

ANÁLISE DOS ERROS E INCERTEZAS NAS ESTIMATIVAS DE CHUVAS MÁXIMAS A PARTIR DE SÉRIES DE CURTA DURAÇÃO

Ticiano Marinho de Carvalho Studart¹, Daniel Dantas Muniz Nepomuceno², Euclides Lourenço de Melo Neto³, Renata Mendes Luna⁴ e Maria Inês Teixeira Pinheiro⁵

RESUMO. A quantificação dos erros e análise das incertezas inerentes às estimativas de eventos hidrológicos máximos visando o dimensionamento de obras hidráulicas é de fundamental importância, principalmente em regiões de alta variabilidade pluviométrica como o Nordeste Brasileiro. Neste estudo selecionou-se nove postos pluviométricos espacialmente distribuídos no Estado do Ceará e foram calculadas suas chuvas máximas para períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos. Gerou-se séries sintéticas com mesmas características estatísticas das históricas, mas igualmente prováveis, e calculou-se a probabilidade de se obter eventos mais críticos que os determinados com as séries históricas. Os resultados apontam para riscos altíssimos de se obter valores superiores ao de projeto (oriundo das séries originais), valores estes variando de 30 a 50%.

ABSTRACT. The quantification of errors and uncertainties analysis on maximum hydrological events determination to dimension hydraulic works is very important, mostly in semi-arid climates with highly variable annual rain, such as Northeast Brazil. In this paper, it was selected nine rain gages, spatially distributed in Ceará State area. It was determined the maximum daily precipitation, for each rain gage, for its historical data, for return periods equal to 100, 1.000 e 10.000 years. It was generated 50 series of precipitation, each one different from the historical one, but with the same statistical properties and as equally probable. It was calculated the risk to occur critical events worst than those determined from historical one. It was found very high risks, ranging from 30% to 50%.

Palavras-Chave: Chuvas máximas, Séries de curta duração, Erros.

¹ Professora Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da UFC. E-mail: ticiano@ufc.br

² Aluno do curso de Graduação em Engenharia Civil da UFC

³ Aluno do curso de Graduação em Engenharia Civil da UFC

⁴ Professora Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da UFC. E-mail: renata.luna@ufc.br

⁵ Professora do IFCE – Campus Maracanaú. E-mail: inestp@cefet.br

INTRODUÇÃO

O dimensionamento de obras hidráulicas se faz com o uso de séries hidrológicas históricas, seja de precipitação ou vazão. Mesmo sendo muito mais abundantes e via de regra, muito mais extensas que as séries de vazão, o uso de séries de precipitação ainda envolve uma grande incerteza nas estimativas dos valores máximos diários anuais, principalmente no Nordeste Brasileiro, onde a variabilidade anual das chuvas são as maiores do mundo.

Em função dos eventos hidrológicos extremos como os ocorridos na estação chuvosa de 2009, por todo o Nordeste, e dos vários episódios de rompimentos de barragens por toda a Região, alguns, infelizmente, com perdas de vida humana, é necessário avaliar as incertezas envolvidas nas estimativas das chuvas de projeto, para um dado período de recorrência, a partir de séries históricas de curta duração, única informação disponível para o hidrólogo.

As incertezas podem ser oriundas das mais variadas fontes. No caso específico de modelagem matemática de sistemas hidrológicos, Vincens et al.(1975) classificaram as incertezas inerentes a estes estudos em três tipos: Incertezas do Tipo I - ocasionadas pelo desconhecimento do verdadeiro modelo que rege o processo natural; Incertezas do Tipo II - geradas na avaliação dos parâmetros dos modelos matemáticos e Incertezas do Tipo III - aquelas inerentes aos processos naturais. Estas últimas são as analisadas no presente estudo.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar as incertezas envolvidas nas estimativas de eventos hidrológicos máximos (precipitação) a partir de séries hidrológicas de curta duração.

Objetivo específico

Calcular a probabilidade da chuva de projeto (com recorrências de 100, 1.000 e 10.000 anos) ser excedida caso uma nova série histórica de chuva, com mesmas características probabilísticas da série histórica (distribuição de probabilidade, média e desvio-padrão) tivesse ocorrido.

