

Precipitação mensal no Recife: Distribuições de probabilidade e preenchimento de falhas

Monthly precipitation in Recife: Probability distributions and gap filling

Resumo:

O trabalho objetivou verificar a aderência de distribuições de probabilidade a uma série histórica (1986-2016) de precipitação pluvial mensal em Recife-PE, e encontrar equações para preenchimento de possíveis falhas na série através de outras variáveis meteorológicas. Seis distribuições de probabilidade foram testadas por três testes de aderência. Para o preenchimento de falhas, foi empregado o método de regressão múltipla linear. O teste Kolmogorov-Smirnov apresentou bons resultados para todas as distribuições analisadas. No teste Qui-quadrado, a distribuição Gama apresentou os melhores resultados; no teste Anderson-Darling, as distribuições Weibull e Gumbel se ajustaram para quase todos os meses. A melhor equação para preenchimento de falhas foi obtida relacionando outras sete variáveis. Portanto, a escolha da distribuição deve ser ponderada com base no que se deseja estimar, e as falhas podem ser preenchidas com o uso de outras variáveis meteorológicas.

Abstract:

The objective was to verify the adherence of probability distributions to a historical series (1986-2016) of monthly rainfall in Recife-PE, and to find equations to fill possible gaps in the series through other meteorological variables. Six probability distributions were tested by three adherence tests. For the filling of faults, the linear multiple regression method was used. The Kolmogorov-Smirnov test showed good results for all analyzed distributions. In the Chi-square test, the Gamma distribution presented the best results; in the Anderson-Darling test, the Weibull and Gumbel distributions have adjusted for almost every month. The best gap-filling equation was obtained by relating seven other variables. Therefore, the choice of distribution should be weighted based on what is estimated, and the gaps can be filled with the use of other meteorological variables.



Soares¹, A. E. P., Nunes, L. G. C. F.², Soares, W. de A.³

¹Graduada em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (UPE) e Mestranda em Engenharia Civil (UPE).Mail:anna_elispaz@hotmail.com

²Graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (UPE) e Mestrando em Engenharia Civil (UPE).Mail:l.gustavo.nunes@hotmail.com

³ Doutor em Tecnologias Energéticas Nucleares pela Universidade Federal Pernambuco (UFPE). Professor Adjunto da Universidade de Pernambuco (UPE). Mail:was@poli.br

Contato principal
Soares, A. E. P.¹



Palavras chave: *chuva acumulada mensal, teste de aderência, regressão linear, correção de falhas*

keywords: *accumulated monthly rainfall, adherence test, linear regression, fault correction*



INTRODUÇÃO

Precipitação pluvial pode ser entendida como o fenômeno climatológico pelo qual a água proveniente do vapor de água da atmosfera é depositada na superfície terrestre. Este fenômeno é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e constitui um dos elementos meteorológicos que exerce mais influência sobre condições ambientais. Além do efeito direto sobre o balanço hídrico, exerce influência indiretamente sobre outras variáveis, tais como: temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, radiação solar, entre outros (SOUZA et al., 2010).

As variáveis características do fenômeno precipitação podem ser: altura (mm, cm); intensidade (mm/h); e duração (h, min). Esses dados são geralmente coletados em estações meteorológicas por pluviômetros, e podem ser apresentados em escalas temporais diversas (horas, dias, meses, ano). (NAGHETTINI e PINTO, 2007). Tendo em vista o impacto ambiental que a anomalia dessa variável provoca no clima regional, o estudo das distribuições de variáveis hidrológicas ao longo do tempo é de extrema importância. No caso da precipitação pluvial, o principal interesse é prever as precipitações capazes de ocorrer em uma dada região, com base em funções de densidade de probabilidade aplicadas aos dados observados (DOURADO NETO et al., 2005).

Aderências de distribuição de probabilidade

Segundo Naghettini e Pinto (2007), os modelos de distribuição de probabilidades que apresentam uma utilidade mais frequente na análise de frequência de variáveis hidrológicas são Distribuição Normal, Log-normal, Exponencial, Gama, Beta e Distribuição de Valores Extremos (Gumbel, Weibull, entre outros). Para verificar a adequação ou inadequação de uma dada amostra a um desses modelos distributivos, os autores destacam os principais testes de aderência empregados na hidrologia estatística, são eles: o do Qui-Quadrado, o de Kolmogorov-Smirnov, o de Anderson-Darling e o de Filliben.

Souza et al. (2010) trabalharam com dados mensais de precipitação pluviométrica para 28 municípios localizados da região semiárida do Estado de Pernambuco, no período de 1963 a 1991. Os autores utilizaram o teste do Qui-Quadrado com 95% de confiança para verificar o ajuste da série às distribuições de probabilidades Normal, Exponencial, Log-normal, Beta, Gama e Weibull. O estudo evidenciou que a distribuição Beta se mostrou a mais completa para os municípios localizados no semiárido pernambucano.

Lyra et al. (2006) analisaram distribuições de probabilidade que melhor se ajustavam à precipitação de regiões homogêneas quanto a sazonalidade da precipitação pluvial, no Estado de Táchira, Venezuela. A metodologia consistiu em aplicar o método de Ward no agrupamento dos meses com precipitação pluvial mensal similar e também no das localidades com precipitação

similar (regiões homogêneas); e avaliar os ajustes das funções de densidade Exponencial, Gama, Gumbel, Normal, Log-normal a três parâmetros, e Weibull aos dados observados de precipitação mensal. A seleção da função densidade de probabilidade que melhor se ajustou aos valores de precipitação se baseou no teste de Qui-quadrado.

