



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/jeap.3.1.2018.1668.126-145



Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no Agreste pernambucano

Geostatistics applied to spatial variability and patterns in the temporal series of precipitation in Agreste of Pernambuco

Antonio Ricardo Santos de Andrade^a, Anizio Honorato Godoy Neto^b, Adiel Felipe da Silva Cruz^c, Emylle Kerolayne Palmeira de Andrade^d, Vandson Felipe dos Santos^e, Themystocles Nicolette Pereira da Silva^f

^a Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Unidade Acadêmica de Garanhuns-UAG, Avenida Bom Pastor, s/n, Boa Vista, Garanhuns-PE, Brasil. CEP: 55.296-901. E-mail: ricoarsa@gmail.com.

^b UFRPE, Rua Manoel de Medeiros, SN, Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil. CEP: 52171-900. E-mail: agrohonorato@gmail.com, adiel.cruz@agronomo.eng.br, emylle@gmail.com, vandsonfelipe19@gmail.com, themystocles2010@hotmail.com.

ARTICLE INFO

Recebido 22 Out 2017

Aceito 31 Jan 2018

Publicado 31 Jan 2018

ABSTRACT

One of the major concerns of society in recent years is related to the climate change and its consequences for humanity. The quantification of the precipitation condition is a relevant factor in the climatic analyzes since the knowledge of this variable is indispensable in the understanding of the local hydrological cycle and control of the natural water cycle. This study aimed to evaluate the spatial variability and to identify the annual average rainfall, in the Southern Agreste of the State of Pernambuco. It was evaluated a historical series of the data of average annual rainfall in the 33 years, provided by the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) and by the Superintendence of the Development of the Northeast (SUDENE), corresponding to the period of January of 1984 to May of 2017 of the precipitation Meteorological stations located in the six micro-regions of Agreste Pernambucano, formed by the union of 71 municipalities. To identify if there were significant trends in rainfall and verify the behavior and evolution of the spatial variability of rainfall. The parametric test was used by the linear regression method. The results show a high significance in the variability of the annual mean rainfall, in all the Southern Agreste of the State of Pernambuco, with high spatial dependence in the studied series. The values of mean annual precipitation presented statistically significant trends, with a predominance of negative trends distributed throughout the Agreste region of Pernambuco. Based on the trends observed in the stations located in the six microregions of Agreste Pernambucano in the northeastern region of Brazil. It was concluded that there was a decrease in annual values of annual mean precipitation in the six microregions, formed by the union of 71 municipalities.

Keywords: rain, climate changes, spatial variability, regression analysis.

RESUMO

Uma das grandes preocupações da sociedade nos últimos anos diz respeito às alterações climáticas e suas consequências para a humanidade. A quantificação da condição de precipitação pluviométrica é fator relevante nas análises climáticas, pois o conhecimento desta variável é indispensável na compreensão do ciclo hidrológico local e controle do ciclo natural da água. O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial e identificar a tendência da precipitação pluvial média anual no Agreste Meridional do Estado de Pernambuco. Avaliou-se uma série histórica dos dados de precipitação pluviométrica anual média nos 33 anos, cedidas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) e pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), correspondentes ao período de

janeiro de 1984 a maio de 2017 da precipitação pluviométrica das estações meteorológicas espacialmente localizadas nas seis microrregiões do Agreste Pernambucano, formada pela união de 71 municípios. Utilizou-se o teste paramétrico por meio do método de regressão linear. Os resultados evidenciam elevada significância na variabilidade da média anual da precipitação pluvial, em todo Agreste Meridional do Estado de Pernambuco, como também apresentou elevada dependência espacial na série estudada. Os valores da precipitação média anual apresentaram tendências estatisticamente significativas, com um predomínio de tendências negativas distribuídas ao longo das regiões do Agreste pernambucano. Tomando como base as tendências observadas nas estações localizadas, nas seis microrregiões do Agreste pernambucano, na região nordeste no Brasil, conclui-se que ocorreu diminuição dos valores anuais da precipitação média anual nas seis microrregiões, formada pela união de 71 municípios.

Palavras-Chave: Chuva, mudanças climáticas, variabilidade espacial, análise de regressão.

Introdução

A variabilidade climática e o aumento dos eventos meteorológicos, especialmente quanto à precipitação pluviométrica e à temperatura do ar, tem preocupado, tanto as autoridades governamentais, quanto os tomadores de decisão, em todos os segmentos da sociedade. Todos os anos, milhões de pessoas no mundo são afetadas pelas mudanças climáticas e desastres naturais, em particular os hidros climáticos, que acarretam grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais. A sociedade, como um todo, tem percebido que o número de desastres naturais vem aumentando nas duas últimas décadas, em decorrência das variações dos parâmetros meteorológicos, em particular o regime pluviométrico (Silva et al., 2010; Pinheiro et al., 2013). Mudanças na precipitação têm implicações no ciclo hidrológico e nos recursos hídricos. Espera-se que as mudanças climáticas alterem a temperatura média e os valores da precipitação, aumentando a variabilidade desses eventos, que poderão causar inundações e secas mais intensas e frequentes. Qian & Lin (2005) afirmam que a frequência e a persistência das secas deverão ser uma das consequências do aquecimento global.

É importante ressaltar que o Estado de Pernambuco possui um histórico de desastres naturais ligados a eventos de estiagem e seca prolongados. As estiagens, comparadas às secas, são menos intensas e caracterizam-se pela menor intensidade e menores períodos de tempo. A seca é caracterizada por longos períodos sem chuva e consequências severas para a região nordeste, a qual, por sua vez, afeta muitos municípios pernambucanos, matando animais e ameaçando a sobrevivência de milhares de famílias, ocasionando um problema muito grave para o abastecimento urbano e para a geração de energia elétrica. As vazões de rios também são afetadas, pois resultam de uma complexa interação dos diversos processos de armazenamento e transporte do ciclo hidrológico, dependendo da capacidade

de infiltração do solo e da chuva. Adicionalmente acarreta a modificação dos elementos naturais bióticos e abióticos da região, prejudicando diferentes elementos climáticos (Ramos, 2010; Huertas et al., 2012; Silva, 2013).

Segundo as informações do atlas brasileiro de desastres naturais, citado pela confederação nacional de municípios (CNM, 2010) relata que, eventos de estiagens e secas deixaram 5.227.293 pernambucanos afetados entre os anos de 1991 a 2010. Ainda de acordo com as informações da CNM, a seca afeta as áreas produtivas, provocando perdas nas lavouras além de causar prejuízos aos agricultores, compromete os reservatórios d'água resultando em sede, fome e na perda de rebanho leiteiro, bem como problemas de risco a vida humana. Atinge ainda, de modo negativo, a dinâmica ambiental e a conservação do ambiente, à medida que a falta de chuva aumenta, também, o risco de queimadas.

As séries temporais e espaciais da precipitação pluviométrica de uma determinada região são resultantes da integração dos componentes no ciclo hidrológico e consequentemente, das influências naturais e antrópicas na região (Silva et al., 2003b). Atualmente, entre os diversos esforços realizados sobre o tema de aquecimento global, destaca-se a detecção com base em métodos estatísticos de indícios de mudanças climáticas em longas séries meteorológicas, por estes aspectos, optou-se por estudar as séries temporais e espaciais de temperaturas e precipitações do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco. Vale salientar que, em geral, as mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, tais como, temperatura do ar e precipitação pluvial. De acordo com as tendências temporais das variáveis meteorológicas para um determinado local é observado se ocorreram mudanças no clima.

Nos últimos anos há uma grande preocupação de pesquisadores em analisar as

variabilidades climáticas que estão acontecendo no planeta, principalmente no que se refere a um possível aumento de eventos de precipitações intensas. O conhecimento da precipitação durante o ano é o fator determinante para estimar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial (Silva et al., 2012). Na região Nordeste estudos que investigam tendências em séries pluviométricas tem ganhado importância devido aos benefícios causados pelos resultados podendo assim aplicá-los em nosso dia-a-dia. Do ponto de vista agrícola, as principais questões sobre estação chuvosa são relativas ao mês de início e fim, precipitação total no período e sua intensidade (Silva & Rao, 2002; Silva et al., 2011).

Algumas técnicas ou estatísticas são usadas para diagnosticar tendências e/ou variações meteorológicas, especialmente de temperatura e precipitação e o interesse pelas técnicas estatísticas tem aumentado consideravelmente, entre elas o teste estatístico de Mann-Kendall e a análise de regressão linear. Tendência em uma série temporal é como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas (Back, 2001). Tendências de aumento ou diminuição da precipitação pluvial afetam diretamente o ciclo hidrológico e, conseqüentemente, toda a sociedade, sendo o conhecimento de seu comportamento de fundamental importância.

Pesquisas têm sido geradas nas regiões Norte, Sul e Sudeste do país, mas são poucos os estudos sobre tendência temporal para região Nordeste, gerando ainda certa carência (Silva et al., 2011; Bak et al., 2012; Pinheiro et al., 2013). No Nordeste do Brasil, as atividades agrícolas, quase que em sua totalidade, são baseadas na precipitação e o conhecimento de sua variabilidade é de extrema importância. Logo a importância do estudo do regime da precipitação pluviométrica para mesorregião do Agreste do Estado de Pernambuco, no que concerne a severidade e os efeitos das vulnerabilidades, vem no intuito de ajudar os tomadores de decisão e as autoridades na prevenção dos desastres naturais, no planejamento das ações de defesa civil e nos recursos hídricos, podendo assim, evitar danos por inundações, enchentes e secas em áreas urbanas e rurais. Modelos matemáticos e/ou estatísticos podem ser usados para descrever e interpretar dados específicos de várias áreas, auxiliando substancialmente em tomadas de decisões.

Segundo Lacerda et al. (2009), a variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviométricas constitui uma característica

marcante no clima da Região Nordeste do Brasil (NEB), em particular sobre a porção semiárida, onde a irregularidade das chuvas é um fator importante. Estudos recentes sobre mudanças climáticas regionais mostram uma variação no padrão total anual de precipitação sobre o NEB. Em regiões como o Nordeste do Brasil, principalmente no semiárido, a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local, bem como da sua variabilidade e mudança em longo prazo (Nóbrega, 2012). Almeida et al. (2004) afirmaram que a geoestatística se revela uma forte ferramenta de análise espacial, que ainda permite a compreensão e distribuição de confiabilidade, do processo de espacialização da variável, depois de analisar a variabilidade espacial da precipitação anual média e dos coeficientes de irregularidade na Bacia do Rio Ipanema em Pernambuco. De acordo com Salgueiro & Montenegro (2004) utilizaram a geoestatística para analisar a variabilidade espacial e os padrões de precipitação na bacia do rio Ipojuca, Pernambuco, e comprovaram que as duas variáveis apresentam forte estrutura de correlação espacial e, portanto, devem ser tratadas como variáveis regionalizadas.

