



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Discriminação de cenários pluviométricos do estado da Paraíba utilizando distribuição Gama Incompleta e Teste Kolmogorov-Smirnov

Paulo Roberto Megna Francisco², Valneli da Silva Mello²; Maria Marle Bandeira³;
Fabrício Lopes de Macedo⁴; Djail Santos⁵

¹Dr. Pesquisador DCR CNPq/Fapesq, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Autor correspondente e-mail: paulomegna@gmail.com;

²Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, valnelismello@hotmail.com;

³Meteorologista, Agencia de Águas do Estado da Paraíba, AESA, Campina Grande-PB, marle@aesa.pb.gov.br;

⁴Dr. Pesquisador, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, fabriciollmacedo@yahoo.com;

⁵Dr. Prof. Titular do Dep. de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, santosdj@cca.ufpb.br

Artigo submetido em 08/12/2015 e aceite em 26/01/2016.

RESUMO

A incorporação de cenários pluviométricos a estudos de aptidão agrícola é desejável, pois possibilita torná-los ajustados e adequados à variabilidade natural das precipitações e às expectativas pluviométricas dos modelos numéricos de previsão climatológica em uso no Brasil. Devido à importância de conhecer a distribuição das chuvas de uma determinada região, objetivou-se por este trabalho determinar cenários pluviométricos do Estado da Paraíba utilizando o modelo probabilístico distribuição Gama incompleta e o teste de Kolmogorov-Smirnov. Utilizaram-se os totais mensais de precipitações que possuem vinte ou mais anos de observações. Para cada posto pluviométrico, foi estabelecido o total de precipitação pluviométrica registrado nos três meses consecutivos mais chuvosos de cada ano hidrológico completo. Os conjuntos dos anos secos, regulares e chuvosos de cada posto foram utilizados para obter as correspondentes médias mensais dos totais pluviométricos, necessárias para caracterizar os cenários. Para a determinação dos níveis de 25, 50 e 75% de probabilidade de precipitação foi realizado com auxílio do modelo probabilístico de distribuição Gama incompleta e o ajuste das distribuições de foram avaliados pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 95% de significância. Para o mapeamento foi utilizado a Krigeagem. Os resultados demonstraram que o uso do modelo probabilístico distribuição Gama incompleta e do teste de Kolmogorov-Smirnov responderam bem aos dados trabalhados apresentando boa coerência; com o uso do método geoestatístico de interpolação de dados pela Krigeagem foi possível mapear os resultados apresentando bons resultados na espacialização dos cenários pluviométricos; os cenários seco, regular e chuvoso apresentaram padrões de valores maiores de probabilidade de ocorrência de chuvas na região do Litoral, Agreste e Brejo, e menores valores na região do Cariri/Curimataú, voltando a aumentar na região do Sertão e Alto Sertão do Estado da Paraíba.

Palavras - chave: Climatologia, estatística, teste de aderência, krigeagem.

Discrimination of pluviometric scenarios of the Paraíba state using Gamma Incomplete Distribution and Kolmogorov-Smirnov Test

ABSTRACT

The incorporation of rainfall scenarios of agricultural aptitude studies is desirable because it allows make them adjusted and appropriate to the natural variability of rainfall and rainfall expectations of numerical models of climatological forecast in use in Brazil. Due to the importance of knowing the distribution of rainfall in a given region, the objective is for this work to determine rainfall scenarios of the State of Paraíba using the probabilistic model incomplete distribution range and the Kolmogorov-Smirnov test. They used the monthly totals of precipitation that have twenty or more years of observations. For each rainfall station, it was established the total rainfall recorded in three consecutive months rainiest of each full hydrological year. The sets of dry, regular and rainy years each station were used to obtain the corresponding monthly average of total rainfall, needed to characterize the scenarios. To determine the levels of 25, 50 and 75% probability of precipitation was carried out with the help of probabilistic distribution model incomplete range and adjusting the distributions were evaluated by the Kolmogorov-Smirnov test at 95% significance level. For mapping was used to Kriging. The results showed that the use of probabilistic model incomplete distribution range and the Kolmogorov-Smirnov test responded well to raw data showing good consistency; using the Kriging geostatistical

method for data interpolation was possible to map the results showing good results in the spatial distribution of rainfall scenarios; the dry scenarios, regular and rainy had higher standards of probability of rain in the Litoral region, Agreste and Brejo, and lower values in the Cariri/Curimataú region and to increase further in the Sertão region and Alto Sertão of the State Paraíba.

Keywords: Climatology, statistics, adherence test, kriging.

Introdução

A região Nordeste do Brasil caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal da precipitação, como também pelo alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano. Assim, a região Nordeste do Brasil é considerada como uma região anômala no que se refere à distribuição espacial e temporal da precipitação ao longo do ano (Souza et al., 1998).

O estudo do comportamento espacial de um determinado elemento climático, como é o caso da precipitação, é fundamental para o mapeamento de áreas de aptidão para agricultura, bem como para o planejamento das atividades agrícolas (Silva et al., 2010).

De acordo com Barros et al. (2012), o clima exerce influência sobre todos os estágios da cadeia de produção agrícola, incluindo o preparo do solo, a semeadura, o crescimento e desenvolvimento das culturas, a colheita, o armazenamento, o transporte e a comercialização. Todos os processos relacionados à produção agrícola apresentam um determinado limite climático para que a produção seja econômica e sustentável. Ao analisar o ambiente, nos quais as culturas e os animais se desenvolvem, devem ser consideradas as inter-relações entre o clima, o solo e a vegetação, pois uma condição pode influenciar na outra. Além disso, compreender o clima propicia compreender aptidões para as mais diversas formas de uso e manejo da terra nas mais distintas regiões, as quais desempenham diferentes funções nas atividades socioeconômicas do Estado.

A incorporação de cenários pluviométricos (anos secos, regulares e chuvosos) a estudos dessa natureza é desejável, pois permite torná-los ajustados e adequados à variabilidade natural das precipitações e às expectativas pluviométricas dos modelos numéricos de previsão climatológica em uso no Brasil (Varejão-Silva e Barros, 2001).

De acordo com Vieira et al. (2010) a precipitação pluvial de determinado local pode ser estimada, dentre outras formas, em termos probabilísticos, mediante modelos teóricos de distribuição ajustados a uma série de dados. De acordo com Barros et al. (2012) os totais pluviométricos se distribuem assimetricamente na região Nordeste do Brasil, assim, a melhor

representação é a gama incompleta, na qual a distribuição é assimétrica (Hargreaves, 1973; Mosiño, 1981).

Moreira et al. (2010), relatam que diversos estudos indicam a distribuição gama, como o meio probabilístico mais confiável na determinação de totais mensais de precipitação. Segundo os autores, diversos trabalhos utilizaram a distribuição gama, como por exemplo, Murta et al. (2005), Silva et al. (2007), Sampaio et al. (2007) e Lima et al. (2008) que utilizaram a distribuição gama, sendo estes estudos aplicados nas diversas áreas. Ainda Moreira et al. (2010) afirmam que as pesquisas realizadas por Faria e Bowen (2003), Suleiman e Ritchie (2004) e Dallacort et al. (2005) indicam a distribuição gama, como o meio probabilístico mais confiável na determinação de totais mensais de precipitação na área de modelagem agrometeorológica no planejamento agrícola.

A distribuição de probabilidade gama incompleta, tem sido considerada o modelo teórico que melhor ajusta os totais de chuvas mensais para períodos menores, sendo, portanto, o mais utilizado (Hargreaves, 1973; Fonseca e Albuquerque, 1978; Arruda e Pinto, 1980; Varejão-Silva et al., 1984).

O teste de Kolmogorov-Smirnov é baseado no módulo da maior diferença entre a probabilidade observada e a estimada, que é comparada com um valor tabelado de acordo com o número de observações da série sob teste (Catalunha et al., 2002). Cargnelutti Filho et al. (2004) afirmam que testes de aderência, como o Kolmogorov-Smirnov, amplamente utilizado (Assis et al., 1996), servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste, verificando se os valores da amostra podem razoavelmente ser considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica. Nos testes de aderência, a hipótese nula (H_0) admite que a distribuição seja a especificada (normal, log-normal, gama e outras), com os seus parâmetros estimados com base nos dados amostrais (Assis et al., 1996; Catalunha et al., 2002).