Silva et al. (2007) analisaram dados de precipitação diária de uma estação climatológica na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, num período de 36 anos, com o objetivo de determinar a variação da probabilidade de ocorrência de precipitação diária durante os meses do ano, em Santa Maria. Para tanto, analisaram-se as funções de distribuição de probabilidade Gama, Weibull, Normal, Log-normal e Exponencial utilizando-se os testes de Anderson-Darling, Cramér-von Mises, Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov. Para este estudo, as funções de distribuição de probabilidades que melhor se ajustaram aos dados diários de precipitação foram Gama e Weibull.

Moraes et al. (2005) identificaram que a distribuição de frequência Normal é a que melhor se ajustou aos dados anuais, sazonais e mensais de precipitação no Estado do Pará, através da análise de 23 anos de dados diários de precipitação em 31 localidades distribuídas pelo Estado. Os autores destacam que a aderência a essa distribuição sugere uma considerável variação temporal e espacial da precipitação no Estado.

Martins et al. (2010) estimaram a precipitação pluviométrica mensal para a região de Tangará, Mato Grosso, utilizando a função Gama de probabilidade. O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância, foi utilizado para verificar o ajuste da série de dados à distribuição, apresentando bons resultados. Soccol et al. (2010) também utilizaram a distribuição Gama, testada através do método Kolmogorov-Smirnov, para determinar a precipitação pluviométrica mensal provável para Lages, Santa Catarina. Utilizou-se uma série de dados de 80 anos de observações. Através da distribuição ajustada obteve-se a estimativa da precipitação mensal para os níveis de probabilidade de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90 e 95%.

Dourado Neto et al. (2005) analisaram a aderência de cinco distribuições de probabilidade (Gama, Exponencial, Weibull, Log-normal e Normal), através do teste do Qui-quadrado com 5% de significância, para uma série histórica de precipitação pluvial diária em Piracicaba, São Paulo. Para fins de análise, os autores agruparam as precipitações diárias de dias semelhantes, obtendo assim uma série para cada dia dos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro (período chuvoso a ser analisado).

Preenchimento de Falhas

As séries históricas podem conter lacunas que são causadoras de grande incerteza nos processos de estimativa e compreensão da distribuição de uma variável. Em geral, essas falhas são consequência de problemas

com os aparelhos de coleta e a ausência do operador em determinadas épocas, comprometendo a continuidade das informações.

Para minimizar esse efeito, é frequente o uso de técnicas para o preenchimento de falhas. Os métodos mais usuais para correção e homogeneização de dados pluviométricos são: ponderação regional, regressão linear, redes neurais artificiais, dupla massa, e método do vetor regional. (ANA, 2012; OLIVEIRA et al., 2010; WANDERLEY et al., 2012).

O método da regressão é uma técnica geral usada para relacionar uma variável dependente a diversas variáveis independentes. Oliveira et al. (2010) compararam metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual de seis estações pluviométricas localizadas no Estado de Goiás. Os autores reportam que os menores desvios relativos foram obtidos pelos métodos da regressão linear múltipla e do vetor regional combinado com a regressão potencial múltipla. Fernandez (2002) também comparou métodos de preenchimento de falhas, utilizando dados de 13 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, e constatou que, dentre os métodos estudados, um dos que melhor obtiveram bons resultados para previsão de dados foi o de análise de regressão múltipla.

A ANA (2012) recomenda analisar os dados de conjuntos de estações de medição pluviométricas próximas para permitir o preenchimento de lacunas nos registros ou a

substituição de dados observados e considerados errôneos. No entanto, quando não há estações meteorológicas próximas, pode-se buscar uma correlação entre a variável precipitação e as demais variáveis medidas na mesma estação, sendo este um dos objetivos deste trabalho.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo verificar a aderência da série histórica de precipitação total mensal, de uma estação pluviométrica em Recife, às distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama, exponencial, Gumbel (máximos) e Weibull; e encontrar uma equação para preenchimento de falhas a partir das outras variáveis medidas na estação.

MATERIAIS EMÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram os totais mensais de precipitação registrados na estação meteorológica Recife Curado 834007, no Estado de Pernambuco, operada pelo INMET e inserida na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, referente aos anos de 1986 até 2016. A Tabela 1 e o Figura 1 apresentam os dados analisados separados em 19 classes. Analisando graficamente, verifica-se que a variável estudada não apresentou comportamento correspondente a nenhuma das distribuições em estudo. Portanto, para a realização do teste de hipótese de aderência, os dados foram reagrupados de acordo com os meses do ano (Janeiro a Dezembro).