Neste sentido, a ciência meteorológica e a climatologia, em conjunto com a geoestatística, precisam encontrar resposta científica e concreta para a sociedade, no que se refere o aumento da frequência dos eventos meteorológicos. Sendo assim, este estudo se justifica pela busca de respostas de mudanças climáticas através da análise da tendência da precipitação média anual (PMA), por meio da regressão linear. A análise da variabilidade espacial dos valores médios das precipitações anuais (PMA), dos valores do coeficiente de variação (CV) e do índice de irregularidade meteorológicas (IIM) foi estudada por meio do método de Kriging, permitindo um melhor estudo da variabilidade dos regimes pluviométricos predominantes na área de estudo.

Material e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

As áreas de estudo estão localizadas na mesorregião do Agreste Pernambucano estende-se por uma área aproximada de 24 400 km², inserida entre a Zona da Mata e o Sertão. Representa 24,7% do território pernambucano e conta com uma população de cerca de 1.800.000 habitantes (25% da população do Estado de Pernambuco), segundo o censo do IBGE (2015). O estado está subdividido em seis microrregiões: Vale do Ipanema, Vale do Ipojuca, Alto Capibaribe, Garanhuns, Brejo pernambucano e Médio Capibaribe (Figura 1).

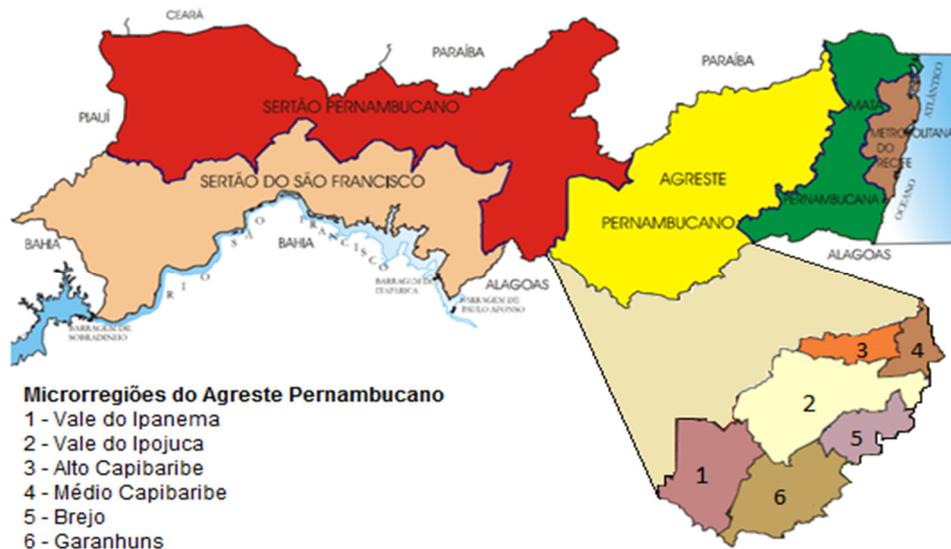


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo e as seis microrregiões (com 71 municípios) da mesorregião do Agreste pernambucano no Nordeste brasileiro. Fonte: CONDEPE/FIDEM (2017).

A região está inserida na área de abrangência do Polígono das Secas, mas apresentando, um tempo de estiagem menor que a do sertão, devido a sua proximidade do litoral. Os índices pluviométricos podem variar em cada microrregião. A região está situada em parte no planalto da Borborema, em uma altitude média entre 400 a 800 m, sendo que em alguns pontos como nas microrregiões de Garanhuns e do Ipojuca, as altitudes podem chegar 1000 metros, o que confere à região um clima mais ameno em relação ao semiárido e com maior índice pluviométrico. A região apresenta estações do ano bem definidas, em comparação ao litoral e ao oeste pernambucano. O índice pluviométrico, temperatura e umidade relativa do ar ficam a cargo do relevo, pois o Agreste é a transição entre a zona da mata e o sertão, as chuvas são mal distribuídas em grande parte da região. O clima é do tipo Tropical Chuvoso com verão seco. A umidade relativa do ar fica entre 10% a 80%, as chuvas são frequentes entre abril a junho, e o período menos chuvoso é entre setembro a janeiro, com chuvas não ultrapassando os 295 mm na estação chuvosa e 25 mm a estação seca. Os climas presentes na região são: clima semiárido e

o clima mediterrânico. As temperaturas raramente ficam abaixo dos 8°C e dificilmente ultrapassam os 37°C.

Obtenção dos dados

Foram utilizados dados anuais de precipitação pluvial, obtidos junto a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e Agência Nacional de Águas (ANA). O período escolhido foi de janeiro de 1985 a maio de 2017, totalizando 33 anos para os 71 municípios das seis microrregiões do Agreste pernambucano na região do Nordeste Brasileiro. As informações das séries temporais aqui tratadas estão resumidas na Tabela 1. Nesta tabela destacam-se 71 municípios, os quais contemplam as seis microrregiões do Agreste pernambucano, com os respectivos nomes, acompanhados com códigos e suas respectivas coordenadas geográficas (em graus decimais). O controle de qualidade dos dados inclui a consistência espacial e temporal dos valores diários da precipitação. Para minimizar as influências associadas com a heterogeneidade temporal, foram removidas as estações com sérios eventos de relocação e séries com dados errôneos e unidades incorretas.

Tabela 1. Relação dos locais selecionados e suas coordenadas geográficas dos 71 municípios pertencentes às seis microrregiões do Agreste pernambucano na região do Nordeste Brasileiro, para a série histórica de janeiro de 1985 a maio de 2017.

Município	Símbolo	Latitude	Longitude	Município	Símbolo	Latitude	Longitude
Agrestina	AG	-35.9383	-8.4580	Jurema	JUR	-36.14	-8.7180
Águas Belas	AB	-37.1306	-9.1113	Lagoa do Ouro	LAGO	-36.4531	-9.127
Alagoinha	ALAG	-36.7731	-8.4663	Lagoa dos Gatos	LAGA	-35.9083	-8.6583

Altinho	ALT	-36.0558	-8.4897	Lajedo	LAJ	-36.3219	-8.6636
Angelim	ANG	-36.2858	-8.8902	Limoeiro	LIM	-35.4533	-7.8747
Barra de Guabiraba	BG	-35.6539	-8.4200	Machados	MAC	-35.5197	-7.6822
Belo Jardim	BEJ	-36.4325	-8.3355	Orobó	ORO	-35.6053	-7.745
Bezerros	BEZ	-35.7842	-8.2333	Palmeirina	PAL	-36.325	-9.0044
Bom Conselho	BC	-36.6744	-9.1697	Panelas	PAN	-36.0092	-8.6636
Bom Jardim	BOJ	-35.5964	-7.7958	Paranatama	PAR	-36.6558	-8.9208
Bonito	BOM	-35.7206	-8.4702	Passira	PAS	-35.5783	-7.995
Brejão	BREJ	-36.5786	-9.0302	Pedra	PED	-36.9397	-8.4969
Brejo da Madre de Deus	BREJM	-36.3694	-8.1458	Pesqueira	PES	-36.6908	-8.3577
Buíque	BUI	-37.1606	-8.6230	Poço	POÇ	-36.7008	-8.1863
Cachoeirinha	CACH	-36.2267	-8.4863	Riacho das Almas	RIA	-35.8644	-8.1338
Caetés	CAET	-36.6331	-8.7730	Sairé	SAI	-35.7086	-8.327
Calçados	CALÇ	-36.3392	-8.7422	Salgadinho	SALG	-35.6222	-7.9363
Camocim de São Felix	CSF	-35.7644	-8.3586	Saloá	SAL	-36.6858	-8.9758
Canhotinho	CANH	-36.1911	-8.8822	Sanharó	SAN	-36.5542	-8.3605
Capoeiras	CAP	-36.6244	-8.7347	Santa Cruz do Capibaribe	SMC	-36.2028	-7.9575
Caruaru	CAR	-35.9714	-8.2833	Santa Maria do Cambucá	SBU	-35.8756	-7.8291
Casinhas	CAS	-35.7261	-7.7411	São Bento do Una	SBU	-36.435	-8.5227
Correntes	CORR	-36.3225	-9.1288	São Caetano	SCT	-36.1444	-8.3258
Cumaru	CUM	-35.6911	-8.0061	São João	SJ	-36.3761	-8.8755
Cupira	CUP	-35.9639	-8.6166	São Joaquim do Monte	SJM	-35.8	-8.4325
Feira Nova	FN	-35.3908	-7.9508	São Vicente Férrer	SVF	-35.485	-7.5911
Frei Miguelinho	FM	-35.9019	-7.9397	Surubim	SUR	-35.7519	-7.8330
Garanhuns	GAR	-36.4867	-8.8902	Tacaimbó	TAC	-36.2894	-8.3161
Gravatá	GRAV	-35.5647	-8.2011	Taquaritinga do Norte	TAQ	-36.0381	-7.9030
Iati	IAT	-36.8481	-9.0458	Terezinha	TER	-36.6275	-9.0561
Ibirajuba	IBIR	-36.1736	-8.5805	Toritama	TOR	-36.0517	-8.0066
Itaíba	ITAI	-37.4167	-8.9475	Tupanatinga	TUP	-37.335	-8.7533
Jatauba	JAT	-36.4933	-7.9900	Venturosa	VENT	-36.8781	-8.5747
João Alfredo	JAL	-35.5856	-7.8558	Vertente do Lério	VERTL	-35.855	-7.7713
Jucati	JUC	-36.4833	-8.7063	Vertentes	VERT	-35.9833	-7.9027
Jupi	JUP	-36.4056	-8.7116				

A Figura 2 apresenta a localização das seis microrregiões no Estado de Pernambuco e distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas no estudo, mostrando os 71 municípios Agreste Meridional de Pernambucano para a série

de 1985 a 20 de maio de 2017. Estas estações estão espacialmente bem distribuídas em todas as microrregiões do Agreste Pernambucano e localizadas em diferentes climas diferenciados.

