ano e anomalias climatológicas quanto com as condições de relevo e vegetação e distância do litoral das regiões do Nordeste Brasileiro.

A análise de componente principal confirmou na maioria dos municípios a seca severa no período dos anos de 2012 a 2016, sendo que o município de Surubim-PE, especificamente, está

reduzindo significativamente os valores da precipitação pluviométrica, virando semiárido.

O emprego das técnicas de análise multivariada (agrupamento de clusters e componentes principais) permitiram identificar as regiões com padrões de precipitação semelhantes através da identificação de grupos homogêneos dentre os nove estados do Nordeste do Brasil, baseando-se na série histórica de dados climatológicos da precipitação entre o período dos anos de 1995 e 2016.

Contudo, a avaliação da variabilidade climatológica da precipitação pluviométrica visa propor, fundamentalmente, a orientação dos potenciais impactos intensificados pela mudança do clima, que limitam os campos de produção da agricultura de subsistência e familiar no Nordeste do Brasil.

Agradecimentos

À Universidade Federal Rural de Pernambuco; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola; O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e também o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo fornecimento dos dados meteorológicos de precipitação pluviométrica.

Referências

Almazroui, M., Dambul, R., Islam, M.N., Jones, P.D., 2015. Principal components-based regionalization of the Saudi Arabian climate. *International Journal of Climatology* 35, 2555-2573. <https://doi.org/10.1002/joc.4139>

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Amiri, M.A., Mesgari, M.S., 2019. Spatial variability analysis of precipitation and its concentration in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 137, 2905-2914. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02787-y>

Araújo, F.S., Rodal, M.J.N., Barbosa, M.R.V., Martins, F.R., 2005. Repartição da flora lenhosa no domínio da caatinga. In: *Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga: Suporte e estratégias regionais de conservação*, 17-36. Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente.

Bao, Z., Zhang, J., Wang, G., Chen, Q., Guan, T., Yan, X., ... et al., & Wang, J., 2019. The impact of climate variability and land use/cover change on the water balance in the Middle Yellow River Basin, China. *Journal of Hydrology* 577, 123942. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123942>

Bezerra, B.G., Silva, L.L., Santos e Silva, C.M., Carvalho, G.G., 2019. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. *Theoretical and Applied Climatology* 135, 565-576. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2396-6>

Brito, S.S.B., Cunha, A.P.M., Cunningham, C.C., Alvalá, R.C., Marengo, J.A., & Carvalho, M.A., 2018. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology* 38, 517-529. <https://doi.org/10.1002/joc.5225>

Brito, T.T., Oliveira Júnior, J.F., Lyra, G.B., Gois, G., Zeri, M., 2017. Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics* 129, 469-478. <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0481-x>

Campos, J.N.B., 2012. A evolução das políticas públicas no Nordeste. In: Magalhães, A.R. *A questão da água no Nordeste*. Brasília: CGEE, 263-289.

Costa, D.D., da Silva Pereira, T.A., Fragoso Jr, C.R., Madani, K., Uvo, C.B., 2016. Understanding drought dynamics during dry season in Eastern Northeast Brazil. *Frontiers in Earth Science* 4, 1-11. <https://doi.org/10.3389/feart.2016.00069>

Costa, R.L., Mello Baptista, G.M., Gomes, H.B., Santos Silva, F.D., Rocha Júnior, R.L., Araújo Salvador, M., Herdies, D.L., 2020. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. *Weather and Climate Extremes* 28, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100254>

Cunha, A.P.M.A., Zeri, M., Deusdará Leal, K., Costa, L., Cuartas, L.A., Marengo, J.A., ... et al., & Ribeiro-Neto, G., 2019. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019.

- Atmosphere 10, 1-20.
<https://doi.org/10.3390/atmos10110642>
- Cunha, A.P.M.A., Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G., Brown, M., Garcia, S.R., Brito, S.B., & Carvalho, M.A., 2018. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters* 19, 1-8. <https://doi.org/10.1002/asl.855>
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., Runyan, C.W., 2013. Global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources* 51, 326-344. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013>
- Eakin, H.C, Lemos, M.C, Nelson, D.R., 2014. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. *Global Environmental Change* 27, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.013>
- EMBRAPA., 1999. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa. 412 p.
- Everitt, B.S., Dunn, G., 1991. Applied multivariate data analysis. London: Edward Arnold. 316 p.
- Fazel, N., Berndtsson, R., Uvo, C.B., Madani, K., Kløve, B., 2018. Regionalization of precipitation characteristics in Iran's Lake Urmia basin. *Theoretical and Applied Climatology* 132, 363-373. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2090-0>
- Fechine, J.A.L., Galvêncio, J.D., 2008. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do Rio Brígida-PE, através da multivariada. *Revista Brasileira de Geografia Física* 1, 39-46. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20080004>
- Gutiérrez, A.P.A., Engle, N.L., De Nys, E., Molejón, C., Martins, E.S., 2014. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes* 3, 95-106. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.12.001>
- Hastenrath, S., 2012. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change* 112, 243-251. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0227-1>
- IBGE., 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. População: estimativa da população. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>>. Acesso em 19 de abril de 2019.
- Johnson, R.A., Wichern, D.W., 1982. Applied Multivariate Statistical Analysis. Madison: Prentice Hall International. 607 p.
- Kaiser, H.F., 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23, 187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>
- Lopes, I., Guimarães, M.J.M., Melo, J.M.M., Ramos, C.M.C., 2017. Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. *Irriga* 22, 443-457. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p443-457>
- Lopes, I., Melo, J.M.M., Carvalho, A.A., Moura, G.B.A., Leal, B.G., 2018. Análise multivariada no estudo da variação do Índice de Aridez da Bahia e Pernambuco. *Agrometeoros* 26, 93-102. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26345>
- Marengo, J.A., Alves, L.M., Alvares, R., Cunha, A.P., Brito, S., Moraes, O.L., 2018. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 90, 1973-1985. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- Marengo, J.A., Bernasconi, M., 2015. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change* 129, 103-115. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>
- Marengo, J.A., Espinoza, J.C., 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology* 36, 1033-1050. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>
- Marengo, J.A., Torres, R.R., Alves, L.M., 2017. Drought in Northeast Brazil-past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology* 129, 1189-1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- Martins, E.S.P.R., Coelho, C.A.S., Haarsma, R., Otto, F.E.L., King, A.D., ... et al., & Cullen, H., 2018. A Multimethod Attribution Analysis of the Prolonged Northeast Brazil Hydrometeorological Drought (2012-16). *Bulletin of the American Meteorological Society* 99, S65-S69. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0102.1>
- Miranda, E.E., 2019. Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 23 de setembro de 2019.