Tabela 1: Frequência da precipitação total por classes

Classe	Limite (mm)		Elementos	Frequência	
	Inferior	Superior		Relativa	Acumulada
1	6,5	45,93	138	37,10%	37,10%
2	45,93158	85,36	29	7,80%	44,89%
3	85,36316	124,79	41	11,02%	55,91%
4	124,7947	164,23	29	7,80%	63,71%
5	164,2263	203,66	20	5,38%	69,09%
6	203,6579	243,09	20	5,38%	74,46%
7	243,0895	282,52	16	4,30%	78,76%
8	282,5211	321,95	20	5,38%	84,14%
9	321,9526	361,38	13	3,49%	87,63%
10	361,3842	400,82	10	2,69%	90,32%
11	400,8158	440,25	14	3,76%	94,09%
12	440,2474	479,68	3	0,81%	94,89%
13	479,6789	519,11	8	2,15%	97,04%
14	519,1105	558,54	5	1,34%	98,39%
15	558,5421	597,97	1	0,27%	98,66%
16	597,9737	637,41	3	0,81%	99,46%
17	637,4053	676,84	1	0,27%	99,73%
18	676,8368	716,27	0	0,00%	99,73%
19	716,2684	755,70	1	0,27%	100,00%

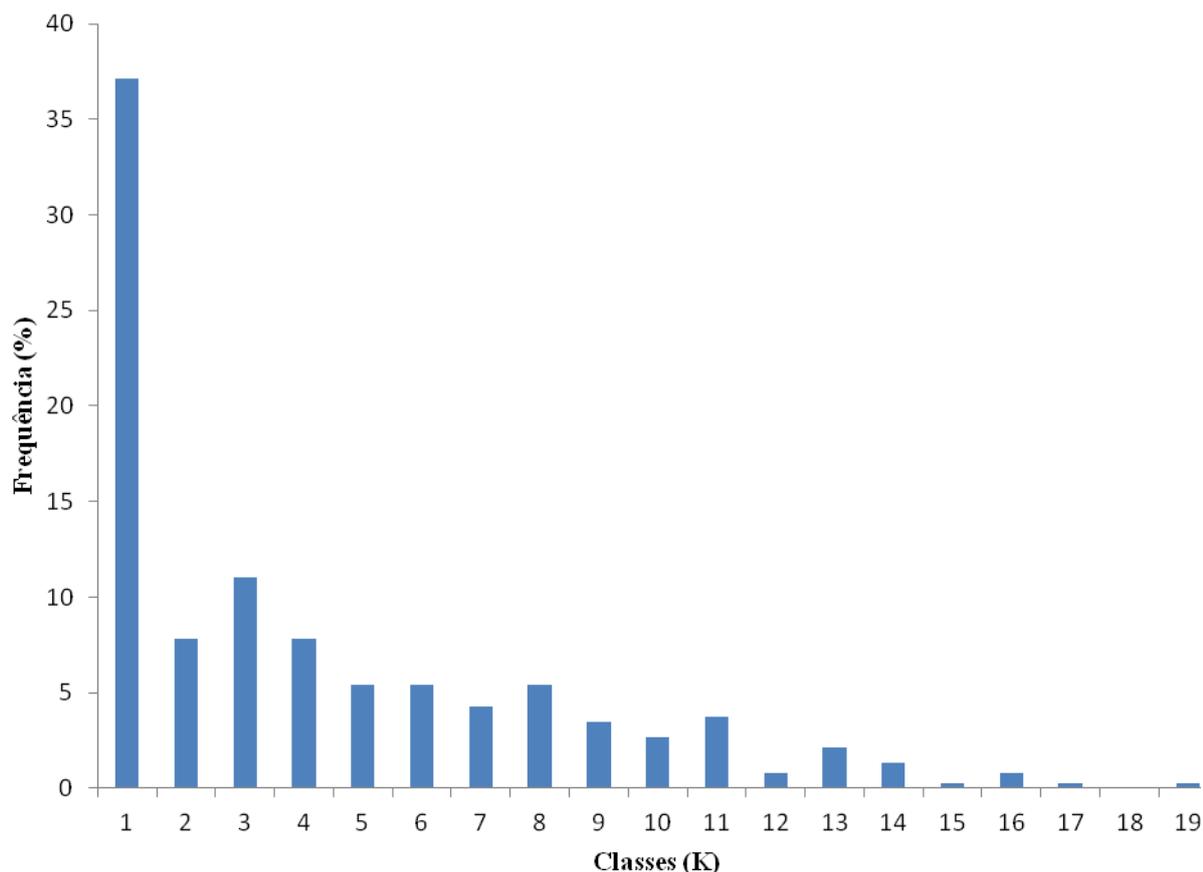


Figura 1. Frequência de distribuição por classe da precipitação total, posto 834007

Seis distribuições de probabilidade foram testadas aos dados de precipitação total e comparadas entre si: Normal, Exponencial, Log-normal, Gama, Gumbel (máximos) e Weibull. Para tanto, foram utilizados três testes de aderência distintos para 95% de confiança: de Kolmogorov-Smirnov (KS), Qui-Quadrado, e Anderson-Darling (AD). Os dados foram trabalhados utilizando o software Excel e as metodologias para os testes de aderência e distribuições de probabilidade encontram-se em Naghettini e Pinto (2007).

A série histórica analisada não apresentou falhas, contudo, utilizando-se da regressão, buscou-se uma equação que pudesse sanar futuros problemas de falhas. Normalmente, falhas em dados pluviométricos são preenchidas utilizando como base outros postos pluviométricos da região, porém neste trabalho preferiu-se estimar os parâmetros com base nas outras treze variáveis medidas pela estação meteorológica, sendo elas: velocidade do vento média (VVM), velocidade do vento máxima média (VVMM), evaporação do piche (EP), evapotranspiração potencial BH (EPBH), evapotranspiração real BH (ERBH), insolação total (IT), nebulosidade média (NM), número de dias com precipitação (NDP), pressão atmosférica média (PAM), temperatura máxima média (TMaM), temperatura compensada média (TCM), temperatura mínima média (TMiM) e umidade relativa

média (URM).