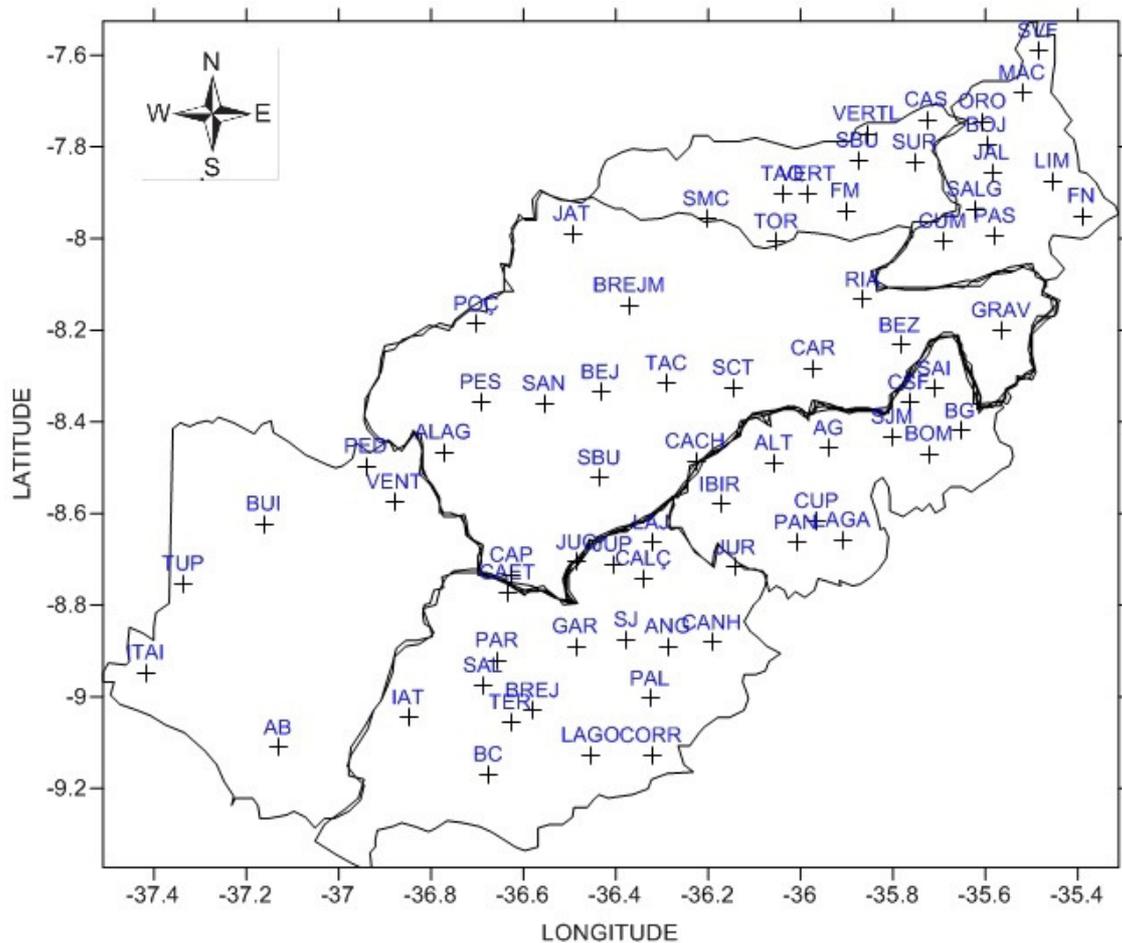


Figura 2. Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas no estudo, mostrando os 71 municípios do Agreste Meridional pernambucano na região do Nordeste Brasileiro, para a série de janeiro 1985 a maio de 2017.

Análise geoestatística

Inicialmente realizou-se análise preliminar dos dados com o objetivo de avaliar a variação da precipitação média anual com a estatística básica, onde foram calculados os parâmetros descritivos: média, desvio médio, variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

Para a análise da variabilidade espacial empregou-se métodos geoestatísticos, mas precisamente a Teoria das Variáveis Regionalizadas, que estuda a variabilidade de uma variável através de um modelo probabilístico associado à consideração da posição relativa das observações da variável no espaço e possíveis correlações dessas observações em função da distância de separação entre elas (Furtunato et al., 2010). Esta é um assunto que inclui uma grande variedade de técnicas de estimação, como Inverso do Quadrado da Distância (IDW), análise do vizinho mais próximo (Nearest neighbor), e krigagem linear e não linear. Neste estudo foi adotado o método da krigagem ordinária, por ser o mais comumente utilizado para identificar e mapear padrões espaciais da superfície terrestre e que permite identificar se existe auto correlação

espacial entre dados de pontos. Para isso, a função mais comumente utilizada é o semivariograma ou variograma, que identifica a estrutura de correlação de uma Variável Regionalizada (VR).

De acordo com Vieira (2000), esta função constitui a ferramenta mais adequada para quantificar a dependência espacial quando as observações são realizadas em duas dimensões e define também os parâmetros necessários para fazer interpolação entre os locais não amostrados para construção de mapas através da técnica de krigagem. De acordo com Kravchenko (1999), o semivariograma é usado para descrever o componente estrutural de variabilidade e a correlação espacial (ou medida de similaridade) entre valores amostrais (x_i) a uma distância de separação h , informando o quanto tais valores amostrados tornam-se diferentes em função de h . Por definição, a semivariância é a descrição matemática que representa a metade da esperança do quadrado da diferença entre os pares de observações (valores medidos: $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$), onde essa medida de similaridade é chamada de gamma (h) (Equação 1).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq.(1)}$$

Segundo Manzione & Zimback (2011), Yamamoto & Landim (2013) e Carvalho Júnior et al. (2014), para N pares de observações separadas por um vetor, a semivariância é estimada analiticamente pela Equação 2:

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. (2)}$$

onde $\bar{\gamma}(h)$ é o valor do semivariograma estimado para a distância de separação (h) entre as medidas; $Z(x_i)$ representa o valor da variável para o valor x_i não estimado (verdadeiro); $Z(x_i+h)$ representa o valor da mesma variável para alguma distância h (ou lag) em qualquer direção; h é a distancia de separação entre as medições e N(h) representa o número de pares experimentais de dados medidas de $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$, separada pelo vetor distância h. Esses dados são plotados em gráficos cartesiano x-y, tendo no eixo das abscissas a distância h, e no eixo das ordenadas $\bar{\gamma}(h)$. O objetivo da análise estrutural alcançado através do semivariograma é tentar extrair da aparente desorganização dos dados observados, uma noção de variabilidade dos mesmos, e também uma medida de correlação entre os valores tomados em dois pontos do espaço. Essa ferramenta, em termos práticos, permite estudar a dispersão natural das V.R., sendo o que mais nos interessa saber realmente seria o grau de continuidade da variável em estudo. Além disso, o cálculo da semivariância para diferentes combinações de distância entre pares de ponto, isto é, diferentes valores de h, permite a obtenção dos dados para confecção do gráfico chamado semivariograma, o qual constitui uma importante ferramenta para o alcance da dependência espacial da variável em estudo ou caracterizar a aleatoriedade do fenômeno (Gomes et al., 2010). As análises geoestatística foram realizadas utilizando o programa *Geostatistics for the Environmental Sciences - GS+® 7.0* (Gamma Design Software, 2004).

Método utilizado na identificação de tendências

Após o levantamento e organização dos dados, desenvolveram-se modelos matemáticos e estatísticos empregando o programa Microsoft Excel. Para identificar se há tendências significativas da precipitação pluviométrica e, ao mesmo tempo, verificar o comportamento e evolução da variabilidade espacial hidro climática da região em estudo, foram usados o teste

estatístico paramétrico por meio do método de regressão linear no intuito de indicar alterações de uma série por meio da significância do coeficiente angular. Para tanto, realizou-se ajuste da equação da reta de tendência aos dados da precipitação média anual filtrada pela técnica da suavização exponencial, visando evitar possíveis flutuações. Em seguida, o teste “t de Student” foi aplicado para verificar a significância dos coeficientes de regressão da reta obtidos pelo ajuste da série dos dados de precipitação (Hair et al., 2005).

Nesse procedimento, utilizou-se a equação da reta de tendência ($Y = a X + b$), onde Y é a precipitação média anual; “a” é o coeficiente angular da reta, que representa a variação da variável dependente em relação a variável independente; “b” é o intercepto da reta e, no caso, X é a variável independente, o número de anos de análise do estudo, (variando de 1 a 33). As estimativas dos coeficientes “a” e “b” foram obtidas pelo método dos mínimos quadrados pela suavização dos dados, utilizando o processo de suavização exponencial. Objetivando medir a relação linear entre as variáveis, foi calculado o coeficiente de correlação (r) entre elas. Assim, para cada município foi determinado seu coeficiente de correlação com o tempo, que é a variável independente. Esse coeficiente mostra uma medida numérica do grau de concordância entre as variáveis e se encontra compreendido entre +1 (correlação perfeita e positiva) e -1 (correlação perfeita e negativa). Ao efetuar esse procedimento, o valor da estatística do R-quadrado (R^2) é devolvido como uma medida da qualidade do ajuste efetuado. (Hair & Orlando, 2013).

Por meio do teste significativo do coeficiente angular da reta de ajuste pode ser utilizado para indicar alterações climáticas. O teste utilizado consiste em determinar o intervalo de confiança (IC) do coeficiente angular “a” da reta ajustada, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, sendo que se este intervalo não incluir o valor zero, a tendência é significativa (Hair et al., 2005). Também pode verificar alterações climáticas pelo sinal do coeficiente angular da reta, assim, a > 0 significa uma tendência crescente e a < 0 indica uma tendência decrescente. Para quantificar a influência da variável independente sobre a variável dependente no processo de regressão simples o grau de significância do coeficiente de correlação (r) foi determinado através do teste “t” Student ao nível de significância de 5% e 1%, estatisticamente significantes, ou seja, que apresentaram o valor de $p \leq 5\%$ e 1%. Na análise da significância dos coeficientes angular “a” e de correlação (r) de cada ano, foram considerados

dois níveis; de 5% e de 1%. Esses níveis indicam que a equação de regressão linear simples pode ser usada com probabilidade de confiabilidade superior a 95% e 99%, respectivamente, para indicar a variabilidade da precipitação estudada.

Resultados

O comportamento temporal dos valores médios da precipitação anual foi registrado para as seis mesorregiões do Agreste pernambucano no período de 33 anos (Figura 3). Verifica-se que 2004 foi o ano com maior precipitação média anual, com 683,98 mm, e que o ano com menor média anual foi 2012, com 155,75 mm. Para a série estudada observou-se uma oscilação da

precipitação média anual (PMA) de toda área entre 155,75 e 683,98 mm, com valor médio anual de 436,76 mm, apresentando uma grande variabilidade, com altos valores do desvio padrão (143,36 mm) e do coeficiente de variação (32,82%). Isto era esperado, uma vez que o estado apresenta microrregiões com climas bem distintos. Analisando a variabilidade, com base nos valores do coeficiente de variação, observou-se que os valores da pluviosidade anuais apresentaram variação média, com base na classificação de Warrick & Nielsen (1980 citado por Silva et al., 2011), como baixo ($CV < 12\%$), médio (12% a 60%) e alto ($> 60\%$).