O teste de Kolmogorov-Smirnov pode ser utilizado tanto para dados agrupados quanto para dados individuais. De acordo com Catalunha et al. (2002) nos dados agrupados não há restrição quanto ao número nem ao valor das classes. É

baseado no módulo da maior diferença entre a probabilidade observada e a estimada, que é comparada com um valor tabelado de acordo com o número de observações da série sob teste. Isto evita o aspecto cumulativo dos erros (Vieira et al., 2010). O teste de Kolmogorov-Smirnov é bastante utilizado para análise de aderências de distribuições em estudos climáticos conforme Assis et al. (1996) e Catalunha et al. (2002), e por ser um dos mais eficientes e utilizados em estudos sobre interpolação de dados espaciais de acordo com Mello et al. (2003) e Remacre et al. (2008), Araújo et al. (2008), contudo, o seu nível de aprovação de uma distribuição sob teste é muito elevado.

Devido à importância de conhecer a distribuição das chuvas de uma determinada região, objetiva-se por este trabalho determinar cenários pluviométricos do Estado da Paraíba utilizando o modelo probabilístico distribuição Gama incompleta e o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Material e métodos

O Estado da Paraíba localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.372 km², que corresponde a 0,662% do território nacional. Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os

meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (Francisco, 2010).

O relevo do Estado da Paraíba apresenta-se de forma geral bastante diversificado, constituindo-se por formas de relevo diferentes trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos do Estado: úmido, subúmido e semiárido. O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas como caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiro costeiro, mangues, mata-úmida, mata semidecidual, mata atlântica e restinga (PARAÍBA, 2006).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m) (Varejão-Silva et al., 1984). De acordo com Francisco et al. (2015) os meses com temperaturas mais baixas são os meses de junho, julho e agosto, enquanto os meses mais quentes são outubro, novembro e dezembro no estado como um todo, sendo esses os meses com os menores índices de precipitação pluviométrica, pois é o período mais seco da região (Figura 1).

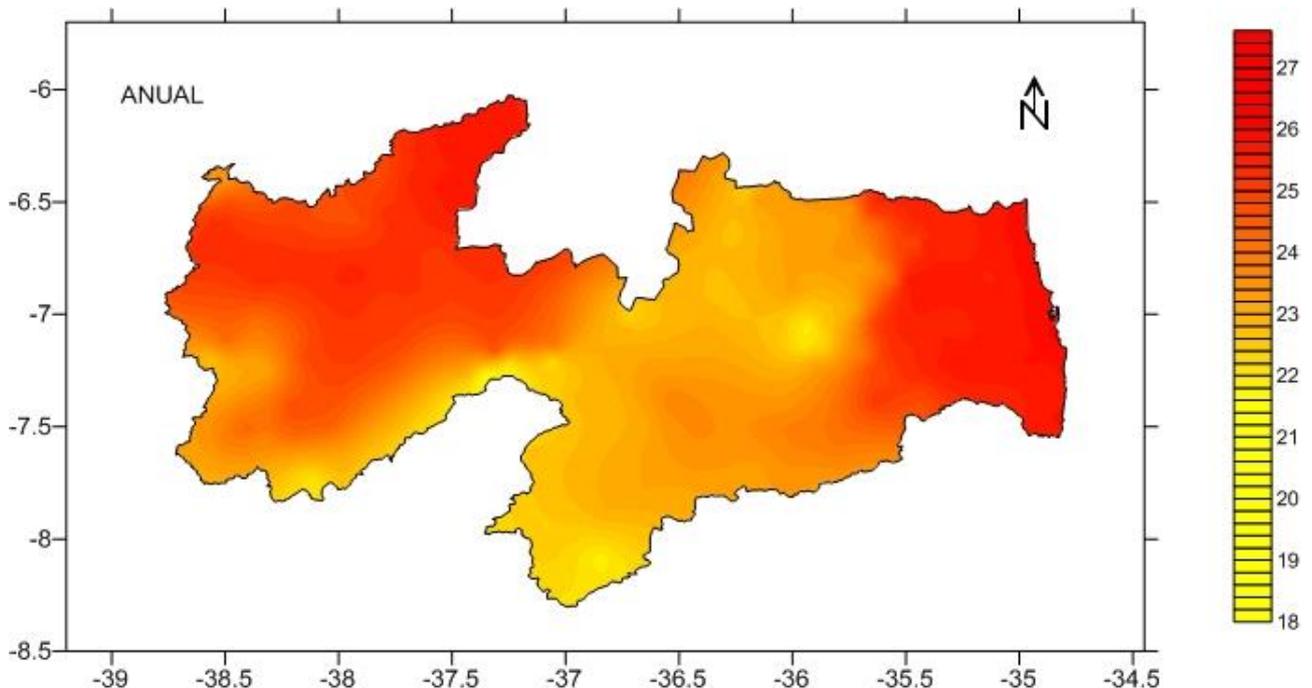


Figura 1. Temperatura (°C) média anual do Estado da Paraíba dos últimos 30 anos. Fonte: Francisco et al. (2015).

A precipitação varia de 400 a 800 mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar aos 1.600 mm (Varejão-Silva et al., 1984). De acordo com

Francisco et al. (2015) a distribuição da precipitação pluviométrica ocorre de forma irregular e com grande variação durante todo o ano e sua distribuição anual demonstra a alta

variabilidade espacial de precipitação no setor central do Estado com menores valores em torno de 300 a 500mm; no Sertão e Alto Sertão em

torno de 700 a 900mm; no Brejo e Agreste de 700 a 1.200mm; e no Litoral em média de 1.200 a 1.600mm (Figura 2).

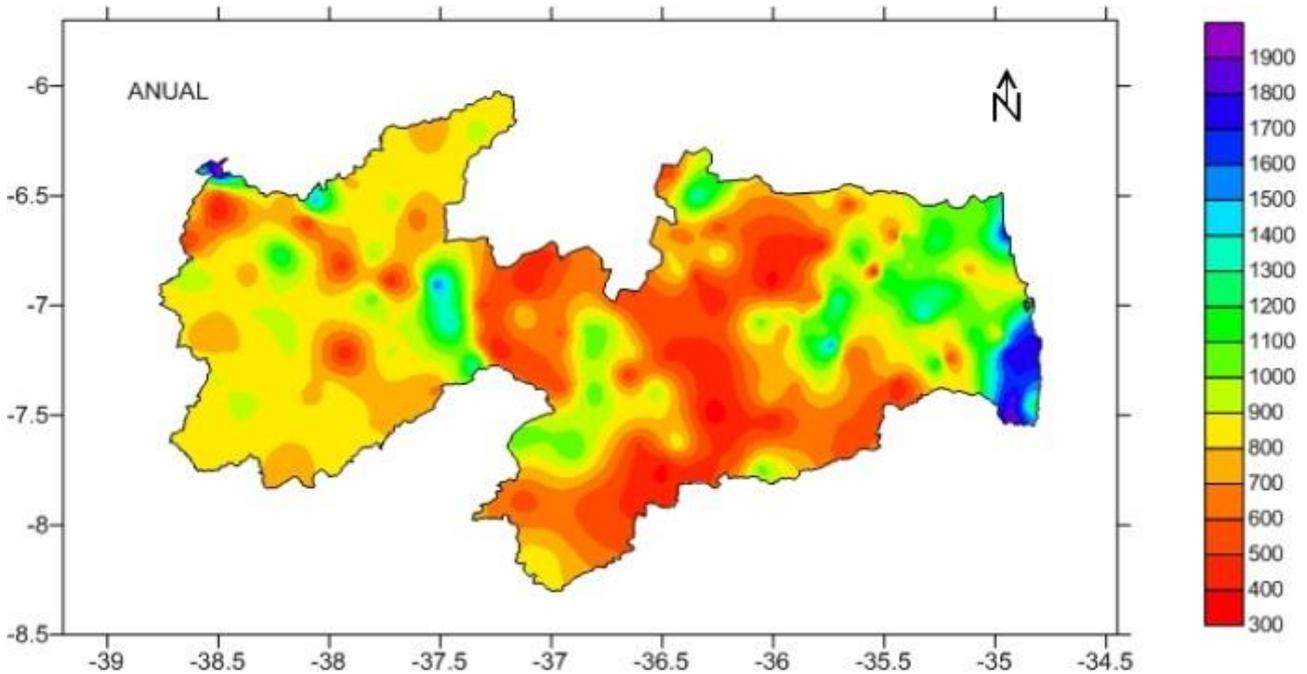


Figura 2. Pluviosidade anual média dos últimos 30 anos (mm). Fonte: Francisco et al. (2015).

Estudos sobre o clima indicam que fenômenos do tipo El Niño - Oscilação Sul (ENOS), e a circulação geral da atmosfera seriam os responsáveis pela ocorrência de baixos totais pluviométricos (Nobre, 1996; Molion e Bernardo, 2002).