Para obtenção da melhor equação, foi realizada regressão múltipla linear. Os parâmetros observados nas regressões foram erro padrão (Se), coeficiente de determinação para regressão múltipla (R^2 -ajustado), F de significação (menor que 10%) e valor-p (menor que 10%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste de Aderência

Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS)

O teste de Kolmogorov-Smirnov é conhecido como um teste conservador, com deficiências em discernir as diferenças das frequências empíricas e teóricas nas caudas. Contudo, os resultados do teste apontam em não rejeição da hipótese nula para as distribuições analisadas, com exceção da exponencial no período entre maio e agosto (período chuvoso). As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados do teste de aderência KS.

Destaca-se que a distribuição exponencial é utilizada na hidrologia em sua maioria para estimar eventos extremos máximos (inundações), assim como a distribuição de Gumbel. Contudo, para essa distribuição os dados se ajustaram bem. A Figura 2 traz um comparativo das duas

distribuições com a frequência acumulada empírica para o mês de agosto.

Tabela 2. Resultados do teste KS com 95% de confiança para as distribuições Normal, Lognormal e Exponencial

Mês	Normal		Lognormal		Exponencial	
	Dmax	Ajuste	Dmax	Ajuste	Dmax	Ajuste
Janeiro	0,184	NR	0,107	NR	0,187	NR
Fevereiro	0,181	NR	0,165	NR	0,156	NR
Março	0,194	NR	0,105	NR	0,204	NR
Abril	0,100	NR	0,153	NR	0,203	NR
Mai	0,131	NR	0,070	NR	0,252	R
Junho	0,072	NR	0,141	NR	0,276	R
Julho	0,101	NR	0,072	NR	0,319	R
Agosto	0,112	NR	0,070	NR	0,328	R
Setembro	0,220	NR	0,102	NR	0,174	NR
Outubro	0,224	NR	0,097	NR	0,152	NR
Novembro	0,118	NR	0,176	NR	0,157	NR
Dezembro	0,147	NR	0,124	NR	0,126	NR

Dcrit = 0,238; R: Rejeitar; NR: Não Rejeitar.

Tabela 3. Resultados do teste KS com 95% de confiança para as distribuições Gama, Gumbel, Weibull

Mês	Gama		Gumbel		Weibull	
	Dmax	Ajuste	Dmax	Ajuste	Dmax	Ajuste
Janeiro	0,100	NR	0,125	NR	0,118	NR
Fevereiro	0,107	NR	0,128	NR	0,114	NR
Março	0,119	NR	0,137	NR	0,142	NR
Abril	0,117	NR	0,127	NR	0,102	NR
Mai	0,069	NR	0,064	NR	0,100	NR
Junho	0,118	NR	0,140	NR	0,079	NR
Julho	0,066	NR	0,070	NR	0,093	NR
Agosto	0,074	NR	0,077	NR	0,089	NR
Setembro	0,122	NR	0,156	NR	0,151	NR
Outubro	0,125	NR	0,153	NR	0,148	NR
Novembro	0,133	NR	0,139	NR	0,121	NR
Dezembro	0,070	NR	0,098	NR	0,083	NR

Dcrit = 0,238; R: Rejeitar; NR: Não Rejeitar.

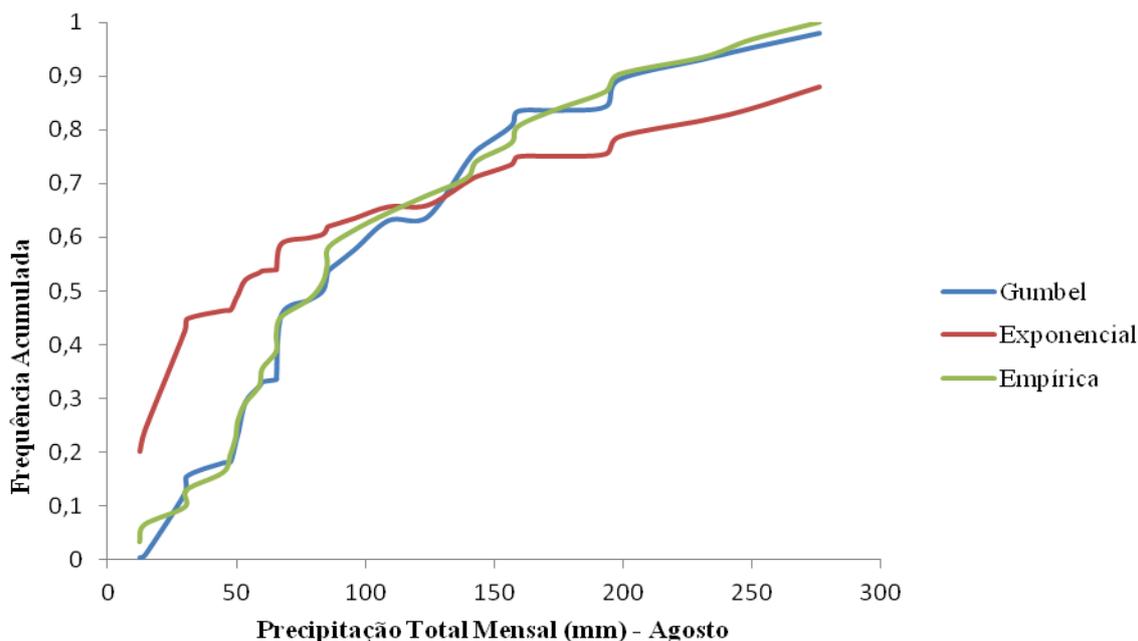


Figura 2. Comparação distribuições Gumbel e Exponencial

Percebe-se que a distribuição exponencial não se ajusta adequadamente, segundo o teste KS, especialmente para valores extremos mínimos e máximos.