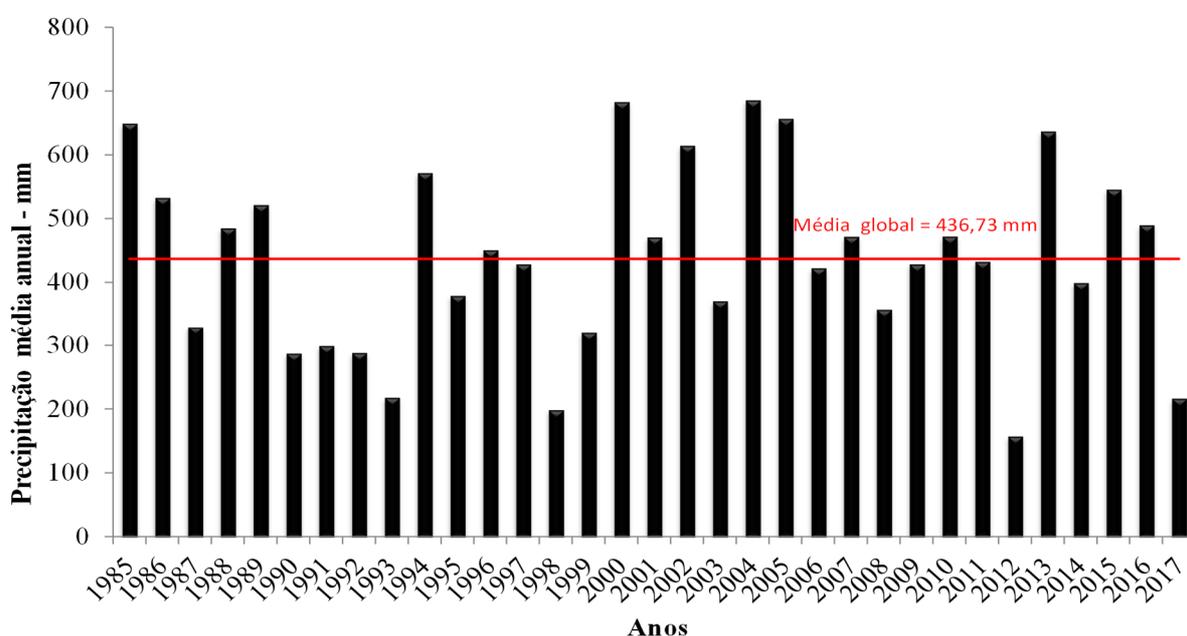


Figura 3. Médias anuais da precipitação (mm) para as seis microrregiões (e seus 71 municípios) do Agreste pernambucano na região do Nordeste do Brasileiro, para a série de janeiro de 1985 a maio de 2017.

A Figura 3 mostra alternância entre médias anuais de precipitação elevadas e reduzidas, o que pode em parte ser explicado pelas altas intensidades dos ventos alísios de nordeste associado à configuração típica do enfraquecimento dos alísios de sudeste junto a costa do NEB, impulsionando a ZCIT a atingir o setor norte do NEB, como também transportando umidade da Amazônia e do Oceano Atlântico (Alves et al., 2017). Essa característica é contrária à observada da baixa precipitação registrada no ano seguinte, onde foram observadas anomalias também de ventos maiores de sudeste, próximo à região norte do Brasil, com isso dificultando a penetração da ZCIT e umidade da Amazônia. Sousa & Silva (2013) mostraram que em alguns

anos, os eventos de secas do NEB estão associados a um dipolo meridional de ATSMs no Oceano Atlântico Tropical. Eles sugeriram que a dinâmica e termodinâmica associada a este dipolo afetam a posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que, por sua vez, influencia a precipitação no NEB. O modo de dipolo envolve variações de TSM em ambos os hemisférios, em escalas de tempo sazonal, interanual e decenal (Servain, 1991).

Quanto à ocorrência de chuva (Figura 4), no período de janeiro 2013 a maio de 2017 foram registrados os anos com mais dias chuvosos (total de 350 dias), enquanto entre 1990 e 1992 ocorreu o menor total de dias sem chuva (103 dias); outro período em destaque menor total de

dias sem chuvas foi entre 2008 a 2012 (137 dias). A média obtida para o período estudado foi de 52,55 dias com chuva por ano, e uma tendência de elevação do número de dias com chuva por ano, acima da média, foi observada para o período de 1993 a 2007 e de 2013 a maio de 2017. Por outro lado, o ano de 1992 foi o ano com maior número

de dias com estiagem climatológica, apresentando 40 dias nessas condições, enquanto 2013 foi o ano com menor número de dias (1 dia). Para o intervalo de tempo em estudo, a média anual foi de 18,45 dias sem precipitação, com tendência decrescente.

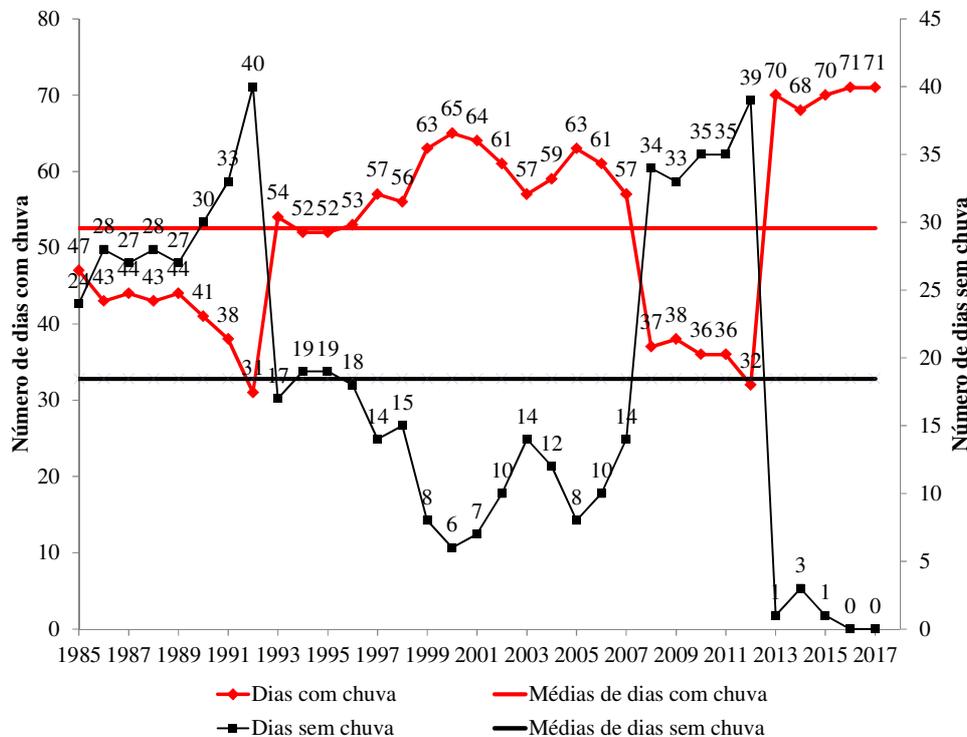


Figura 4. Total de dias de ocorrência de chuva para as seis microrregiões do Agreste de Pernambuco na região do Nordeste do Brasileiro, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

As médias anuais da precipitação para as seis microrregiões também foram analisados por quinquênio, com a finalidade de se verificar a presença de variações e de tendências diferenciadas em cada cinco anos, o que foi confirmado (Figura 5). Observa-se que uma alternância nos valores médias da precipitação, no 1º quinquênio a média é de 501,77 mm, enquanto nos dois quinquênios seguintes, 2º e 3º, houve uma redução do valor médio da precipitação, observaram-se tendências positivas e negativas.

Analisando-se a Figura 5, no 4º quinquênio, observam-se maiores valores de precipitação, enquanto nos três últimos quinquênios (5º, 6º e 7º) mostraram tendências de redução da precipitação, reforçando assim, evidências de tendências negativas. Pesquisadores como Hooper et al. (2005) afirmam que fatores antrópicos, tais como: desflorestamento e mau uso

dos ecossistemas, podem modificar o clima de uma região. Esses fatores alteram o clima regional contribuindo para as alterações no sistema global. Em áreas de ecossistemas do Semiárido brasileiro, as mudanças climáticas mais drásticas poderão ocorrer através da soma das ações produzidas pelos gases do efeito de estufa GEE com o mau uso e desatamentos dos ecossistemas locais (Santos & Brito, 2007; Santos et al., 2010).

Na Figura 6 é apresentado o mapa temático da distribuição espacial dos valores médios anuais da precipitação para as seis microrregiões do Agreste de pernambucano na região Nordeste no Brasil, no período de janeiro 1985 a maio de 2017, os quais foram produzidos a partir da análise geoestatística por meio do método de interpolação por krigagem ordinária utilizando o programa *Golden Surfer 7 for Windows*.

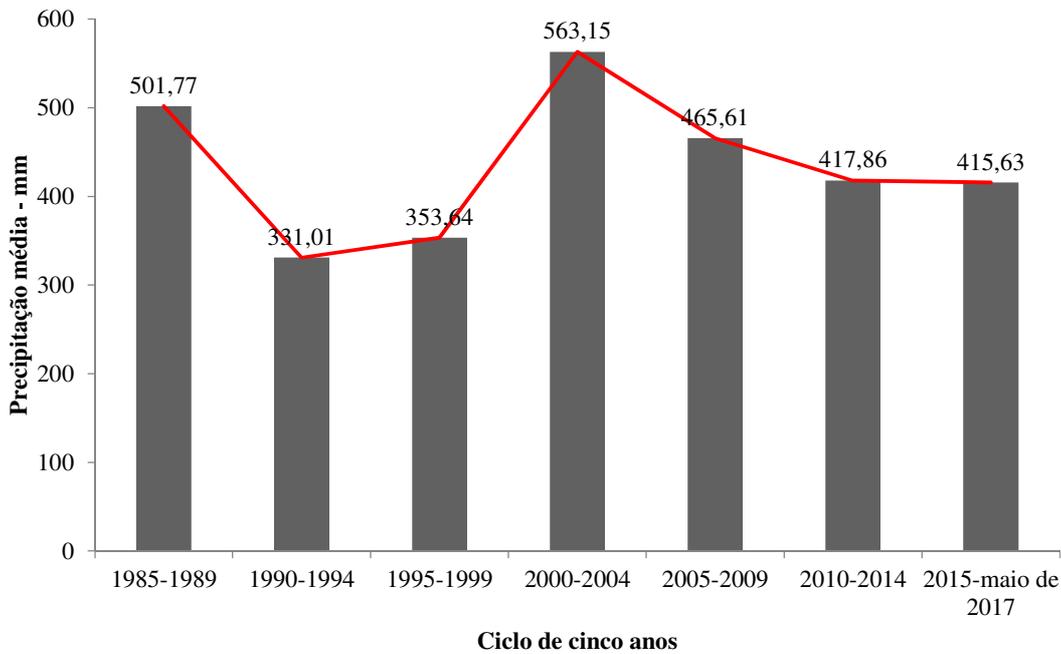


Figura 5. Médias anuais da precipitação em quinquênio para as seis microrregiões do Agreste de Pernambuco na região do Nordeste do brasileiro, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