METODOLOGIA

Para esta análise selecionou-se nove postos pluviométricos no Estado do Ceará, especialmente distribuídos pelas oito macro-regiões pluviométricas estabelecidas pela FUNCEME (Figura 1). Os postos pluviométricos selecionados em cada macro-região são os que se seguem:

- Litoral Norte: (Acará)

- Litoral de Pecém: (Paracuru)
- Litoral de Fortaleza: (Caucaia e Fortaleza)
- Maciço de Baturité: (Baturité)
- Sertão Central e Inhamuns: (Quixeramobim)
- Ibiapaba: (Ibiapina)
- Região Jaguaribana: (Pedra Branca)
- Cariri: (Brejo Santo)

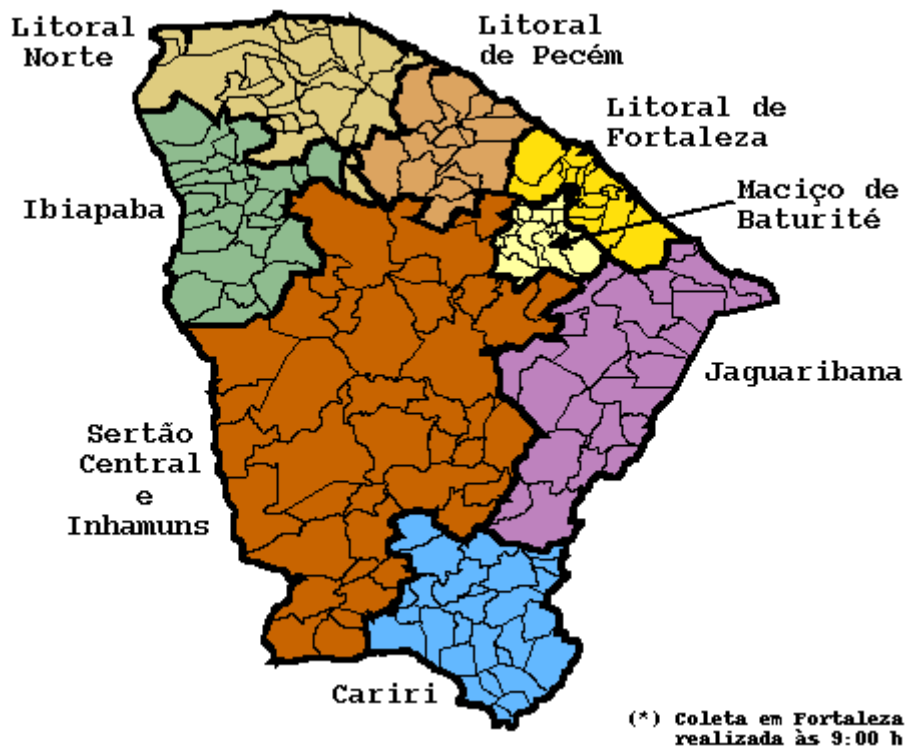


Figura 1- Macro-regiões homogêneas do Estado de Ceará. (Fonte: FUNCEME)

A seguir, foram coletados, através dos arquivos de dados disponibilizados no site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), as séries históricas diárias de cada posto selecionado. Formou-se uma nova série, desta vez contendo as chuvas máximas diárias de cada ano (Tabela 1), ajustou-se estas séries a uma distribuição de Probabilidades (Gamma II ou LogNormal) e determinou-se, para cada posto, as chuvas máximas (ou chuvas de projeto) para diferentes períodos de retorno (100, 1.000 e 10.000 anos).

Tabela 1 – Séries de precipitações máximas diárias anuais para cada posto selecionado – Séries históricas.