Teste de aderência de Anderson-Darling (AD)

O teste de AD é uma evolução do KS, e tem como objetivo minimizar possíveis erros nas caudas das distribuições, nas quais as maiores (ou menores)

observações da amostra podem alterar de sobremaneira a qualidade do ajuste. Porém, para este teste, a maioria das distribuições não apresentou bom ajuste, como observado na Tabela 4.

Conforme esperado, por dar mais relevância às caudas das distribuições, as distribuições Weibull e Gumbel (máximos) apresentaram os melhores resultados. A distribuição Gama não é analisada por esse método.

Tabela 4. Resultados do teste AD com 95% de confiança

Mês	Normal		Lognormal		Exponencial		Gumbel		Weibull	
	Acrit = 0,752		Acrit = 0,752		Acrit = 0,757		Acrit = 0,757		Acrit = 0,757	
	A ² corr	Ajuste								
Janeiro	1,044	R	0,835	R	1,609	R	0,433	NR	-38,180	NR
Fevereiro	1,281	R	1,186	R	1,124	R	0,675	NR	-37,980	NR
Março	1,294	R	0,594	NR	2,439	R	0,559	NR	-38,105	NR
Abril	0,327	NR	1,387	R	3,361	R	0,618	NR	-38,615	NR
Mai	0,526	NR	0,366	NR	3,882	R	8,566	R	-38,222	NR
Junho	0,274	NR	1,353	R	5,647	R	1,226	R	-39,059	NR
Julho	0,335	NR	0,350	NR	5,877	R	0,315	NR	-38,361	NR
Agosto	0,450	NR	0,484	NR	4,938	R	0,279	NR	-38,424	NR
Setembro	1,498	R	0,265	NR	1,660	R	0,634	NR	-37,699	NR
Outubro	1,767	R	0,422	NR	1,548	R	0,722	NR	-37,799	NR
Novembro	0,653	NR	1,582	R	2,357	R	0,679	NR	-38,456	NR
Dezembro	1,075	R	0,920	R	1,103	R	0,431	NR	-38,009	NR

R: Rejeitar; NR: Não Rejeitar; NA: Não se Aplica.

Teste de aderência do Qui-Quadrado

Para realização do teste Qui-quadrado é necessário a partição das amostras em classes. Como para todos os meses o número de amostras é 31, temos então que o número de classes deve ser entre 5 e 6. Portanto, foi adotado para todos os casos a partição de 6 classes. E os resultados resumidos encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

Dentre as distribuições, a Gama apresentou os melhores resultados, rejeitando a hipótese nula apenas os meses de fevereiro, outubro e novembro. A distribuição Weibull

também se mostrou adequada para o período entre outubro e abril. A distribuição Normal apresentou resultados similares ao encontrados para o teste de aderência AD. A distribuição de Gumbel (máximos) ajustou-se bem ao período chuvoso, com exceção do mês de junho.

Destaca-se que todos os testes Qui-quadrado foram realizados para seis classes. Não garantindo os mesmos resultados para testes realizados com outras partições das amostras.

Tabela 5. Resultados do teste Qui-Quadrado com 95% de confiança

Mês	Normal		LogNormal		Exponencial	
	X ² crit = 7,81		X ² crit = 7,81		X ² crit = 9,49	
	X ²	Ajuste	X ²	Ajuste	X ²	Ajuste
Janeiro	9,13	R	4,66	NR	3,88	NR
Fevereiro	18,41	R	12,79	R	8,07	NR
Março	8,78	R	5,75	NR	7,94	NR
Abril	7,16	NR	8,89	R	12,31	R
Mai	1,03	NR	1,83	NR	10,94	R
Junho	5,11	NR	10,72	R	31,05	R
Julho	2,73	NR	1,25	NR	18,28	R
Agosto	4,91	NR	2,04	NR	21,13	R
Setembro	10,89	R	1,36	NR	2,58	NR
Outubro	26,65	R	13,26	R	9,99	R
Novembro	14,52	R	17,06	R	12,51	R
Dezembro	17,19	R	8,16	R	5,53	NR

R: Rejeitar; NR: Não Rejeitar.

Tabela 6. Resultados do teste Qui-Quadrado com 95% de confiança

Mês	Gama		Gumbel		Weibull	
	X ² crit = 7,81		X ² crit = 7,81		X ² crit = 7,81	
	X ²	Ajuste	X ²	Ajuste	X ²	Ajuste
Janeiro	2,90	NR	4,26	NR	3,06	NR
Fevereiro	8,93	R	11,28	R	3,43	NR
Março	4,31	NR	5,18	NR	4,02	NR
Abril	5,75	NR	6,84	NR	6,98	NR
Mai	0,66	NR	0,96	NR	7,96	R
Junho	7,42	NR	10,57	R	19,98	R
Julho	0,83	NR	1,31	NR	15,71	R
Agosto	2,47	NR	2,20	NR	11,72	R
Setembro	0,95	NR	2,22	NR	12,76	R
Outubro	11,18	R	15,01	R	4,06	NR
Novembro	11,79	R	13,90	R	5,55	NR
Dezembro	5,92	NR	8,72	R	4,20	NR

R: Rejeitar; NR: Não Rejeitar.