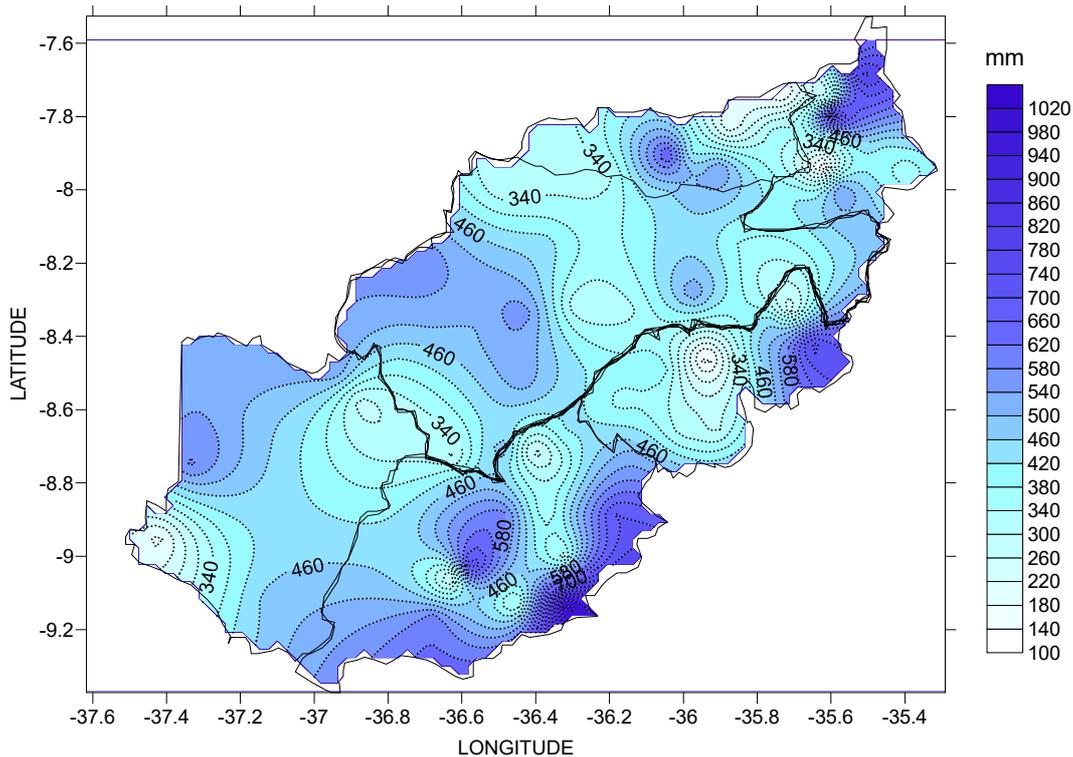


Figura 6. Mapa da distribuição espacial das isolinhas das médias anuais da precipitação para as seis microrregiões do Agreste de pernambucano na região do Nordeste do brasileiro, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

De acordo com os resultados da Figura 6, verificou-se a precipitação pluvial média anual apresentou dependência espacial, indicando que a sua distribuição na área em estudo não é aleatória, mas sofre variação em função da distância entre as amostras. Tal resultado indica que a precipitação segue um padrão de variação em

relação à distância entre postos pluviométricos. Silva & Rao (2002), Silva et al. (2011) comentam que a observância da variação na distribuição espacial da precipitação é informação essencial para o planejamento agrícola, bem como no estudo de zoneamento, previsão de safras, caracterização climatológica, entre outros fatores

influenciados por ela. Por outro lado, Silva et al. (2003a) descrevem que a importância da determinação da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial, face à sua incerteza e irregularidade ao longo do tempo. Nesse sentido, o estudo da variabilidade espacial de valores médios de séries históricas permite inferir sobre as mudanças e ciclo climáticos no Agreste pernambucano.

Analisando-se o mapa temático da precipitação pluvial média anual, verificou-se que as chuvas no sul (da Microrregião do Médio Capibaribe) e oeste (das Microrregiões do Vale do Ipanema e Vale do Ipojuca) variam de 500 a 1020 mm, sudeste (da Microrregião de Garanhuns) e leste (da Microrregião do Brejo Pernambucano), variam de 460 a 940 mm. Por sua vez, a região central da Microrregião do Vale do Ipojuca apresentam médias anuais de precipitação entre 180 a 500 mm (Figura 6).

A Figura 6 mostra que os maiores valores de precipitação ocorrem na região sul da Microrregião do Médio Capibaribe, com valores oscilando entre 900 a 1.020 mm. Também se observa que na parte central da área estudada forma um corredor que se estende do sudoeste até nordeste, onde apresentam os menores valores pluviométricos quando comparadas às outras microrregiões do Agreste pernambucano, isso se deve primeiramente, aos sistemas sinóticos atuantes nas regiões. Por sua vez, os valores mais elevados de precipitação (chuvas são abundantes e temporalmente bem distribuídas durante o ano) ocorrem junto ao litoral, na região contida na Zona da Mata pernambucana e da Metropolitana do Recife, enquanto que no Sertão do São Francisco pernambucano e Sertão pernambucano, devido ao clima semiárido, as chuvas são irregulares e escassas, é a região mais castigada pelas secas que atingem o semiárido nordestino, com precipitação média anual entre 500 e 700 milímetros (CONDEPE/FIDEM, 2017). Ao avançar para região sul da Zona do Agreste Pernambucano, há uma ligeira elevação dos valores da precipitação, talvez pelo efeito orográfico, visto que esta região está no Planalto do Borborema em uma altitude média entre 400 a 800 m, o que caracteriza também esta região

como as de menores dependências espacial, verificado pelos elevados valores do coeficiente de variação e do índice de irregularidade meteorológica (Figuras 5 e 6).

De acordo com Carvalho & Assad (2005), esse fenômeno é comum e deve-se aos ventos úmidos vindos do litoral que se depara com a cadeia de montanhas servindo de barreiras naturais, obrigando o ar a subir, que se arrefece e se satura de vapor d'água com a consequente formação de nuvens, originando a precipitação de relevo ou orográfica. A Figura 6 mostra que a precipitação média anual na área de estudo oscilou entre 100 a 1.020 mm, onde os menores valores encontram-se espalhados na área central da região do Agreste meridional. Climatologicamente, há uma marcante amplitude da precipitação na área de estudo. Como o coeficiente de variação é uma medida relativa de dispersão, útil para a comparação em termos relativos do grau de concentração em torno da média, conforme se verifica na Figura 7. Nesta figura, observa-se que as regiões nordeste, leste, e pequena região do centro-oeste sudoeste possui uma dispersão entre 90 a 225%. Nas regiões Central e Noroeste, a variação é de 30% a 70%. Desta forma, pode-se notar que a variabilidade da precipitação pluvial no Agreste pernambucano, em relação à média, oscilou entre 30% e 220%, em termos de valores climatológicos.

A Figura 8 mostra o mapa das isolinhas dos valores do índice de irregularidade Meteorológica (IIM) no período analisado, essa medida é importante para detectar a variabilidade dentro da área de estudo. Em uma simples análise da Figura 8 é possível identificar que a variação dos valores de IIM na área de estudo oscilou entre 10 e 1.270. Sendo que os maiores valores encontram-se no Sul e parte central da Microrregião de Garanhuns e em grande parte do Noroeste no Vale do Ipojuca. Climatologicamente, há uma marcante variabilidade espacial do IIM na área de estudo. Esta variabilidade pode ser decorrente da preponderância dos processos irregulares sobre as regularidades meteorológicas, identificado pelo alto valor do parâmetro IIM, cujo valor médio anual foi de 122,80.

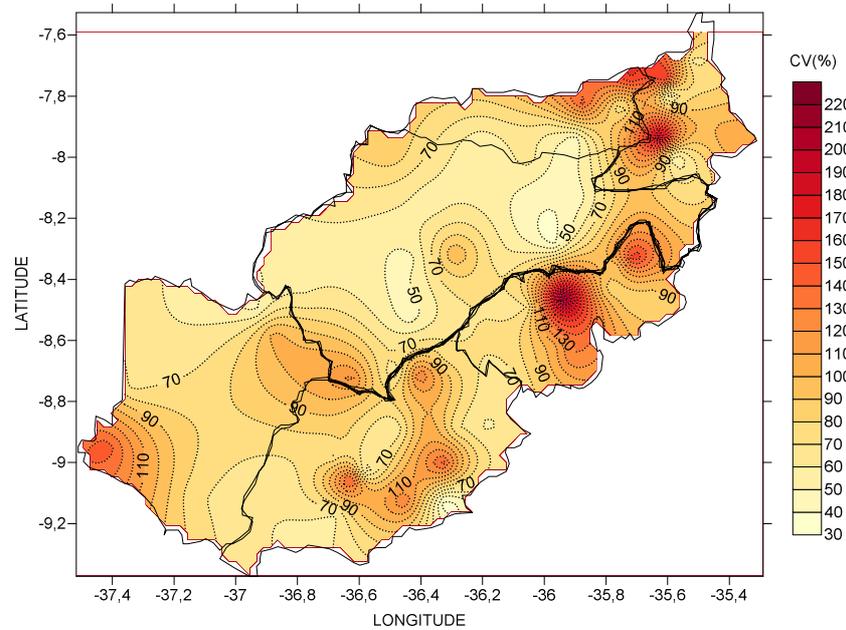


Figura 7. Mapa da distribuição espacial das isolinhas dos valores do coeficiente de variação (CV) das seis microrregiões do Agreste de Pernambuco na região do Nordeste do Brasileiro, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

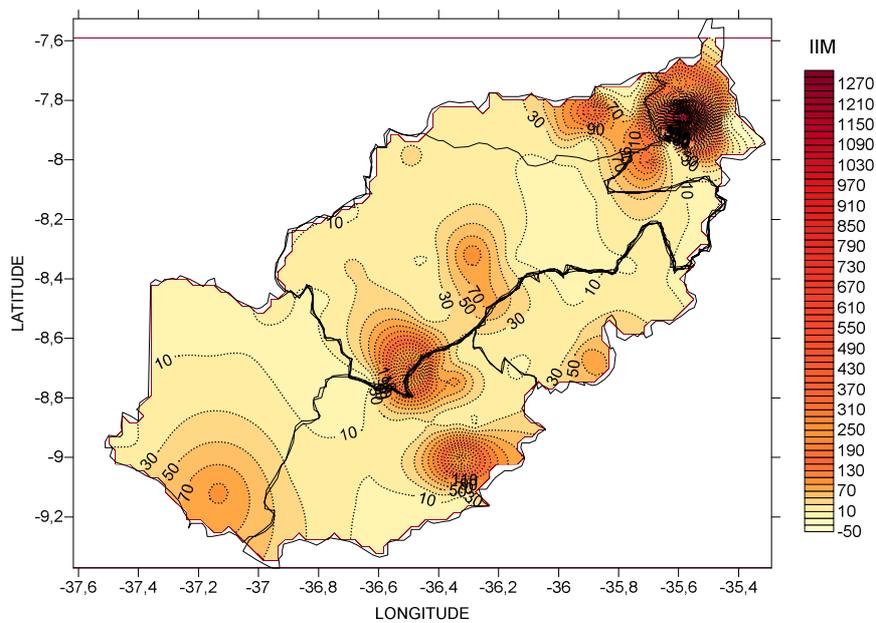


Figura 8. Mapa da distribuição espacial das isolinhas dos valores do índice de irregularidade meteorológica (IIM) das seis microrregiões do Agreste de Pernambuco na região Nordeste no Brasil, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

Segundo Scheffer et. al. (1994), o IIM mede a irregularidade da chuva em uma determinada área, assim como possibilita determinar a variação de um elemento meteorológico em relação ao seu valor climatológico, é obtido pela relação razão entre o valor máximo (Pmax) e o valor mínimo (Pmin) da precipitação total anual, o qual, se resultar em um valor superior a 3, pode ser considerado alto.

Conforme Figura 8, observa-se que o mapa dos valores do IIM do período de estudo,

têm as menores oscilações em grande parte da área com variação entre 10 a 30, na região Sudoeste do vale do Ipanema e Central do vale do Ipojuca atingindo valores entre 30 a 90. Também se observa uma semelhança no comportamento da variação espacial entres os valores do CV (%) da Figura 5 e o IIM da Figura 7.