Dentre os principais sistemas atuantes no Nordeste encontram-se os sistemas frontais (Kousky, 1979), a zona de convergência intertropical (Uvo, 1989), os vórtices ciclônicos de ar superior (Kousky e Gan, 1981) e os distúrbios de leste (Espinoza, 1996).

O Estado da Paraíba é caracterizado por dois regimes de chuvas, um correspondente de fevereiro a maio, regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri/Curimataú, e o outro de abril a julho no Agreste, Brejo e Litoral. Tais regiões homogêneas foram determinadas através de técnicas objetivas de análise multivariada, estendidas por Silva (1996), distribuídas no Litoral, Brejo, Agreste, Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão de acordo com a Figura 3.

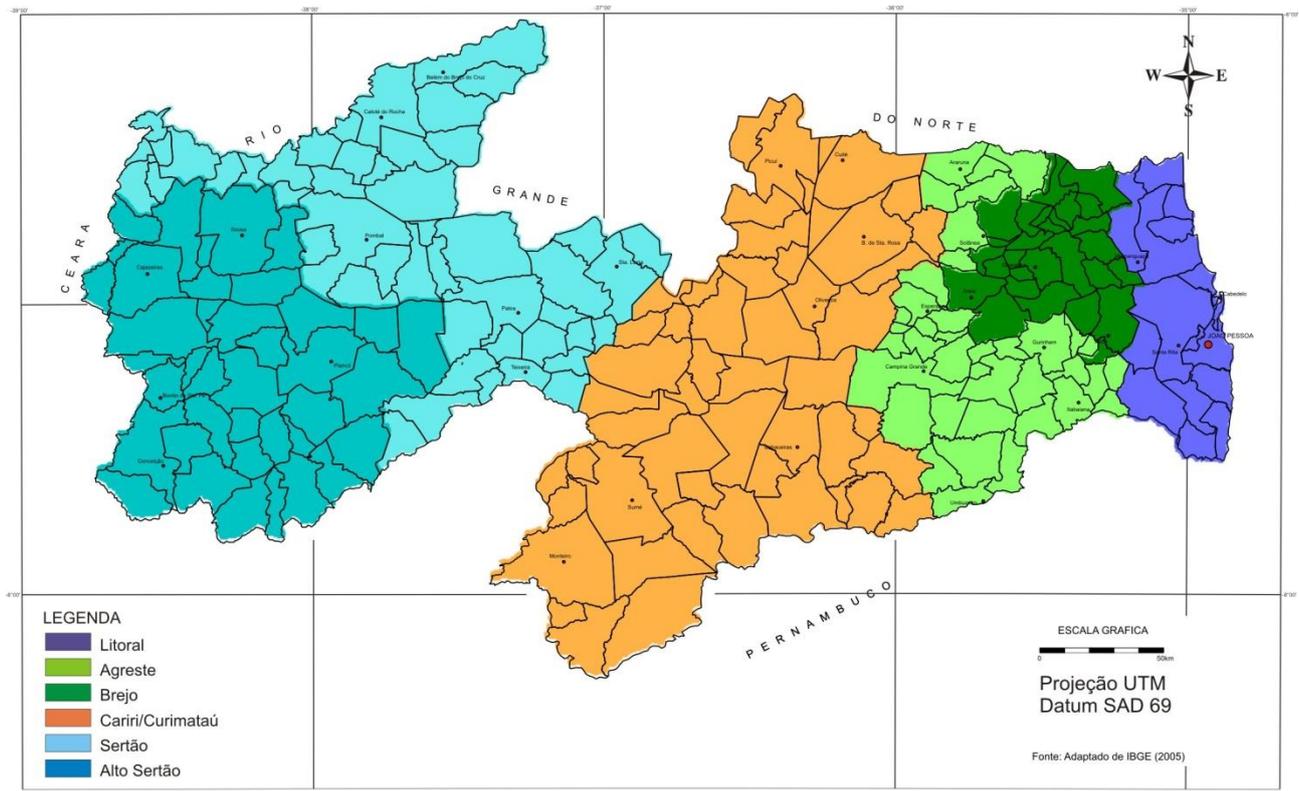


Figura 3. Regiões pluviometricamente homogêneas do Estado da Paraíba. Fonte: Francisco et al. (2015)

Na metodologia de trabalho utilizaram-se os totais mensais de precipitações obtidos nos postos pluviométricos da Rede Básica do Nordeste, implantados inicialmente pela Superintendência de Desenvolvimento do

Nordeste (SUDENE), posteriormente em 1992 a Rede Pluviométrica foi repassada ao Estado da Paraíba para a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA-PB) (Figura 4).

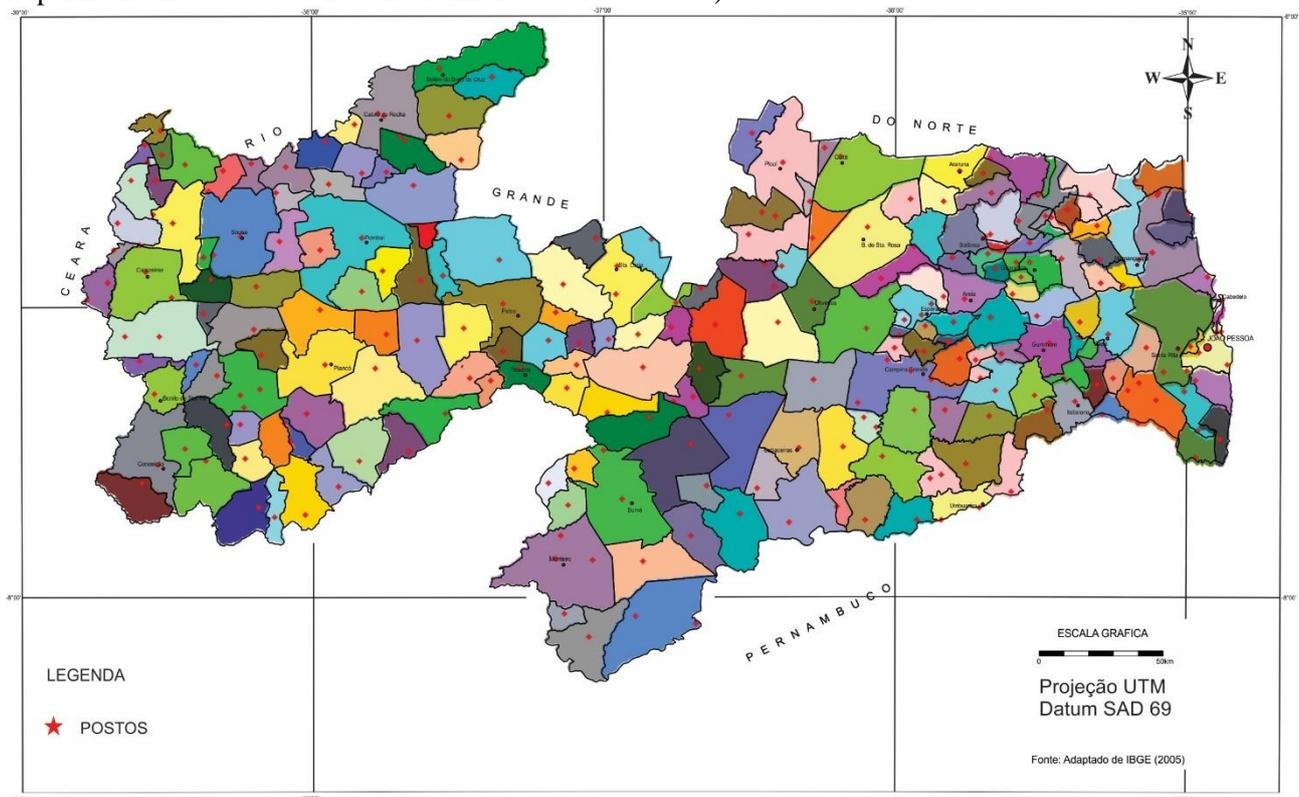


Figura 4. Distribuição espacial dos postos pluviométricos da área de estudo. Fonte: Francisco et al. (2015).

Os postos selecionados foram aqueles que possuem vinte ou mais anos de observações, tal fato da escolha foi para unificação de intervalos entre os postos, vistos que os espaçamentos dos postos são amplos.