- Moura, G.B.A., Brito, J.I.B., Sousa, F.A.S., Cavalcanti, E.P., Silva, J.L.B., Nascimento, C.R., Lopes, P.M.O., 2020. Identificação de Preditores Para as Chuvas do Setor Leste do Nordeste do Brasil Utilizando Análise de Correlação Canônica. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 1463-1482. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1463-1482>
- Mutti, P.R., Abreu, L.P., MB Andrade, L., Spyrides, M.H.C., Lima, K.C., Oliveira, C.P., ... et al., & Bezerra, B.G., 2020. A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semiarid watersheds. *Theoretical and Applied Climatology* 139, 109-125. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02963-0>
- Oliveira, P.T., Santos e Silva, C.M., Lima, K.C., 2017. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 130, 77-90. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1865-z>
- Raziei, T., 2018. A precipitation regionalization and regime for Iran based on multivariate analysis. *Theoretical and applied climatology* 131, 1429-1448. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2065-1>
- Rocha Júnior, R.L., Santos Silva, F.D., Costa, R.L., Gomes, H.B., Pinto, D.D.C., Herdies, D.L., 2020. Bivariate Assessment of Drought Return Periods and Frequency in Brazilian Northeast Using Joint Distribution by Copula Method. *Geosciences* 10, 1-16. <https://doi.org/10.3390/geosciences10040135>
- Rocha Júnior, R.L., Santos Silva, F.D., Lisboa Costa, R., Barros Gomes, H., Herdies, D.L., Rodrigues da Silva, V.D.P., Candido Xavier, A., 2019. Analysis of the Space-Temporal Trends of Wet Conditions in the Different Rainy Seasons of Brazilian Northeast by Quantile Regression and Bootstrap Test. *Geosciences* 9, 1-14. <https://doi.org/10.3390/geosciences9110457>
- Rodal, M.J.N., Sampaio, E.V.S.B., 2002. A vegetação do bioma caatinga. In: Sampaio, E.V.S.B., Giulietti, A.M., Virgínio, J., Gamarra-Rojas, C.F.L. (Ed.). *Vegetação & Flora da Caatinga*. Recife: Associação Plantas do Nordeste/Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, 11-24.
- Santos, C.A.C., Melo, M.M.M.S., Brito, J.I.B., 2016. Tendências de Índices de Extremos Climáticos para o Estado do Amazonas e suas Relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia* 31, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130001>
- Santos, E.F.N., Sousa, I.F., 2018. Análise estatística multivariada da precipitação do estado de Sergipe através dos fatores e agrupamentos. *Revista Brasileira de Climatologia* 23, 205-222. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58267>
- Sarmadi, F., Shokoohi, A., 2015. Regionalizing precipitation in Iran using GPCC gridded data via multivariate analysis and L-moment methods. *Theoretical and applied climatology* 122, 121-128. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1292-y>
- Silva, F.B.R., Riche, G.R., Tonneau, J.P., Souza Neto, N.C., Brito, L.T.L., ... et al., & Leite, P., 1993. Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnostico do quadro natural e agrossocioeconomico. Petrolina: EMBRAPA CPATSA; Recife: EMBRAPA-CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste 2 (EMBRAPA CPATSA. Documentos, 80).
- Silveira, C.S., Souza Filho, F.A., Martins, E.S.P.R., Oliveira, J.L., Costa, A.C., Nobrega, M.T., Souza, S.A., Silva, R.F.V., 2016. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21, 416-428. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p416-428>
- Singh, C.V., 2006. Pattern characteristics of Indian monsoon rainfall using principal component analysis (PCA). *Atmospheric research* 79, 317-326. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.05.006>
- Soares, A.S.D., Paz, A.R.P., Piccilli, D.G.A., 2016. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21, 288-299. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p288-299>
- Souza Filho, F.A., 2015. Recursos hídricos e agenda de tecnologias e inovação no Nordeste. *Parcerias Estratégicas, Edição Especial* 20, 149-174.
- Souza, A.P., Mota, L.L., Zamadei, T., Martin, C.C., Almeida, F.T., Paulino, J., 2013. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa* 1, 13-17. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>
- Stone, R., Auliciems, A., 1992. SOI phase relationships with rainfall in eastern Australia. *International Journal of Climatology* 12, 625-636. <https://doi.org/10.1002/joc.3370120608>

- Vieira, R.M.S.P., Tomasella, J., Alvalá, R.C.S., Sestini, M.F., Affonso, A.G., ... et al., & Santana, M.O., 2015. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth* 6, 347-360. <https://doi.org/10.5194/se-6-347-2015>
- Ward, J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal American Association* 58, 236-244.
- Warrick, A.W., Nielsen, D.R., 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press. 350 p.