Com o intuito de averiguar a significância estatística da tendência para os valores da precipitação pluvial total anual (Figura 9) foi aplicado o teste t-Student aos coeficientes

angulares “a” da linha de tendência ajustada à série estimada de precipitações médias anuais, para cada estação pluviométrica. Neste sentido, para o primeiro procedimento adotado foi à realização dos cálculos das suavizações dos dados

para posterior cálculo da regressão linear visando o ajuste do comportamento de cada série histórica. Isso possibilitou fazer um pré-julgamento da eventual ocorrência de tendência da mesma.

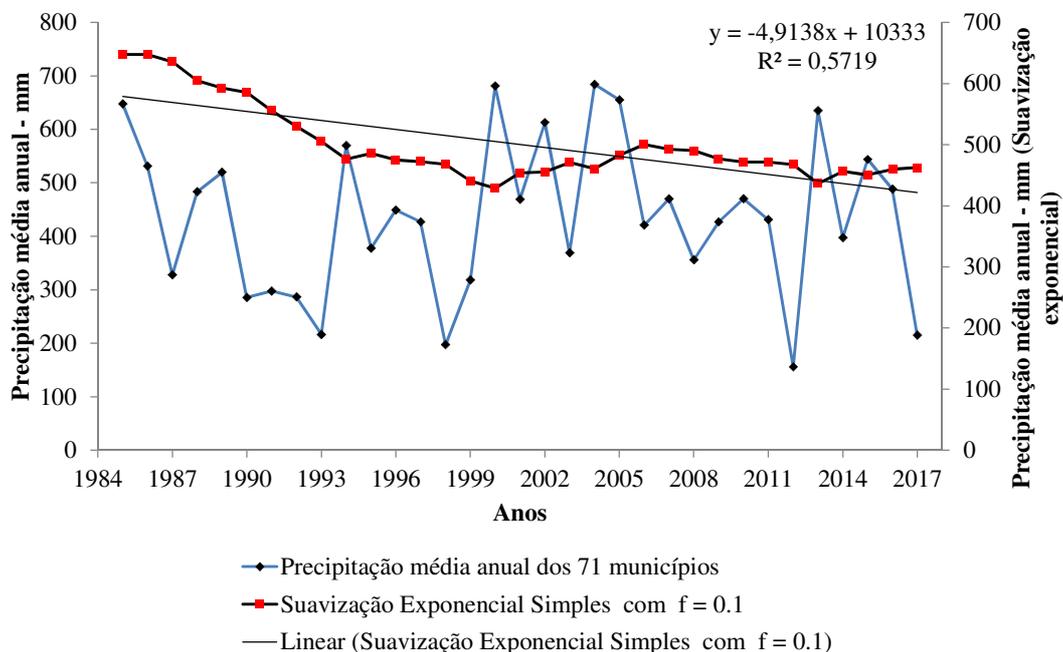


Figura 9. Análise de regressão linear pela suavização dos dados da precipitação pluvial média anual (mm) das seis microrregiões do Agreste de pernambucano na região Nordeste no Brasil, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

Em relação à qualidade dos ajustes realizados por meio da regressão linear, vale lembrar que quanto mais próximo da unidade for o valor do índice R^2 , menor é a dispersão dos dados tratados e, conseqüentemente, melhor o ajuste realizado com a função linear nos pontos trabalhados. Em uma simples análise da Figura 9 é possível identificar que a amostra das séries históricas trabalhada apresenta um bom ajuste com valor de 0,5719. A análise estatística das linhas de tendência mostrou que todos os coeficientes apresentaram significância ao nível de 1 e 5% de probabilidade. A característica das séries apresentadas indica uma alteração no comportamento da média anual ao longo do tempo. Nota-se, uma redução das precipitações nas seis microrregiões do Agreste de pernambucano na região Nordeste no Brasil, para a série histórica estudada, com tendências negativas significativas ao nível de 1% de probabilidade (Figura 9).

A Figura 9 mostra a equação linear ajustada para 33 anos da precipitação pluvial média anual para as seis microrregiões do Agreste Pernambucano (formadas por 71 municípios),

revela ao nível de 1% de significância o coeficiente angular negativo (-4,913), demonstrando uma tendência de um decréscimo da precipitação média anual da ordem de 4,913 mm para cada ano, ou da ordem de 4,913 $\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$. Nos últimos 33 anos ocorreu uma redução de 162,155 mm nas chuvas médias anuais da região do Agreste Meridional Pernambucano, indicando que houve tendência negativa significativa a 1% de probabilidade. Esse valor é consistente ($4,913 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$) quando comparados com estudos realizados pelo IPCC, que constatou redução das chuvas na região Nordeste ao longo das décadas, por meio de modelos que simulam os efeitos das mudanças climáticas globais sobre climas regionais. Os modelos do IPCC apontam redução de até 20%, por década, do volume anual de chuvas na região. Para o Ceará foi calculada, uma redução de 6% por década (Lacerda, 2010). Pelo método da análise de regressão, Nogueira et al. (2013) observaram um aumento da precipitação total anual, da ordem de $10,4 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, usando a série histórica de 1977 a 2009 de precipitação na Cidade de Chapadinha/MA. De acordo Wanderley

et al. (2013), a redução da precipitação para este período climatológico também foi observada por Silva (2010) em seu estudo realizado no Nordeste. Dentre as 14 estações estudadas para o Nordeste do Brasil, 11 sinalizaram tendência para o decréscimo da precipitação até a década de 90. Segundo o mesmo autor, uma estação localizada no Recife demonstrou tendência estaticamente significativa a 1%, com decréscimo de 28,8 mm.década⁻¹.

A tendência a partir da análise de regressão foi verificada pelo teste de significância dos valores do coeficiente angular da reta ajustada

(reta de tendência) com um nível significativo de 1% de probabilidade para as seis microrregiões (e dos 71 municípios) do Agreste Pernambucano, usando o método da suavização para a série histórica estudada (Figura 10). Essa figura mostra o comportamento da distribuição espacial da tendência da média da precipitação anual, representados pelos valores do coeficiente angular obtidos da equação linear ajustada aos dados de precipitação, sendo adotada a seguinte convenção: (+) para aumento e (-) diminuição da tendência da chuva na região.

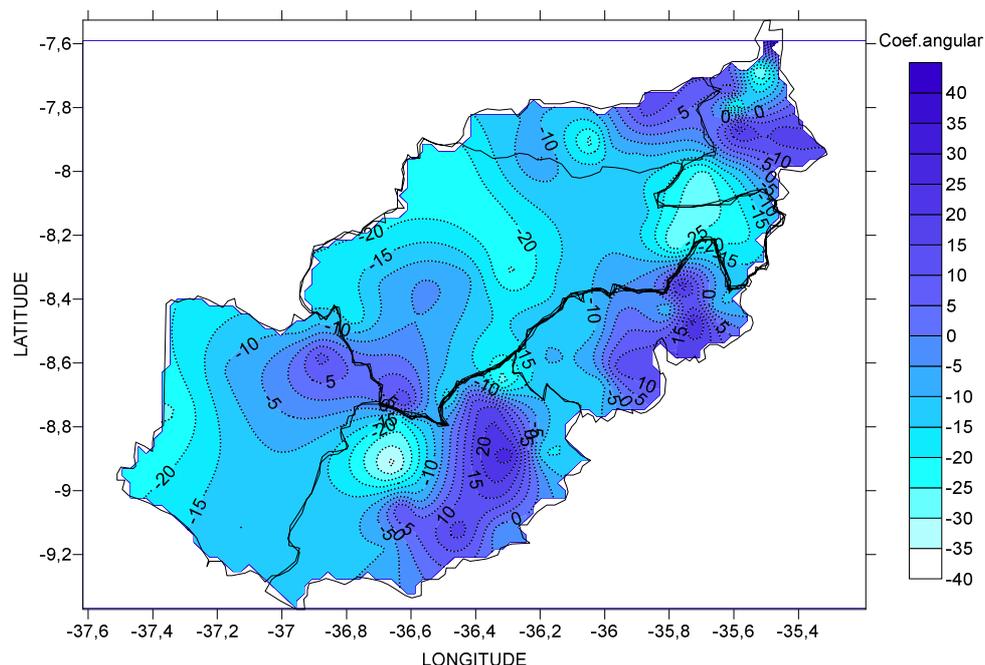


Figura 10. Distribuição espacial dos valores dos coeficientes do angulares da reta que identificar as tendências da precipitação média anual, para as microrregiões do Agreste de Pernambucano na região do Nordeste do Brasileiro, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

É possível observar uma tendência negativa (diminuição da precipitação) bastante expressiva e significativa ($p \leq 1\%$) sobre grande parte das microrregiões (dos 71 municípios), principalmente sobre as regiões do oeste do vale do Ipanema (destacando os municípios: Itaíba, Águas Belas e Tupanatinga), toda Microrregião Vale do Ipojuca (Poção, Brejo da Madre de Deus, Belo Jardim e Tacaimbó) e parte das regiões oeste e noroeste da Microrregião de Garanhuns (Caetés, Saloá, Paranatama, Iati e Garanhuns), representados por valores negativos dos coeficientes angulares (Figura 10). Também são identificadas tendências positivas (aumento da precipitação) significativas, em praticamente toda a Microrregião do Alto Capibaribe (destacando os municípios: Limeira e Feira nova), grande parte

da Microrregião do Brejo (São Joaquim do Monte, Bonito, Cupira, Lagoa dos Gatos e Panelas), leste e sudoeste da Microrregião de Garanhuns (São João, Angelim, Canhotinho, Palmerina, Lagoa do ouro e Correntes) e uma pequena área da região sul entre os limites do Vale do Ipanema e Vale do Ipojuca (Capoeiras e Caetés) representados por valores negativos dos coeficientes angulares no mapa (sinal negativo (-), indica uma tendência decrescente e sinal positivo (+), significa uma tendência crescente) (Figura 10).

É merecedor de destaque o Agreste Pernambucano, a parte leste e sudoeste da Microrregião de Garanhuns e o noroeste e central da Microrregião do Brejo Pernambucano e do Médio Capibaribe (Figura 10). Nessas microrregiões, os valores das tendências

(coeficiente angular) são relativamente altos, superiores a 27 mm.ano^{-1} , o que pode acarretar um aumento de precipitação superior a 8.910 mm nos últimos 33 anos em algumas localidades, principalmente, em São Vicente Férrer, localizada no Médio Capibaribe que apresentou a maior tendência de aumento da precipitação pluvial com valor de $36,47 \text{ mm.ano}^{-1}$, seguido do município Bonito com valor de 30 mm/ano e Angelim com $27, 40 \text{ mm.ano}^{-1}$, ambas as cidades localizadas na Microrregião de Garanhuns, que significa que nos últimos 33 anos ocorreram um aumento de $1.203,51 \text{ mm}$, 990 mm e $904,2 \text{ mm}$ nas chuvas médias anual das respectivas cidades.