Onde a estatística X² expressa a soma das diferenças quadráticas entre as realizações das variáveis aleatórias e

suas respectivas médias populacionais, e o X²crítico, o maior valor para o qual a hipótese se confirma.

A Figura 3 traz a distribuição normal para todos os meses apontados pelos testes de aderência. estudados, a fim de analisar os diferentes resultados

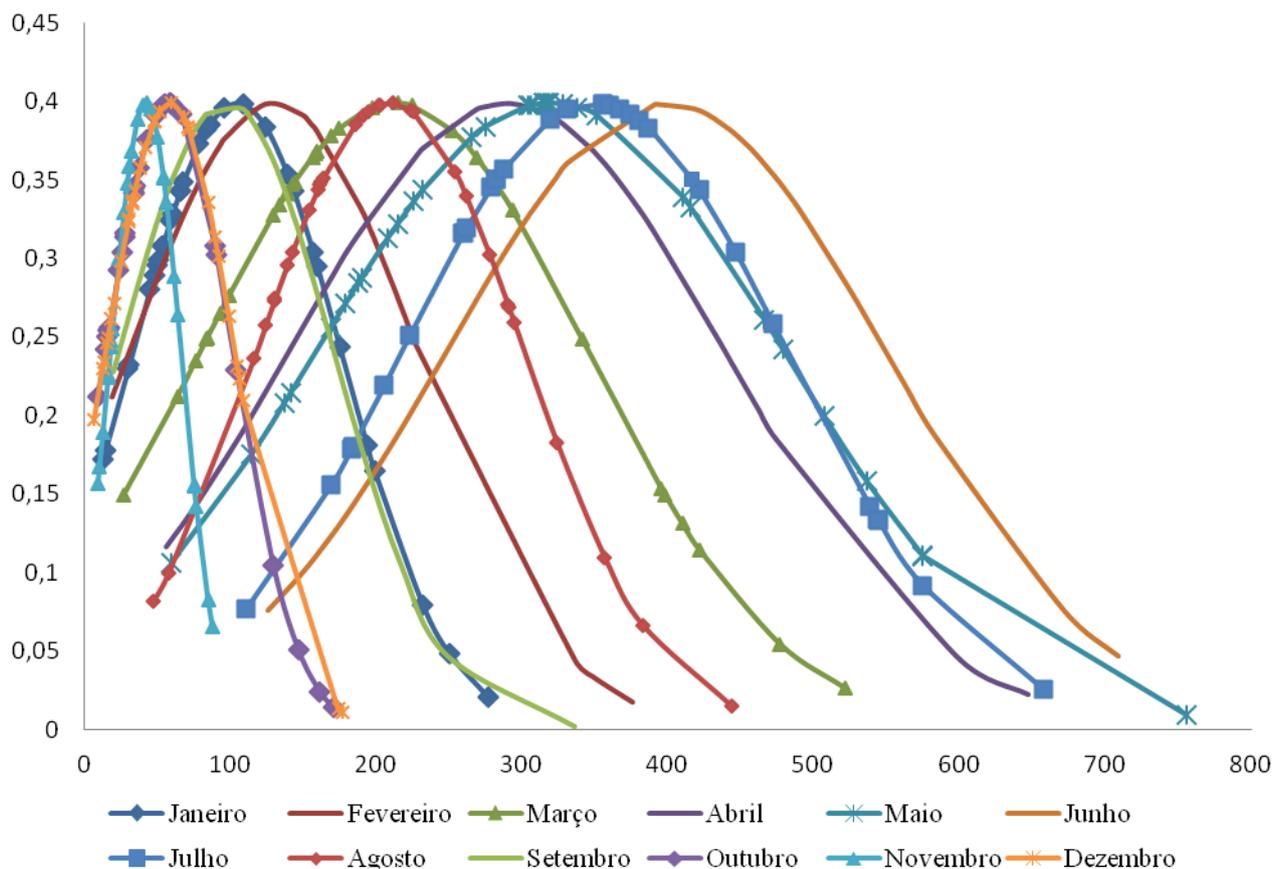


Figura 3. Distribuição Normal de Jan.-Dez.

Todos os meses apresentam comportamento de ajuste à distribuição normal, conforme resultado do teste de aderência de KS. Contudo, os meses de janeiro, fevereiro, março, setembro, outubro e dezembro não apresentam a cauda inferior da distribuição, o que corrobora com o resultado do teste de aderência AD, não se ajustando às caudas.

O teste Qui-quadrado avalia através da divisão de classes, portanto, as distribuições com curvas mais acentuadas tendem a serem rejeitadas, como janeiro, setembro, outubro, novembro e dezembro, enquanto que, os meses de fevereiro e março, mesmo apresentando curvas menos acentuadas, podem ter sido prejudicados pela divisão de

classes.

O Quadro 1 apresenta um comparativo entre os resultados encontrados na literatura com os encontrados neste estudo. Ao compararmos os resultados desta pesquisa com os demais estudos da literatura verifica-se que se pode adotar uma distribuição como ideal sem uma análise prévia dos dados, e definição da finalidade do estudo. Testes de aderência diferentes levam em consideração fatores diferentes, além das características geográficas da região. Contudo, esse quadro pode auxiliar no desenvolvimento de novos estudos em outras localidades, dando suporte na tomada de decisão.