A utilização dos dados foi procedida de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série, além das séries já publicadas pela SUDENE até o ano de 1985. Não foi possível adotar, neste trabalho, um período de observação comum a todas as localidades, haja vista a diferença do número de anos e/ou mesmo do número de postos que tal procedimento acarretaria, devido a diferença de início da operação desses postos. Assim, para cada localidade com série de observação igual ou superior a vinte anos, foi considerado para o período disponível, independente do início.

Após foi elaborada uma planilha eletrônica com os dados obtidos e após calculada as médias mensais e anuais.

Para a determinação dos diferentes níveis de probabilidade de precipitação foi realizado com auxílio do modelo probabilístico de distribuição Gama incompleta (Thom, 1958). Sua função densidade de probabilidade é dada pela equação 1.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

Em que: a = parâmetro de forma (adimensional); b = parâmetro de escala (mm); e = base do logaritmo neperiano; x = total de precipitação (mm) e; Γ = símbolos da função gama, definida conforme a equação 2.

$$\Gamma(\alpha + 1) = \sqrt{2\pi\alpha} \alpha^\alpha e^\alpha \left(1 + \frac{1}{12\alpha} + \frac{1}{288\alpha^2} - \frac{1}{51840\alpha^3} \right) \quad (2)$$

Um dos métodos frequentemente empregados é o método dos momentos, que iguala a média (X) e a variância (S²) da amostra a média e a variância da população, sendo determinado pelas equações 3 e 4 (Assis et al., 1996).

$$x = \frac{X^2}{S^2} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{S^2}{X} \quad (4)$$

Em que: X = precipitação média do período (mm); S² = Variância (mm²).

Posteriormente, o ajuste das distribuições de foram avaliados pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância. A estatística do teste é dada por D, representando a diferença máxima entre as funções acumuladas de probabilidade teórica (F(x)) e empírica (F(a)), o teste apresenta a seguinte equação 5:

$$D = \text{máx} |f(x) - f(a)| \quad (5)$$

A discriminação dos cenários pluviométricos seguiu a metodologia proposta por Varejão e Barros (2002). Para cada posto pluviométrico, foi estabelecido o total de precipitação pluviométrica registrado nos três meses consecutivos mais chuvosos de cada ano hidrológico completo. Em seguida, a distribuição gama incompleta (ASSIS et al., 1996), seguindo a conceituação de Thom (1958), foi ajustada à série desses totais em cada posto, seguindo a metodologia indicada por Mielke (1976) e utilizada por Barros et al. (2012).

A qualidade do ajustamento da curva teórica aos valores observados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1980) ao nível de significância de 95%.

Esses mesmos critérios foram aplicados em todas as séries pluviométricas. Como a curva de distribuição da chuva acumulada nos três meses consecutivos mais chuvosos é específica para cada posto, os valores correspondentes às probabilidades de 25, 50 e 75% também são específicos de cada posto (Varejão-Silva, 2001).

Os conjuntos dos anos secos, regulares e chuvosos de cada posto foram utilizados para obter as correspondentes médias mensais dos totais pluviométricos, necessárias para caracterizar os respectivos cenários.

Os critérios para discriminar os anos hidrológicos de cada posto pluviométrico foram enquadrados em uma das categorias indicadas (Varejão-Silva, 2000):

a) Anos secos - aqueles em que o total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, for igual ou menor que o valor correspondente à probabilidade de 25%;

b) Anos chuvosos - aqueles cujo total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, é superior ao valor correspondente à probabilidade de 75%;

c) Anos regulares - todos aqueles anos não classificados nas duas categorias anteriores.

A aplicação dos critérios acima citados e a verificação do ajuste da função de distribuição de probabilidade gama incompleta aos dados de

precipitação de todos os postos pluviométricos usados no estudo, com a consequente caracterização dos cenários pluviométricos, foram processadas por meio do programa XLSTAT 2015.5.01 Free Trial. Para a verificação do ajuste dos dados de precipitação à função de distribuição de probabilidade gama, utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 95% de probabilidade (Assis et al., 1996).

Resultados e discussão

Na Tabela 1 observa-se a probabilidade em milímetros da ocorrência de anos secos,

regulares e chuvosos para alguns municípios representativos das regiões pluviometricamente homogêneas da área de estudo.

Das 223 estações estudadas neste trabalho, foram excluídas 26 estações, por apresentarem menos de 20 anos de dados. Este procedimento elimina prováveis erros estatísticos.

De acordo com Barros et al. (2012) a probabilidade de ocorrência dos anos secos, regulares e chuvosos muda de local para local, uma vez que as regiões e os períodos relativos às séries históricas de chuva são diferentes.

Tabela 1. Ocorrência da probabilidade de anos secos, regulares e chuvosos em milímetros para alguns municípios

Região Pluviométrica	Estação	N.o de Anos de dados da série histórica	Probabilidade de ocorrência		
			Anos secos (mm)	Anos regulares (mm)	Anos chuvosos (mm)
Litoral	Alhandra	77	656	828	1045
Litoral	Cruz do Espírito Santo	65	318	440	601
Litoral	João Pessoa	83	588	785	1021
Litoral	Mamanguape	93	387	560	789
Litoral	Mataraca	42	493	648	826
Litoral	Santa Rita	89	476	620	786
Agreste	Araruna	101	248	317	400
Agreste	Campina Grande	91	246	316	398
Agreste	Ingá	93	215	279	351
Agreste	Itabaiana	92	220	296	386
Agreste	Pilar	71	220	315	441
Agreste	Queimadas	72	104	164	239
Agreste	Umbuzeiro	93	268	350	450
Brejo	Alagoa Grande	67	288	370	466
Brejo	Alagoa Nova	93	294	444	631
Brejo	Areia	96	464	570	694
Brejo	Bananeiras	81	355	468	610
Brejo	Guarabira	75	290	416	584
Brejo	Sapé	83	335	433	553
Cariri/Curimataú	Barra de Santa Rosa	71	87	132	191
Cariri/Curimataú	Boqueirão	41	107	151	208
Cariri/Curimataú	Cabaceiras	88	65	106	161
Cariri/Curimataú	Monteiro	86	51	112	210
Cariri/Curimataú	Pedra Lavrada	75	32	60	102
Cariri/Curimataú	Picuí	91	38	62	94
Cariri/Curimataú	Pocinhos	80	104	141	186
Cariri/Curimataú	São João do Cariri	101	59	96	149
Cariri/Curimataú	Soledade	96	57	90	131
Cariri/Curimataú	Sumé	69	60	102	161
Cariri/Curimataú	Taperoá	93	47	85	146
Sertão	Belém do Brejo do Cruz	74	65	142	266
Sertão	Brejo do Cruz	91	366	500	662
Sertão	Catolé do Rocha	91	376	528	714
Sertão	Imaculada	73	262	375	503
Sertão	Mãe D'Água	70	269	409	588
Sertão	Malta	87	328	454	600
Sertão	Patos	101	332	456	605

Sertão	Pombal	99	325	439	589
Sertão	Santa Luzia	101	228	345	493
Sertão	Teixeira	98	276	423	616
Alto Sertão	Cajazeiras	96	428	551	713
Alto Sertão	Catingueira	75	323	511	780
Alto Sertão	Coremas	70	393	530	683
Alto Sertão	Itaporanga	92	383	528	707
Alto Sertão	Piancó	86	325	492	711
Alto Sertão	Princesa Isabel	96	325	440	589
Alto Sertão	São José de Piranhas	75	396	530	690
Alto Sertão	Serra Grande	74	340	480	655
Alto Sertão	Sousa	91	360	490	639

Observa-se na Figura 6 a caracterização dos cenários pluviométricos do posto de Alhandra localizado na região do Litoral.

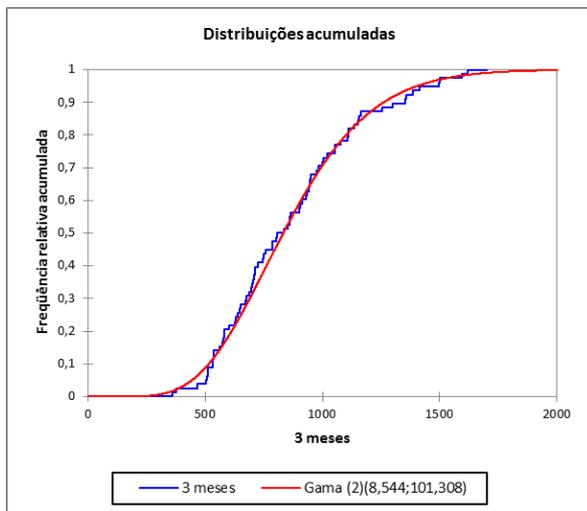


Figura 6. Caracterização dos anos secos, regulares e chuvosos, segundo a distribuição dos totais de chuva acumulados nos três meses consecutivos mais chuvosos do posto pluviométrico de Alhandra-região do Litoral.