Observa-se que dentre as seis microrregiões analisadas pelas análises de regressão linear, com exceção do da Microrregião do Vale do Ipojuca, em todas as outras microrregiões foram detectados pequeno aumento nos valores de precipitações pluviométricas, porém com certas irregularidades (Figura 10). Isso ocorreu devido ao fato que os coeficientes angulares das retas ajustada aos dados de precipitação pelo método suavizações

exponencial, resultaram serem positivos (coeficiente angular, sinal +), com exceção de alguns municípios (coeficiente angular, sinal -), todas as outras localidades acusaram decréscimo nos valores de precipitação dessa variável climática.

Na Figura 11 são apresentados os coeficientes angulares “a” da linha de tendência ajustada à série estimada de precipitações médias anuais, para cada estação pluviométrica. Os coeficientes foram negativos em 46 das 71 (64,78%) dos postos pluviométricos espalhados na área de estudo. Confirmado assim, que na maioria das regiões estudadas as médias anuais de precipitação apresentaram tendência de redução. O menor valor foi obtido para o município de Paranatama, localizado na região noroeste da Microrregião de Garanhuns ($a = -37,34$) e o maior no município de São Vicente Férrer, localizado na Microrregião Médio Capibaribe, região do litoral ($a = 36,47$). Estes valores representam uma redução de $37,34 \text{ mm}$ e um aumento de $36,47 \text{ mm}$ por ano na precipitação média anual, respectivamente.

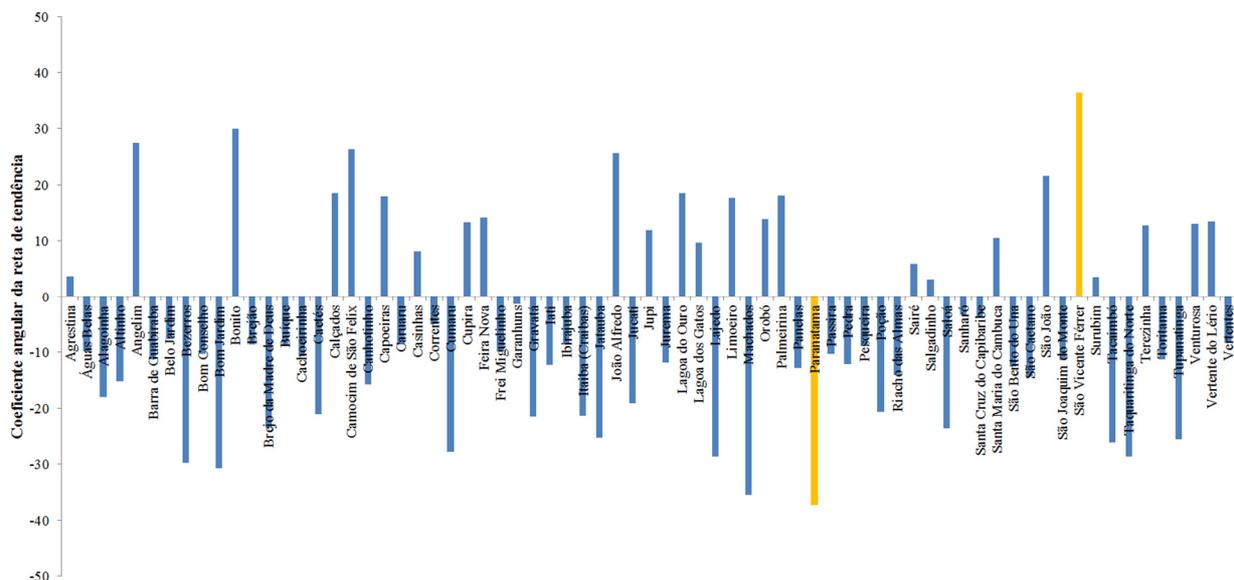


Figura 11. Coeficiente angular “a” da linha de tendência das precipitações médias anuais, para as microrregiões do Agreste de Pernambucano na região do Nordeste do Brasileiro, para a série de 1985 a 20 de maio de 2017.

Discussão

O Brasil, de uma maneira geral, apresenta uma boa disponibilidade hídrica. Porém, por suas dimensões continentais e diversidade climática, o país apresenta situações bastante distintas quanto à disponibilidade hídrica, sendo afetado tanto pela escassez hídrica, quanto pela degradação dos recursos causada pela poluição de origem

doméstica e industrial (Ana, 2013; Salviano et al., 2016).

A região Nordeste, onde predomina o clima semiárido, é a região brasileira que apresenta a menor disponibilidade hídrica (Salviano et al., 2016). O semiárido nordestino apresenta grande variabilidade espacial e temporal das chuvas, com precipitações irregulares concentradas em poucos meses. Essa região

também é caracterizada com alto potencial para evaporação da água, em função da grande disponibilidade de energia solar, das temperaturas elevadas e da baixa umidade do ar (Assis et al., 2015).

Estudos realizados nessa região mostram resultados distintos em relação à tendência da precipitação. No presente estudo foram encontradas tendências decrescentes nos valores das precipitações média anual nas seis microrregiões do Agreste de pernambucano na região Nordeste no Brasil, com valores médios em torno de 436.76 mm, Observa-se uma grande variação espacial dos dados. Molion & Bernardo (2002) observaram que as variabilidades na ocorrência de chuvas no Nordeste Brasileiro (NEB), e em particular no estado de Pernambuco são devido à influência de diversos sistemas meteorológicos de Meso e Microescala, Escalas sazonais e Intra-sazonais, como por exemplo, os sistemas frontais e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POA), complexos convectivos, as brisas (terrestres e marítimas) na mesorregião da Zona da Mata e Litoral.

As secas severas no NEB, objeto de inúmeros estudos por seus impactos sociais e econômicos, têm sido relacionadas à ocorrência do El Niño. Entretanto, a relação entre El Niño e as secas no NEB não é unívoca (Kane, 1997; Sousa & Silva, 2013). Segundo Kane (1997 citado por Freitas, 2005) dos 46 El Niño (fortes e moderados) do período de 1849-1992, somente 21 (45%) estiveram associados a secas severas. Aragão (1998 citado por Oliveira et al., 2006) comenta que as chuvas foram reduzidas em torno de 70% em 1998 no estado de Pernambuco, ocasionando grandes problemas para a população pela falta d'água para o abastecimento humano e animal, isto se deve ao fato do fenômeno El Niño ter iniciado em 1997, intensificando-se em 1998, sendo considerado um dos episódios mais intensos do século.

Segundo Wanderley, et al. (2013), a distribuição das chuvas no Nordeste sofre influência da interação dos oceanos Pacífico e Atlântico, como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Dipolo do Atlântico e El Niño/Oscilação Sul (ENOS). Destacam-se, também, outros sistemas indutores de chuva na região, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Bandas de nebulosidade associadas a Frentes Frias, Perturbações Ondulatórias no campo dos Alísios (POA's), Linhas de Instabilidade (LI), Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN), Onda de Leste (OL) e os Complexos Convectivos de Meso escala (CCM). A resposta da

modificação de um desses sistemas na distribuição da precipitação, é observada nos resultados encontrados por Brito et al. (2011) que verificaram um aumento de três vezes na frequência das trovoadas no estado de Alagoas após o ano de 1998, em decorrência do início da fase fria da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Essas trovoadas estão associadas a anomalias da temperatura da superfície do mar quando negativa (positiva) e, associadas ao evento La Niña (El Niño) houve um aumento (diminuição) de 80% (20%) dos dias com trovoada, em anos de neutralidade o comportamento é análogo ao de La Niña. Nos anos de 2002 e 2005, como exemplo, foram observados 16 e 17 eventos de trovoadas em Alagoas, respectivamente, enquanto no ano de 1996 foram observados apenas seis casos.

A análise do comportamento das chuvas se torna importante uma vez que, possibilita detectar tendências ou alterações no clima, em escalas locais, regionais, estaduais, nacionais e continentais (Pereira et al., 2017). O estudo da tendência da precipitação e do índice de irregularidade Meteorológica (IIM) pode ser utilizado como uma ferramenta para auxiliar o acompanhamento climático e a variabilidade pluviométrica de uma determinada área, podendo auxiliar no gerenciamento agrícola e nos recursos hídricos e, então empreender ações de adaptação e mitigação. Araújo et al. (2013) afirmam que, devido à irregularidade da precipitação, é necessário realizar um monitoramento através de índices climáticos, uma vez que, através deles, pode-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características dos períodos de seca ou chuvosos, com informações anuais ou mensais, com as quais se pode conhecer a climatologia de uma determinada região e verificar os impactos que o clima causa sobre a distribuição da precipitação pluviométrica.

A análise espacial de tendências permite observar as mudanças no comportamento e determinar em quais regiões uma determinada variável vem sofrendo mudanças significativas ao longo do tempo. Mudanças que podem estar relacionadas a diversos fatores, de origem antrópica como desmatamentos e urbanização desenfreada ou não antrópica como a intensificação da atividade solar e fenômenos naturais como o El Niño e La Niña (Marengo, 2010). A identificação dos locais que estão sofrendo alguma tendência meteorológica possibilita estimar os possíveis danos destas mudanças nas atividades socioeconômicas, auxiliando os tomadores de decisão a respeito do risco caso nenhuma ação seja tomada.

O resultado do teste estatístico paramétrico por meio do método de regressão linear aplicado para identificar mudanças da precipitação pluvial média anual para as seis microrregiões do Agreste Pernambucano na série temporal de 33 anos é apresentado na Figura 9. A característica das séries apresentadas indica uma alteração no comportamento da média anual da precipitação ao longo do tempo. Nota-se, uma diminuição nos valores das precipitações média anual nas seis microrregiões do Agreste de pernambucano na região Nordeste no Brasil, com tendências significativas ao nível de 99%, demonstrando uma tendência de um decréscimo da precipitação média anual. Essa constatação indica que esta região é das mais críticas com referência à oferta de recursos hídricos, em função da variabilidade das suas precipitações. Podendo causar impactos em diversos segmentos socioeconômicos do Brasil, como a agricultura e pecuária geração de energia, abastecimento de água e impactos significantes na fauna e flora (Marengo, 2010; PBMC, 2013).

Resultados similares com o decréscimo na precipitação no Estado do Ceará, situado na região Nordeste do Brasil, também foram encontrados por Moncunill (2006), que observou redução da chuva total anual da ordem de 6% por década no período entre 1961 e 2003 para quase todo Estado do Ceará, com exceção em regiões onde a precipitação é dependente da topografia, e por Salati et al. (2007), os quais observaram uma diminuição de 11,6% na precipitação entre os anos de 1961 a 2004.

O fato da precipitação pluvial média anual para as seis microrregiões do Agreste Pernambucano, apresentarem tendências negativas significativas em toda a área em estudo indica que mudanças importantes estão ocorrendo, com relação às chuvas no Nordeste Brasileiro. Estudos mais aprofundados são necessários para determinar as causas destas mudanças, porém, a continuidade dessas tendências poderá resultar em impactos na agricultura, acarretando ainda mais impactos nos ecossistemas e no ciclo hidrológico, com alteração nos padrões de chuva e temperatura, além da intensificação de eventos climáticos extremos e, conseqüentemente, para a população.