Ano	Fortaleza	Caucaia	Acaraú	Paracuru	Baturité	Brejo Santo	Pedra Branca	Ibiapina	Quixeramobim
1974	147	125	142,2		65	156,8	75	120	65
1975	68,2	64	79		51	232	82,8	88	72
1976	85,5	82	58,2		65	122,5	75	86	55
1977	168	94	91,2	82,2	89	62,4	100	86	60
1978	122,2	126	86,2	75,3	84	139,5	113	69	60
1979	117,7	70	80	49,2	73	154,4	55	84	50
1980	84,1	70	53,1	115,3	64	75,6	73	103	95
1981	161,6	104	91	114,2	87	61	65	88	58
1982	74,7	58	101	79,2	54,2	101	47	98	93,5
1983	91,4	72,2	69,5	63,2	134	73	83	121	57,4
1984	112,4	77	86	75,3	56	72,8	65	89	109
1985	145,5	92,4	137,6	104,2	98	77,2	125	125	98,9
1986	142,8	115,8	166	120,2	75	83,2	86	125	84,6
1987	83,1	78	109,9	120,3	47	70	50	86	57,6
1988	82,6	89,4	123,2	104,2	114,8	71	61	75	49,6
1989	79,4	58,6	118,3	110	84	114,4	71	90	93
1990	68,6	41,8	55,4	69	52	76,4	78	115	86,4
1991	116,6	76,2	65,5	70	54	45	130	93	64,2
1992	75,6	48	180,2	60,2	111	53,2	53,5	51	81,2
1993	106,3	63	61,5	130	63	66	41	70	59,6
1994	75,4	94	125	142	85	170	61	102	88
1995	115,6	154	141,2	133	78	84	45	102	63,6
1996	109,4	114	97	157	51,8	119	67	78	67
1997	162	93,4	104,4	112,6	43,9	92,8	70	73	61,8
1998	80,6	57,2	47,6	136	38,2	56,2	72,9	44	29,4
1999	74,2	66	63,2	93	48	95	50	66	71,2
2000	86	87	150	82	99,4	37,5	73	140	69,4
2001	124,2	141	50	143	118	194	50	125	49

2002	99	95,6	48	165	82	140	61	108	78
2003	138	105	145,4	82	53	72	68	85	91,2
2004	250	137,6	148	150,3	50,5	118	62	110	85,5
2005	68	55	45	78	107	63	139	100	45
2006	113	117	82	79,6	58,9	195	68	125	62
2007	89	128	46,3	83,6	63,6	112	56	80	45

As estatísticas - média, desvio-padrão e coeficiente de variação - das séries de chuvas máximas diárias anuais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatísticas das séries históricas

Estação	Média	Desvio Padrão	C.V
Fortaleza	109,3	38,72	0,35
Caucaia	89,71	28,85	0,32
Acaraú	95,53	38,91	0,41
Paracuru	102,6	31,34	0,31
Baturité	73,48	24,37	0,33
Brejo Santo	101,6	47,28	0,47
Pedra Branca	72,71	23,92	0,33
Ibiapina	94,12	22,42	0,24
Quixeramobim	69,3	18,36	0,26

Calculou-se os valores das chuvas máximas de cada uma destas séries para o período de retorno de 100, 1000 e 10000 anos (Tabela 3). As células sem preenchimento correspondem às séries que não passaram no teste do Qui-Quadrado, ou seja, não se ajustaram nem à distribuição de probabilidade Gamma II nem à Log-Normal.

Tabela 3 – Chuvas máximas (chuvas de projeto) centenária, milenar e decamilenar calculadas a partir das séries históricas

Posto Pluviométrico	P₁₀₀	P_{1.000}	P_{10.000}
Fortaleza	208,89	262,02	316,02

Caucaia	219,4	268,7	-
Acaraú	170,39	206,65	238,94
Paracuru	189,41	230,01	262,05
Baturité	242,45	172,13	200,8
Brejo Santo	242,45	312,39	375,95
Pedra Branca	139,75	169,33	197,37
Ibiapina	154,02	-	211,59
Quixeramobim	119,11	-	159,08

Geração de séries sintéticas de chuvas máximas com mesmas características probabilísticas das históricas:

As chuvas máximas anuais são serialmente independentes, e assim, podem ser obtidas a partir da geração de números aleatórios seguindo uma função densidade de probabilidade. Conhecidas todas as características das séries originais – média, CV (Tabela 2) e distribuição de probabilidade Gamma II (Tabela 3), gerou-se, para cada posto, uma série de 5000 anos de dados (precipitações máximas anuais).