Para o posto pluviométrico de Alhandra, o cenário seco foi constituído pelos anos em que o período mais chuvoso foi inferior ou igual a 656 mm; o cenário regular foi formado pelos anos em que o período mais chuvoso variou de 656 a 828 mm e o cenário chuvoso foi constituído pelos anos em que o período mais chuvoso superou 1045 mm.

Na Figura 7 observa-se a caracterização dos cenários pluviométricos do posto de Areia localizado no Brejo.

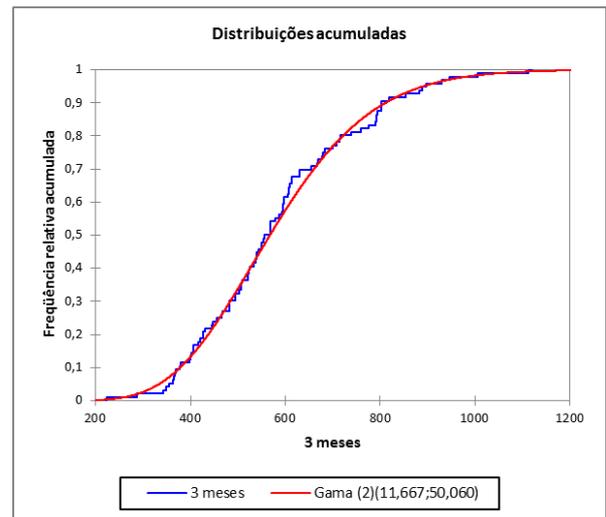


Figura 7. Caracterização dos anos secos, regulares e chuvosos, segundo a distribuição dos totais de chuva acumulados nos três meses consecutivos mais chuvosos do posto pluviométrico de Areia-região do Brejo.

Para o posto de Areia, o cenário seco foi inferior ou igual a 464 mm; o cenário regular variou até 570 mm e o cenário chuvoso superou 694 mm.

O posto de Alhandra, com regime maior de chuvas durante o ano, localizado na região do Litoral, com altitude entre 10 metros e o posto de Areia, localizado no Brejo, mais ao interior do Estado, com altitudes entre 650 metros, pode-se observar que entre esses postos há uma diminuição em seus valores acumulados atingindo em Alhandra valores próximos a 2.000mm enquanto em Areia valores entre 1.200mm, menores devido ao relevo e a distância do Litoral.

Observa-se na Figura 8 a caracterização dos cenários pluviométricos do posto de Campina Grande localizado na região do Agreste.

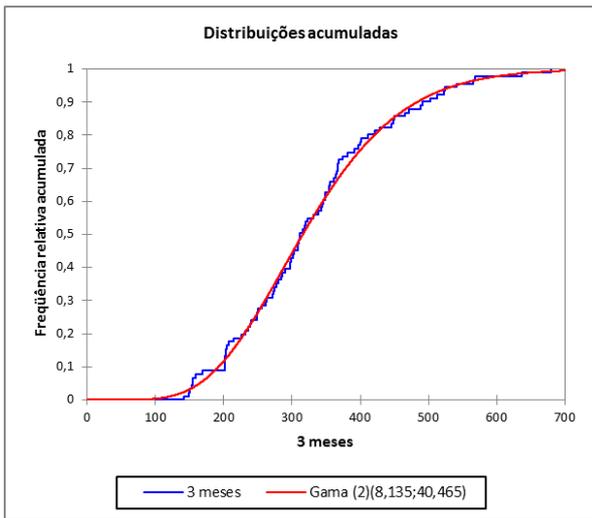


Figura 8. Caracterização dos anos secos, regulares e chuvosos, segundo a distribuição dos totais de chuva acumulados nos três meses consecutivos mais chuvosos do posto pluviométrico de Campina Grande-região do Agreste.

Para o posto de Campina Grande, o cenário seco foi inferior ou igual a 246 mm; o cenário regular variou até 316 mm e o cenário chuvoso superou 398 mm.

Observa-se na Figura 9 a caracterização dos cenários pluviométricos do posto de Cabaceiras localizado na região do Cariri/Curimataú.

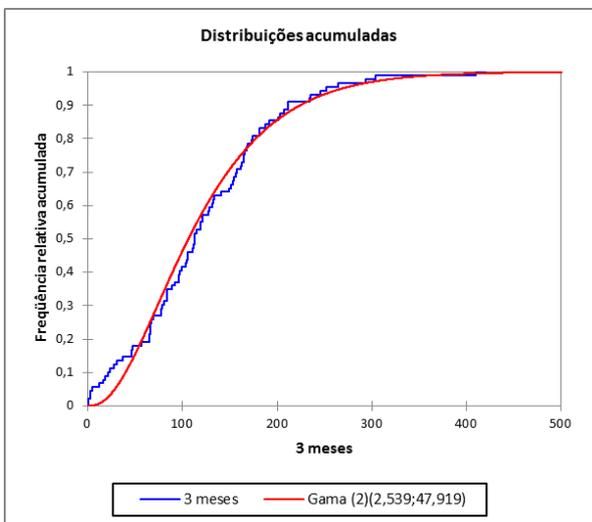


Figura 9. Caracterização dos anos secos, regulares e chuvosos, segundo a distribuição dos totais de chuva acumulados nos três meses consecutivos mais chuvosos do posto pluviométrico de Cabaceiras-região do Cariri.

Para o posto pluviométrico de Cabaceiras, o cenário seco foi constituído pelos anos em que o período mais chuvoso foi inferior ou igual a 65 mm; o cenário regular foi formado pelos anos em que o período mais chuvoso variou de 65 a 106

mm e o cenário chuvoso foi constituído pelos anos em que o período mais chuvoso superou 161 mm.

Campina Grande, localizada no Agreste, sobre o Planalto da Borborema, com altitudes acima de 700 metros, atinge valores de 700mm, enquanto Cabaceiras, município bem próximo, atinge somente 500mm, isso devido também ao relevo e altitude destes.

Observa-se na Figura 10 a caracterização dos cenários pluviométricos do posto de Patos na região do Sertão.

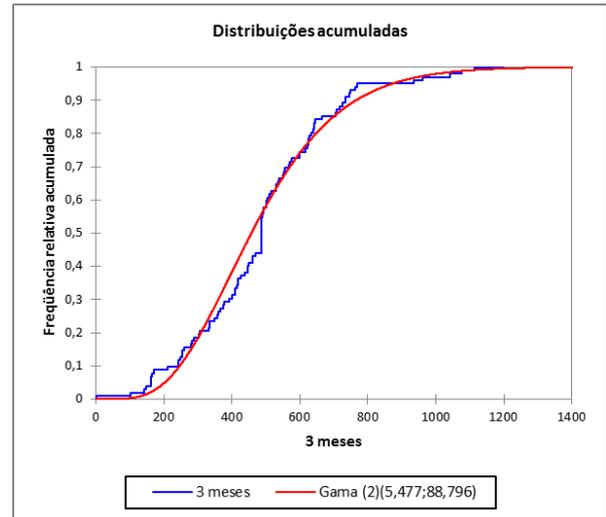


Figura 10. Caracterização dos anos secos, regulares e chuvosos, segundo a distribuição dos totais de chuva acumulados nos três meses consecutivos mais chuvosos do posto pluviométrico de Patos-região do Sertão.

Para o posto de Patos, o cenário seco foi inferior ou igual a 332 mm; o cenário regular variou até 456 mm e o cenário chuvoso superou 605 mm.

Observa-se na Figura 11 a caracterização dos cenários pluviométricos do posto de Sousa-região do Alto Sertão.

Para o posto de Sousa, o cenário seco foi inferior ou igual a 360 mm; o cenário regular variou até 490 mm e o cenário chuvoso superou 639 mm.

Patos, localizado no sertão com altitude inferior a 400 metros, próximo a encosta do Planalto da Borborema, atinge valores de 1.400mm enquanto Sousa, localizado no alto Sertão também atinge valores próximos a 1.200mm.

Na Tabela 2 observam-se os resultados estimados e calculados do teste estatístico Gama incompleto e do teste KS para alguns postos de cada região pluviométrica.