Quadro 1: Distribuições de probabilidade para séries de precipitação total

Referência	Local	Variável analisada	Teste de aderência	Distribuições de Probabilidades que melhor se ajustaram
Lyra et al. (2006).	Estado de Táchira, Venezuela.	Precipitação mensal	Qui-Quadrado	Exponencial e Gama: período seco. Normal: período úmido. Gama: meses de transição (Abril). Normal: meses de transição (Novembro).
Souza et al. (2010).	Região Semiárida, Pernambuco.	Precipitação Mensal	Qui-Quadrado	Log-normal: Julho, Agosto, Setembro e Outubro. Gama: Fevereiro e Março. Beta: todos os meses do ano.
Silva et al. (2007).	Santa Maria, Rio Grande do Sul.	Precipitação diária	AD, Cramér-von Mises, Qui-Quadrado e KS	Gama e Weibull.
Moraes et al.(2005).	Estado do Pará, Brasil.	Precipitação mensal e anual		Normal.
Martins et al. (2010).	Tangará da Serra, Mato Grosso.	Precipitação mensal	Kolmogorov-Smirnov	Gama.
Dourado Neto et al. (2005).	Piracicaba, São Paulo.	Precipitação diária	Qui-Quadrado	Weibull: Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro. Exponencial: Março e Novembro. Log-Normal: Março. Gama: Janeiro, Fevereiro, Março, Outubro, Novembro, Dezembro.
Soccol et al. (2010).	Lajes, Santa Catarina.	Precipitação mensal	Kolmogorov-Smirnov	Gama.
Este estudo.	Recife, Pernambuco.	Precipitação mensal	Kolmogorov-Smirnov.	Normal, Log-Normal, Gama, Weibull, Gumbel (Máximos).
Este estudo.	Recife, Pernambuco.	Precipitação mensal	Anderson-Darling	Weibull: para todos os meses. Gumbel (Máximos): para todos os meses, exceto maio e junho.
Este estudo.	Recife, Pernambuco.	Precipitação mensal	Qui-Quadrado	Gama: todos os meses exceto fevereiro, outubro e novembro. Weibull: outubro a abril.

Regressão e preenchimento de falhas

Objetivando relacionar o maior número possível de variáveis com a precipitação total, foi realizada regressão linear múltipla para todo o período analisado (1986-2016), sem levar em consideração a divisão mensal. Numa análise preliminar, percebeu-se que os dados referentes a evaporação potencial (EPBH), a evaporação

real (ERBH) e a pressão atmosférica média (PAM) apresentavam lagunas de mais de 50% da série histórica, mostrando ser um dado que poderia conduzir a resultados não esperados, portanto, foram desconsiderados antes mesmo de realizar as primeiras regressões.

A Eq. 1 apresentou os melhores resultados na estimativa da precipitação total na estação estudada.

$$PT = -1793,53 - 46,91(VVM) + 9,12(VVMM) - 0,86(IT) + 22,51(NM) + 3,2(NDP) + 26,72(TCM) + 17,14(URM) \quad (1)$$

As variáveis que são diretamente proporcionais à precipitação são: velocidade dos ventos máxima média, nebulosidade média, número de dias precipitados, temperatura compensada média e umidade relativa média. Enquanto que, as variáveis indiretamente proporcionais são: velocidade dos ventos média e insolação total. Além das variáveis que não foram levadas em consideração nas

primeiras regressões, outras delas também não apresentaram bom ajuste à estimativa: evaporação do piche, evapotranspiração potencial BH, evapotranspiração real BH, temperatura mínima média e temperatura máxima média.

Para este modelo, o coeficiente de determinação para regressão múltipla (R^2 -ajustado) foi de 0.78, com um erro

padrão (Se) de 75,46. Com o objetivo de analisar o comportamento do valor estimado, a Figura 4 apresenta uma comparação entre o valor observado e o valor estimado pela Eq. 1.

Dentre os anos de 1986 e 1989, as variáveis Velocidade do Vento Média, Velocidade do Vento Máxima Média, Insolação Total e Nebulosidade Média apresentaram falhas, por isso não foi possível estimar a precipitação total para esse período. O mesmo ocorreu com a variável Número de Dias com Precipitação no período de 2013 a 2016.

De modo geral, a equação encontrada comporta-se semelhante à precipitação observada. Contudo, dentre os

valores estimados, observam-se valores negativos, como para a variável estudada este comportamento não é possível, deve-se considerar nesses casos que não houve precipitação.

Observando os eventos extremos máximos e mínimos, percebeu-se que os mesmos apresentaram os piores ajustes. Nos eventos extremos máximos, os picos observados, em geral, estão acima do valor estimado, ou seja, há uma tendência em subestimar a precipitação através deste modelo. Aconselha-se avaliar outros modelos de preenchimento, caso o objeto de estudo seja direcionado a eventos extremos.