Conclusão

Tomando como base as tendências e a variabilidade espacial observadas nas estações em toda área estudada, pode ser concluído que ocorreu um decréscimo da precipitação pluvial média anual nas seis microrregiões (e seus 71 municípios) do Agreste pernambucano na região

Nordeste no Brasil e que os anos nessas regiões estão menos chuvosos.

A metodologia utilizada para o estudo da precipitação pluvial média anual nas seis microrregiões do Agreste pernambucano permitiu a obtenção de resultados satisfatórios na avaliação da sua variabilidade espacial, sendo capaz de determinar e expressar a continuidade espacial das chuvas. A precipitação média anual, na área de estudo apresentou elevada dependência espacial para a série estudada, com menor variabilidade na região norte, onde os índices de precipitação são reduzidos.

A variabilidade espacial dos valores médio da precipitação pluvial anual mostrou que a intensidade das chuvas é maior no oeste da Microrregião do vale do Ipojuca e no nordeste Alto Capibaribe, a leste da Microrregião do Brejo, e grande parte da Microrregião de Garanhuns. Em toda parte central do Vale do Ipanema as chuvas são irregulares e escassas, devido ao clima semiárido, é a região mais castigada pelas secas que atingem o semiárido nordestino.

As regiões centrais de grande parte do Agreste pernambucano com exceção da Microrregião de Garanhuns, com baixas altitudes, apresentam as menores precipitações, caracterizando-se como uma região com reduzidos índices pluviométricos e problemas de déficits hídricos naturais, sendo necessária, para o desenvolvimento da agricultura, a suplementação através da irrigação.

Agradecimentos

Agradecemos à FACEPE pelo financiamento de pesquisa, através do programa PIBIC, que concedeu bolsa de Iniciação Científica.

Referências

ALMEIDA, T. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; OLIVEIRA, O. F. 2004. Análise da Variabilidade Espacial da Precipitação na Bacia do Rio Ipanema, Pernambuco In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luís. Anais... São Luís: ABRH, CD-ROM, pp. 1-5.

ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M. DA; SOBRAL, S. S.; BARBOSA, B.; SANTOS, A. C. S.; LIRA, M. A. T. 2017. Eventos Extremos Diários de Chuva no Nordeste do Brasil e Características Atmosféricas. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 2, p. 227-233.

- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). 2013. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013 - Brasília: ANA. 432p.
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. 2013. Análise Climática da Bacia do rio Paraíba – índice de Anomalia de Chuva (IAC). Revista de Engenharia Ambiental, v. 6, n. 3, p. 508-523.
- ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. M. 2015. Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 2, p. 188-202.
- BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. 2012. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 4, p. 391-398.
- BACK, A. J. 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Pesq. Agropec. Bras., v. 36, n. 5, p. 717-726.
- BRITO, B. M.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N.; MOLION, L. C. B.; TENÓRIO, R. S.; RODRIGUES, R. N.; SILVA, B. F. P. 2011. Análise do comportamento das trovoadas no estado de Alagoas, previsão à curto prazo. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 26, p. 243-256.
- CARVALHO JÚNIOR, W. et al. 2014. Evaluation of statistical and geostatistical models of digital soil properties mapping in tropical mountain regions. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 3, p. 706-717.
- CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. 2005. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: Comparação de métodos de interpolação. Engenharia Agrícola, v. 25, n. 2, p. 377-384.
- CNM. 2010. Confederação Nacional de Municípios. Disponível em: http://www.nordeste.cnm.org.br/img/download/estudoCNM/Estudo_Pernambuco. Acesso em: 05/06/2017.
- CONDEPE/FIDEM. 2017. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Disponível em: <http://www.condepefidem.pe.gov.br/web/condepe-fidem/pernambuco-em-mapas>. Acesso em: 04/06/2017.
- FREITAS, M. A. S. 2005. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. Revista Tecnologia, Suplem., p. 84-95.
- FURTUNATO, O. M.; SILVA, D. R.; CAMPOS, J. M.; SANTOS, S. L.; SANTOS, S. C.; VIEIRA, M. S. B.; HORA, L. S.; CONCEIÇÃO, S. S. S. 2010. Análise da variabilidade espacial da precipitação na bacia do médio São Francisco: estudo para a sub-bacia 46. In: X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Anais. Fortaleza: ABRH. CD-ROM.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. 2004. GS+: *Geostatistics for the Environmental Sciences*. Gamma Design Software. Plainwell, Michigan, USA. Disponível em: <http://www.gammadesign.com/>. Acesso em: 2018.
- GOLDEN SURFER. 2004. Surfer version 8.00. Surface mapping system. Colorado: Golden Software, Inc, 1993-2002. 1 CD-ROM.
- GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; FARIA, M. A.; OLIVEIRA, P. M. 2010. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 3, p. 435-443.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. 2005. Análise multivariada de dados. 5ª ed. Porto Alegre, Bookman. 593p.
- HOOPER, D. U.; CHAPIN, F. S.; EWEL, J. J.; HECTOR, E.; INCHAUSTI, P.; LAVOREL, S.; LAWTON, J. H.; LODGE, D. M. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. Ecological Monographs, v. 75, p. 3-35.
- HUERTAS, I. E.; ROUCO, M.; LÓPEZ-RODAS, V.; COSTAS, E. 2012. Warming will affect phytoplankton differently: evidence through a mechanistic approach. Proc. R. Soc. B., v. 278, p. 3534-3543.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat>. Acesso em: 05/06/2017.

- KANE, R. P. 1997. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities. *International Journal of Climatology*, v. 17, p. 655-665.
- KRAVCHENKO, A.; BULLOCK, D. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy Journal*, v. 91, n. 3, p. 393-400.
- LACERDA, F. F.; DIAS, H.; ASSAD, E. D.; SANTOS, A. de. A. 2009. Detecção de Sinais de Mudanças Climáticas para Algumas Localidades do Sertão do Pajeú-PE. In: XVI CBA - Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte. *Mudanças Climáticas, Recursos Hídricos e Energia para uma Agricultura Sustentável*, CD-ROM.
- LACERDA, L. D.; GODOY, M. D.; MAIA, L. P. 2010. Mudanças Climáticas Globais: Caçando Indicadores no Nordeste Brasileiro. *Ciência Hoje*, v. 46, n. 272, p. 32-37.
- MANZIONE, R. L.; ZIMBACK, C. R. L. 2011. Análise Espacial Multivariada Aplicada na Avaliação da Fertilidade do Solo. *Engenharia na Agricultura*, v. 19, n. 3, p. 227- 235.
- MARENGO, J. A. 2010. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil. FBDS (org) *Mudanças Climáticas Eventos Extremos no Brasil*. pp. 05-19.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, p. 1-10.
- MONCUNILL, D. F. 2006. The rainfall trend over Ceará and its implications. *Proceeding of 8 ICSHMO, Foz Iguaçu, Brazil-INPE*. pp. 315-323.
- NÓBREGA, J. N. 2012. Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões do estado da Paraíba e suas relações com a tsm dos oceanos atlântico e pacífico. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recurso Naturais/Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Campina Grande, PB, Brasil. 123p.
- NOGUEIRA, V. F. B.; NOGUEIRA, V. S.; CORREIA, SOARES, E. S.; ALVES, M. F. A. 2013. Caracterização estatística de tendências em séries de dados climáticos de Chapadinha-MA. I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro. Campina Grande-PB. In: I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, Campina Grande-PB, pp.1-5.
- OLIVEIRA, F. M. DE; LIRA, V. M. DE; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. DE. 2006. Variabilidade temporal da precipitação em municípios localizados em diferentes sub-regiões do estado de Pernambuco. *Caminhos de Geografia*, v. 6, n. 19, p. 175-184.
- PBMC. 2013. Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo do GT2. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 28p.
- PENEREIRO, J. C.; ORLANDO, D. V. 2013. Análises de tendência em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba entre os Estados do Maranhão e Piauí/Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 7, n. 2, p. 5-21.
- PEREIRA, M. L. T.; SOARES, M. P. A.; SILVA, E. A.; MONTENEGRO, A. A. DE A.; SOUZA, W. M. DE. 2017. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 2, n. 4, p. 394-402.
- PINHEIRO, D.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. 2013. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 3, p. 281-290.
- QIAN, W.; LIN, X. 2005. Regional trends in recent precipitation indices in China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 90, p. 193-207.
- RAMOS, A. M. 2010. Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife. 160p.
- SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N. 2007. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Relatório 4. *Tendências de Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para o Cenários Climáticos para o Século XXI*. 182p.

- SALGUEIRO, J. H. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. 2004. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões de precipitação na bacia do rio Ipojuca em Pernambuco. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH, São Luis, 2004, CD-ROM, pp. 25-30.
- SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. 2016. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, 64-73.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. 2007 Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, p. 303-312.
- SANTOS, D. N. DOS; SILVA, V. DE P. R. DA; SOUSA, F. DE A. S.; SILVA, R. A. 2010. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 14, n. 5, p. 492-500.
- SERVAIN, J. 1991. Simple climate indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. Journal of Geophysical Research, v. 96, n. 8, p. 15137-15146.
- SCHEFFER, S.; DOHERTY, F. R.; FERREIRA, N. S.; FILHO, P. F. A. 1994. Análise da Rede Pluviométrica do Estado de Pernambuco. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH, 310, Fortaleza-CE, 302p.
- SILVA, F. D. DOS S.; FERREIRA, D. B.; SARMAHO, G. F.; SANTOS, L. S. F. C. DOS; FORTES, L. T. G.; PARENTE, E. G. P. 2010. Tendência de alterações climáticas da precipitação observadas no Brasil de 1961 a 2008 utilizando dados gradeados. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais... Belém, CD-ROM.
- SILVA, F. DE A. S.; RAO, T. V. R. 2002. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 3, p. 453-459.
- SILVA, G. B. DA; SOUZA, W. M. DE; AZEVEDO, P. V. DE. 2012. Cenários de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia através de Estudos Numéricos e Estatísticos. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 5, p. 1019-1034.
- SILVA, J. W.; GUIMARAES, E. C.; TAVARES, M. 2003a. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. Ciência e Agrotecnologia, v. 27, n. 3, p. 665-674.
- SILVA, R. O. B. 2013. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife. 95p.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; BOTTEGA, E. L. 2011. Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica para o Estado do Espírito Santo utilizando métodos multivariados. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 6, n. 4, p. 703-790.
- SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; NASCIMENTO, M. G. 2003b. Análises da precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 7, n. 2, p. 269-274.
- SOUSA, A. B.; SILVA, D. F. 2013. Causas climáticas da variabilidade pluviométrica e tendências climáticas na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (CE). Caminhos de Geografia, v. 14, n. 46, p. 101-117.
- VIEIRA, S. R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54.
- WANDERLEY, H. S.; SEDIYAMA, G. C.; JUSTINO, F. B.; ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C. 2013. Variabilidade da precipitação no Sertão do São Francisco, estado de Alagoas. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 17, n. 7, p. 790-795.
- 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, pp. 319-44.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. 2013. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo-SP: Editora Oficina de Textos. 215p.