Pode-se observar que o posto de Cabaceiras localizado na região do Cariri/Curimataú teve o valor mínimo de zero milímetro e o posto de

Alhandra localizado no Litoral apresentou o valor de 359,5 mm. Tanto para Cabaceiras, considerado o município que menos chove diante de mais de 5 mil municípios brasileiro, como para o posto de Alhandra, o que mais chove no Estado da Paraíba, os resultados da análise foram aceitos pelo teste

KS. Os valores máximos variaram de 410,8 mm em Cabaceiras a 1621,5 mm em Alhandra. Observa-se na Tabela 1 que o desvio padrão teve valor mínimo de 76,35 em Cabaceiras e valor máximo de 296,124 em Alhandra.

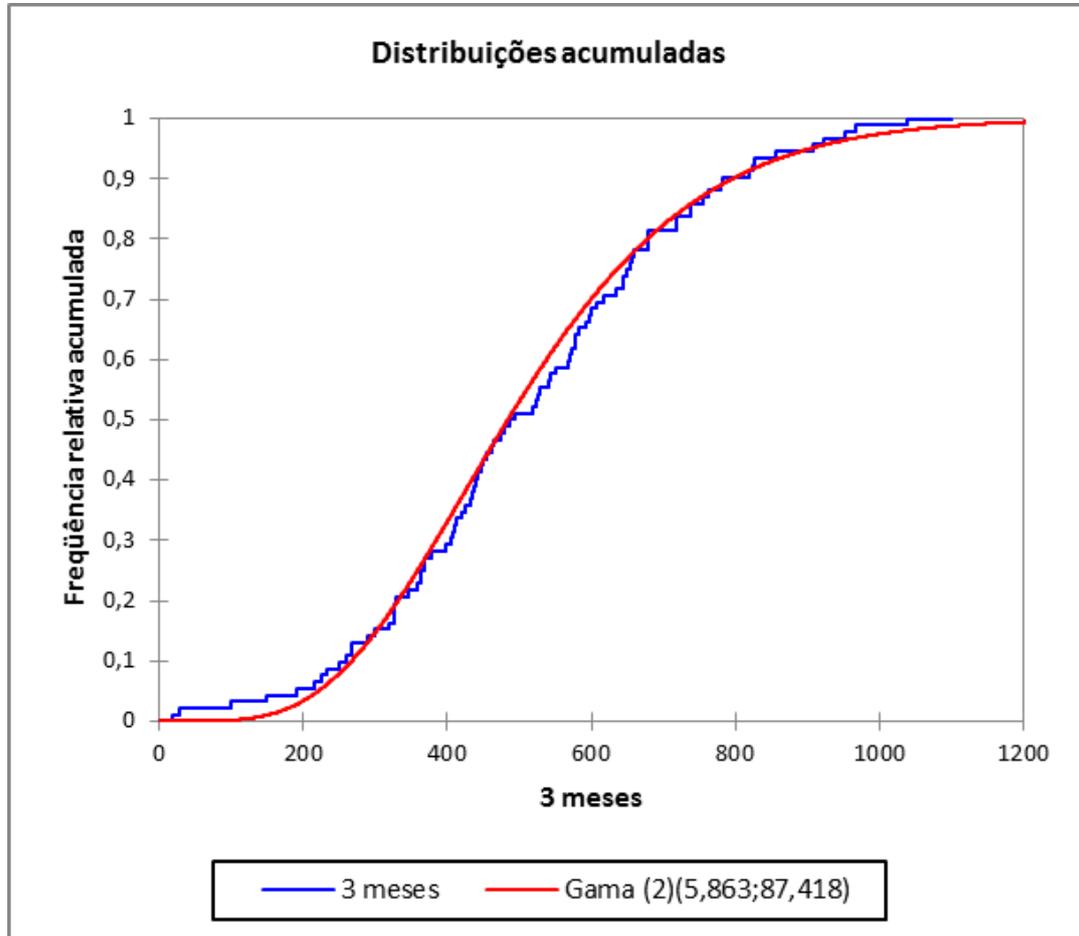


Figura 11. Caracterização dos anos secos, regulares e chuvosos, segundo a distribuição dos totais de chuva acumulados nos três meses consecutivos mais chuvosos do posto pluviométrico de Sousa-região do Alto Sertão.

Tabela 2. Estatísticas estimadas dos dados e calculadas utilizando os parâmetros estimados da distribuição Gama incompleta e resultados do Teste KS

Região pluviométrica	Posto/ Município	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Teste KS
Litoral	Alhandra	359,500	1621,500	865,573	296,124	Aceita
Brejo	Areia	224,000	1112,500	584,049	170,990	Aceita
Agreste	Campina grande	142,900	679,200	329,173	115,411	Aceita
Cariri/Curimataú	Cabaceiras	0,000	410,800	121,650	76,350	Aceita
Sertão	Patos	2,800	1113,500	486,335	207,809	Aceita
Alto Sertão	Sousa	19,000	1039,200	512,500	211,665	Aceita

Na Figura 12 observa-se o cenário pluviométrico para o período seco para o Estado da Paraíba. A distribuição da probabilidade de ocorrência de chuvas apresenta os maiores valores

na região do Litoral próximo ao município de Alhandra no litoral sul entre 500 e 700 mm, no litoral norte, próximo ao município de Baía da Traição, apresenta valores entre 700 e 800 mm; e

diminuindo conforme adentra a direção oeste na região do Agreste, e voltando a aumentar entre 400 e 500 mm, na região do Brejo, no município de Areia. Na região do Cariri/Curimataú, sobre o planalto da Borborema, apresenta-se com valores

menores de 100 mm; já na região do Sertão e Alto Sertão, os valores tornam a aumentarem entre 200 a 400 mm, apresentando maiores valores entre 400 e 500 mm próximo ao município de Cajazeiras e Coremas.

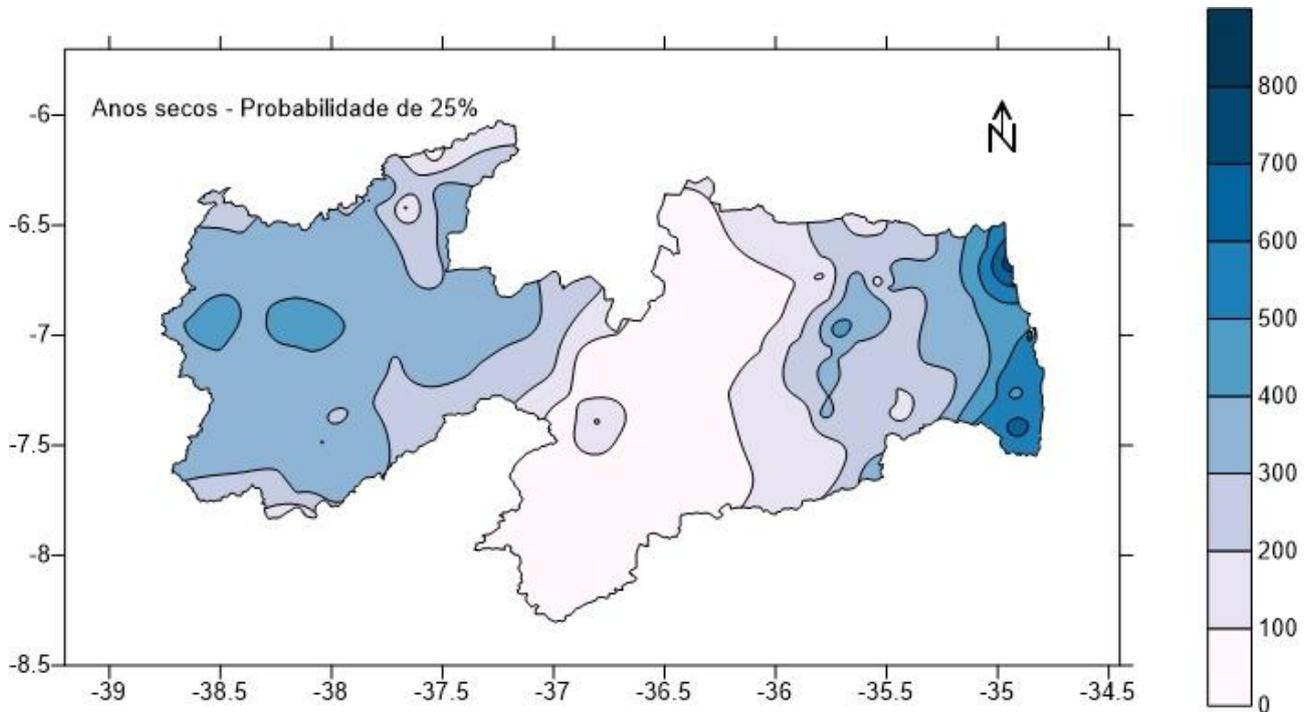


Figura 12. Cenário pluviométrico para o período seco do Estado da Paraíba.