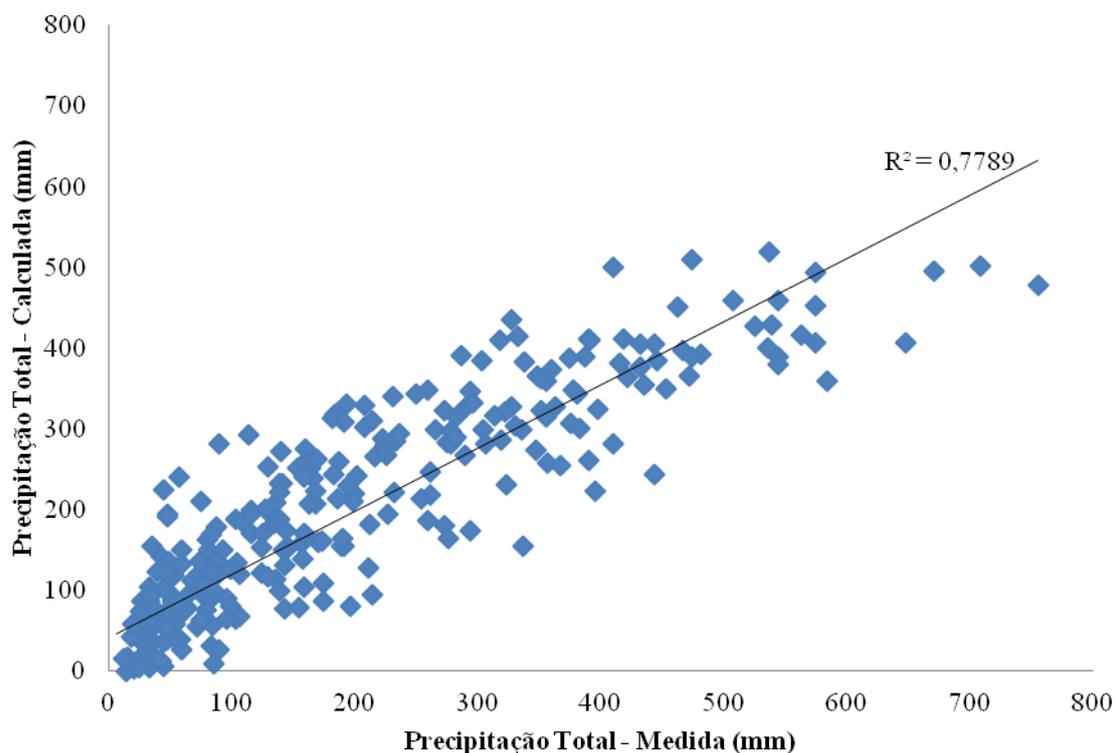


Figura 4. Dispersão Precipitação Total Observada x Estimada

CONCLUSÕES

Ressalta-se que mesmo o teste de Kolmogorov-Smirnov sendo considerado o mais conservador, apresentou bons resultados para praticamente todas as distribuições analisadas. A distribuição exponencial provavelmente apresentou rejeição para os meses de maio a agosto, pois normalmente são utilizados para dados de eventos extremos máximos.

O teste Qui-quadrado, bastante utilizado na literatura, permite que o tomador de decisões consiga manipular os dados de modo que se ajustem a distribuição esperada, o que pode gerar resultados distorcidos. O teste de Anderson-Darling é uma evolução do KS para avaliação das caudas e trouxe bons resultados para os testes de eventos extremos de Weibull e Gumbel (máximo).

Ademais, a escolha do teste e da distribuição deve ser ponderada pelo tomador de decisão com base no que se almeja estimar e nos seus métodos atrelados.

Quanto às equações para preenchimento de falhas da variável precipitação total, a melhor foi obtida através da regressão múltipla linear relacionando sete variáveis: velocidade dos ventos média (VVM), velocidade dos ventos máxima média (VVMM), insolação total (IT), nebulosidade média (NM), número de dias precipitados (NDP), temperatura compensada média (TCM) e umidade relativa média (URM). Contudo, como a equação depende de muitas variáveis, provavelmente dificultará sua aplicação em caso de falha, além de apresentar pouco ajuste para os eventos extremos máximos e mínimos.

Salienta-se também que, normalmente, o preenchimento de falhas para dados de precipitação total é realizado

através de comparação com outros postos pluviométricos a fim de encontrar áreas homogêneas. Sendo a equação apresentada neste estudo uma alternativa, caso não seja possível encontrar áreas homogêneas ou postos com dados consistidos para o período da falha. Ademais, qualquer preenchimento de falha deve ser corroborado por uma análise de consistência dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). **Orientações para consistência de dados pluviométricos**. Brasília: ANA, SGH, 2012. 21p.

DOURADO NETO, D.; ASSIS, J. P. de; TIMM, L. C.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 273-283, 2005.

FENANDEZ, M. N. **Preenchimento de falhas em séries temporais**. Dissertação(mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Escola de Engenharia, 2007.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. de S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 205-215. Brasília, 2006.

MARTINS, J. A.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; SANTI, A.; KOLLING, E. M.; COLETTI, A. J. Probabilidade de precipitação para a microrregião de Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 291-296. Goiânia, GO, 2010.

MORAES, B. C. de; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L. da; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônica**, vol. 35, n. 2, p. 207-214, 2005.

NAGHETTINI, M.; PINTO, J. de A. P. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

OLIVEIRA, L. F. C. de; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p.1186-1192, 2010. Campina Grande, PB.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 1, p.67-72. Campina Grande, PB, 2007.

SOCCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p.569-574. Campina Grande, PB, 2010.

SOUZA, I. F.; LUNDGREN, W. J. C.; NETTO, A. O. A. comparação entre distribuições de probabilidades da precipitação mensal no estado de Pernambuco. **Scientia Plena**, v. 6, n.6, 2010.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C. de; CARVALHO, F. O. de. Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, 347 - 354, 2012.