Na Figura 13 observa-se o cenário pluviométrico para o período regular para o Estado da Paraíba. A distribuição da probabilidade de ocorrência de chuvas apresenta os maiores valores na região do Litoral entre 600 e 800 mm. O cenário regular segue a mesma tendência do cenário seco, diminuindo conforme adentra a direção oeste na região do Agreste e

voltando a aumentar na região do Brejo com valores de 400 a 500 mm. Na região do Cariri/Curimataú, apresenta valores menores de 200 mm; na região do Sertão e Alto Sertão segue a mesma tendência do cenário seco onde os valores tornam a aumentarem entre 400 a 600 mm englobando um número maior de municípios.

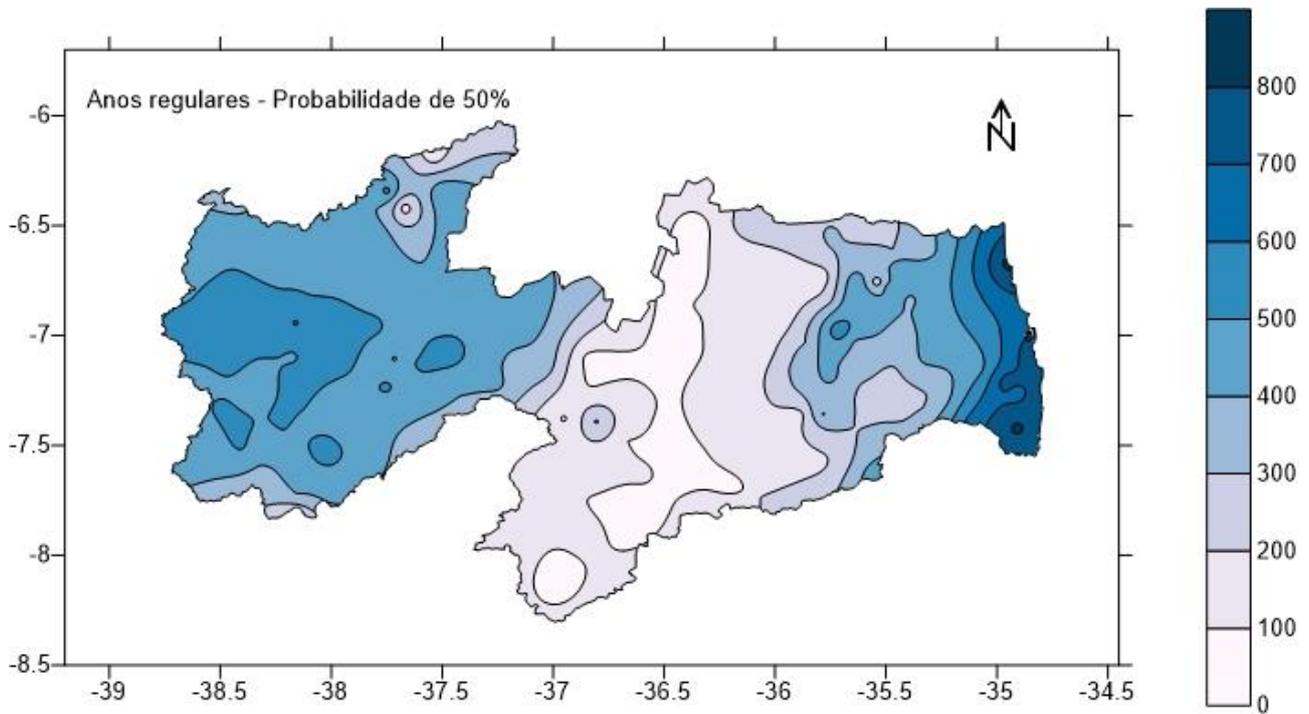


Figura 13. Cenário pluviométrico para o período regular do Estado da Paraíba.

Observa-se na Figura 14 o cenário pluviométrico para o período chuvoso para o Estado da Paraíba. A distribuição da probabilidade de ocorrência de chuvas segue o mesmo padrão dos cenários seco e regular apenas aumentando os valores e área de ocorrência. Na região do Litoral apresenta os maiores valores entre 600 e 1100 mm, na região do Brejo

apresenta valores de 600 mm, na região do Cariri/Curimataú volta a diminuir e apresenta valores menores de 200 mm; na região do Sertão e Alto Sertão segue a mesma tendência do cenário seco e regular onde os valores tornam a aumentarem entre 400 a 700 mm com uma melhor distribuição nas regiões.

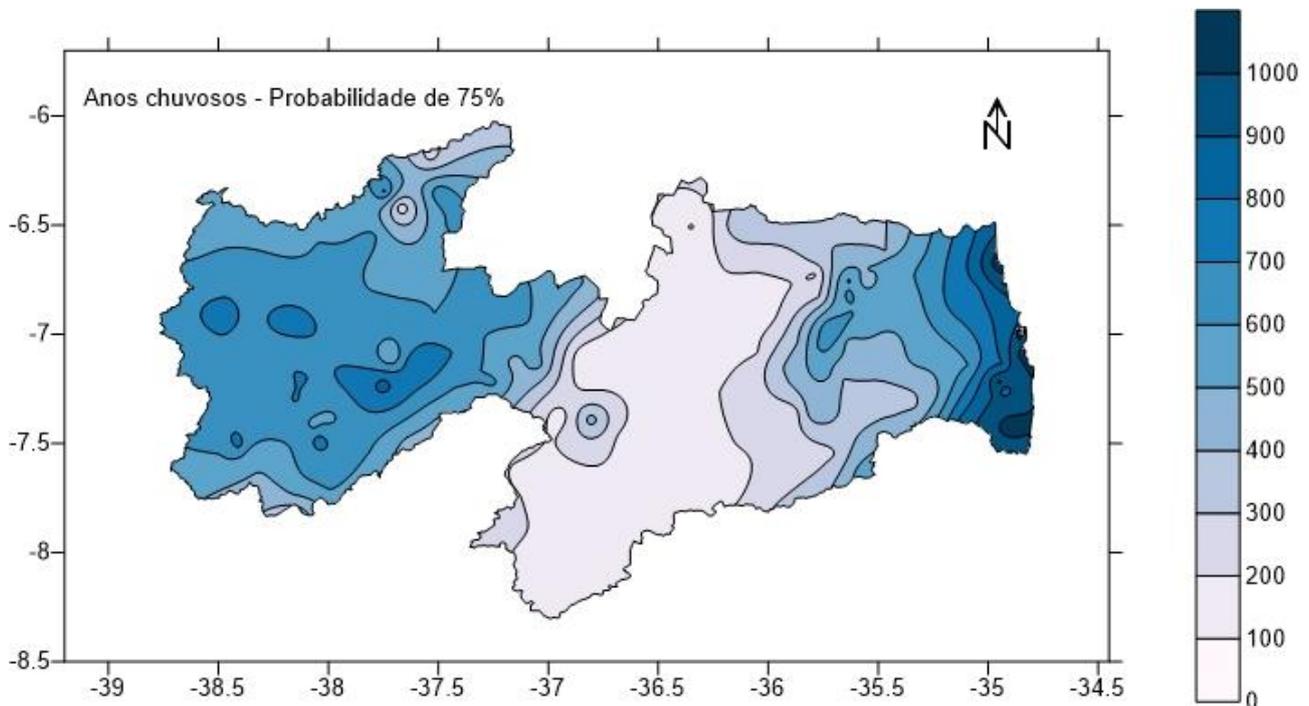


Figura 14. Cenário pluviométrico para o período chuvoso do Estado da Paraíba.

De acordo com Araújo et al. (2008) é pouco conhecido que a Paraíba é o Estado do Nordeste que apresenta uma das maiores variabilidades espacial nas chuvas, uma vez que o agreste/litoral apresenta precipitação média anual acima de 1083,4 mm/ano, seguido do sertão com valores médios de 821,9 mm/ano, e por fim a

região do Cariri/Curimataú com média alcançando até 516,1 mm/ano.

Na Tabela 3 observa-se os valores estatísticos estimados e calculados pelo método da Krigeagem para os 3 cenários, seco, regular e chuvoso.

Tabela 3. Estatísticas estimadas dos dados de entrada, calculadas utilizando a Krigeagem usando as probabilidades dos anos secos, regulares e chuvosos (25, 50 e 75%)

Probabilidade (%)	Variação (mm)					
	Mínimo	Mediana	Máxima	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação
25 - Anos secos	32	290	760	269,54	142,83	0,520
50 - Anos regulares	60	409	831	49,82	368,95	0,489
75 - Anos chuvosos	94	540	1060	75,96	496,11	0,462

Pode-se observar que a variação dos valores mínimos é o triplo em relação aos cenários seco e chuvoso com valores de 32 a 94 mm. Observam-se valores máximos no cenário seco de 760 mm e aumentando para 831 mm no cenário regular e atingindo o valor máximo de 1060 mm no cenário chuvoso. Nos resultados observa-se que o desvio padrão da distribuição das chuvas varia entre 142,83 no cenário seco, 368,95 no cenário regular e 496,11 no cenário chuvoso; já o coeficiente de variação apresentou uma menor variação entre os resultados.

Andrade Junior et al. (2009) relatam que a incorporação de cenários pluviométricos (anos secos, regulares e chuvosos) a estudos dessa natureza é desejável, por promover um aperfeiçoamento da qualidade da metodologia clássica, tornando-os mais ajustados e adequados à variabilidade natural das precipitações e às expectativas pluviométricas dos modelos numéricos de previsão climatológica em uso no Brasil (Varejão Silva e Barros, 2001).

Conclusões

1. O uso do modelo probabilístico distribuição Gama incompleta e do teste de Kolmogorov-Smirnov responderam bem aos dados trabalhados apresentando boa coerência.
2. Com o uso do método geoestatístico de interpolação de dados pela Krigeagem foi possível mapear os resultados apresentando bons resultados na espacialização dos cenários pluviométricos.
3. Os cenários seco, regular e chuvoso apresentaram padrões de valores maiores de probabilidade de ocorrência de chuvas na região do Litoral, Agreste e Brejo e menores valores na região do Cariri/Curimataú, voltando a aumentar na região do Sertão e Alto Sertão do Estado da Paraíba.

Agradecimentos

Ao CNPq/Fapesq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

Referências

- Assis, F.N.; Arruda, H.V. de; Pereira, A.R. 1996. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. UFPel, Pelotas, 161p.
- Andrade Júnior, A.S. de; Melo Silva, F.A. de; Lima, M.G. de; Amaral, J.A.B. do. 2009. Zoneamento de aptidão climática para o algodoeiro herbáceo no Estado do Piauí. Revista Ciência Agronômica 40, 175-184.
- Araújo, L.E. de; Sousa, F. de A.S. de; Ribeiro, M.A. de F.M.; Santos, A.S. dos; Medeiros, P. da C. 2008. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. Revista Brasileira de Meteorologia, 162-169.
- Arruda, H.V.; Pinto, H.S. 1980. A simplified gama probability model for analysis of the frequency distribution of raintall in the region of Campinas, SP-Brasil. Agricultural Meteorology 22,101-108.
- Barros, A.H.C.; Araújo Filho, J.C. de; Silva, A.B. da; Santiago, G.A.C.F. 2012. Climatologia do Estado de Alagoas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 211. Embrapa Solos, Recife, 32p.
- Cargnelutti Filho, A.; Matzenauer, R.; Trindade, J.K. da. 2004. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39, 1157-1166.
- Cavalcanti, E.P.; Silva, V. de P.R.; Sousa, F. de A. S. 2006. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10, 140-147.

- Catalunha, M.J.; Sedyama, G.C.; Leal, B. G.; Soares, C.P.; Ribeiro, A.B. 2002. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 10, 153-162.
- Espinoza, E. S. 1996. Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical. 1996, 120f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, São Paulo.
- Francisco, P.R.M. 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Francisco; P.R.M.; Medeiros; R.M. de; Matos, R. M. de; Santos; D.; Thiago Pereira de Sousa, T. P. de. 2015. Análise e mapeamento da evaporação para o estado da Paraíba. *Agropecuária Científica no Semiárido* 11, 111-121.
- Francisco; P.R.M.; Medeiros; R.M. de; Melo, V. da S.; Santos; D.; 2015. Probabilidades de ocorrência de chuvas para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Climatologia* 11,17, 143-157.
- Francisco; P.R.M.; Medeiros; R.M. de; Santos; D.; Bandeira; Matos, R.M. de. 2015. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 4, 1006-1016.
- Fonseca, V.O.; Albuquerque, J.A.S. 1978. Estimativa dos parâmetros de distribuição gama de probabilidade para totais de precipitação em uma região de Pelotas, R.S. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 13, 47-58.
- Hargreaves, G.H. 1973. Monthly precipitation probabilities for Northeast Brazil. Logan: Utah State University, 423p.
- Kousky, V.E. 1979. Frontal influences on northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 107, 1140-1153.
- Kousky, V.E.; Gan M.A. 1981. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical South Atlantic. *Tellus* 33, 538-551.
- Lima, J.S.S.; Silva, S.A.; Oliveira, R.B.; Cecílio, R.A.; Xavier, A.C. 2008. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre – ES. *Revista Ciência Agrônômica* 39, 327-332.
- Massey Jr, F. J. 1980. The Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit. *Journal of American Statistical Association* 46, 68-78.
- Mello, C.R.; Lima, J.M.; Silva, A.M.; Mello J.M.; Oliveira, M.S. 2003. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27, 925-933.
- Mielke, P. W. 1976. Simple iterative procedures for two-parameter gamma distribution maximum likelihood estimates. *Journal of App. Meteorology* 15, 181-183.
- Murta, R.M.; Teodoro, S.M.; Bonomo, P.; Chaves, M.A. 2005. Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia. *Ciência e Agrotecnologia* 29, 988-994.
- Molion, L.C.B.; Bernardo, S.O. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira Meteorologia* 17, 1-10.
- Moreira, P.S.P.; Dallacort, R.; Magalhães, R.A.; Inoue, M.H.; Stieler, M.C.; Silva, D.J. da; Martins, J.A. 2010. Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de nova Maringá-MT. *Revista de Ciências Agro-Ambientais* 8, 9-20.
- Mosiño, P.A. 1981. The variability of rainfall in Mexico and its determination by means of gamma distribution. *Geografiska Annaler* 63, 1-10.
- Nobre, C.A.; Molion, L.C.B. 1986. Boletim de Monitoramento e Análise Climática – Climanálise – Número Especial, Edição Comemorativa de 10 anos, 1986, INPE. São José dos Campos, SP. 125 p.
- PARAÍBA. 2006. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 112p.
- Remacre, A.Z.; Normando, M.N.; Sancevero, S.S. 2008. Krigagem das proporções utilizando a krigagem da média: uma ferramenta auxiliar na modelagem de reservatórios. *Revista Brasileira de Geociências* 38, 82-87.
- Sampaio, S.C.; Queiroz, M.M.F.; Frigo, E.P.; Longo, A.J.; Suszek, M. 2007. Estimativa e distribuição de precipitações decendiais para o estado do Paraná. *Irriga* 12, 38-53.
- Silva da, S.T. 1996. A Influência do El Niño-Oscilação Sul na distribuição espacial da precipitação no estado da Paraíba. 63p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

- Silva, J.C.; Heldwein, A.B.; Martins, F.B.; Trentin, G.; Grimm, E.L. 2007. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11, 67-72.
- Silva, R. M. da; Silva, L. P. e; Montenegro, S. M. G. L.; Santos, C. A. G. 2010. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na Bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco. *Sociedade & Natureza* 2, 357-372.
- Souza, E.B.; Alves, J.M.B.; Nobre, P. 1998. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do atlântico tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia* 13, 45-55.
- Thom, H.C.S. 1958. A note on the gama distribution. *Monthly Weather Review* 86, 117-122.
- Thorntwaite, C.W.; Mather, J.R. 1955 The water balance. *Publications in Climatology – Drexel Institute of Technology* 8, 1-86.
- Uvo, C. R. B. 1989. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. 1989, 215f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São José dos Campos, INPE, São Paulo.
- Varejão-Silva, M.A.; Barros, A.H.C. 2001. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Recife: COTEC/DATA AGROS/SPRRA-PE, 38p. (Relatório Técnico).
- Varejão-Silva M.A.; Braga, C.C.; Aguiar M.J.N.; Nietzsche M.H.; Silva, B.B. 1984. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande.
- Varejão-Silva, M.A.; Barros, A.H.C. 2002. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária de Pernambuco, Recife, PE, 51p.
- Vieira, J.P.G.; Souza, M.J.H. de; Teixeira, J.M.; Carvalho, F.P. de. 2010. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 762-767.