A partir destes 5.000 valores de chuva diária (para cada posto), subdividiu-se em 50 séries de 50 anos e 50 séries de 100 anos. Cada uma das 50 séries (de 50 e 100 anos) de cada posto foi ajustada novamente a uma distribuição de probabilidades Gamma II e calculadas as chuvas centenária, milenar e decamilenar. Ou seja, para cada posto, obteve-se 50 valores de chuva máxima (para cada período de retorno) correspondente a cada uma das 50 séries sintéticas. A Figura 2 apresenta, como exemplo, os 50 valores obtidos para a chuva centenária, para o posto de Fortaleza.

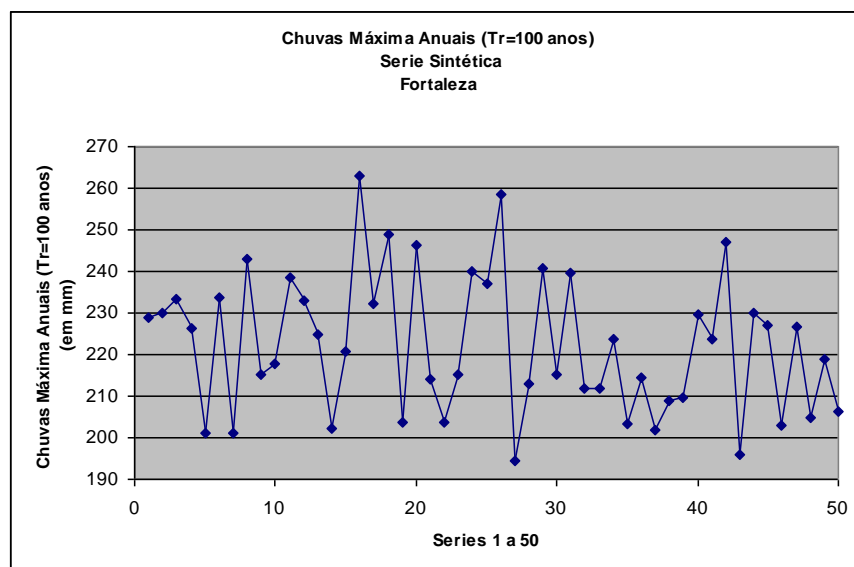


Figura 2- Valores obtidos para Pmax centenária em cada uma das 50 séries sintéticas, para o posto de Fortaleza

Para cada série gerada de 50 valores de P100, P1.000 e P10.000 (com extensão de 50 anos e 100 anos), calculou-se a média, desvio padrão e CV e ajustou-se a uma Distribuição de Probabilidades Normal (tabelas 5 e 6).

Tabela 5 – Média, desvio-padrão e C.V. das 50 séries sintéticas de 50 anos de extensão para os períodos de retorno de 100, 1000 e 10000 anos.

Séries de 50 anos									
POSTO	P100			P1000			P10000		
	μ	σ	CV	μ	σ	CV	μ	σ	CV
Fortaleza	221,07	16,5	0,07	273,31	23,97	0,09	325,61	43,78	0,13
Caucaia	170,16	10,77	0,06	208,25	11,8	0,06	233,3	17,15	0,07
Acaraú	212,8	20,33	0,10	269,14	30,31	0,11	322,99	60,53	0,19
Paracuru	187,17	11,55	0,06	226,18	15,49	0,07	256,11	16,23	0,06
Baturité	141,84	11,41	0,08	172,22	14,63	0,08	196,04	19,05	0,10
Brejo Santo	247,32	23,64	0,1	320,03	34,1	0,11	392,36	39,04	0,1
Pedra Branca	141	10,79	0,08	171,67	13,59	0,08	188,73	14,29	0,08
Ibiapina	154,75	14,47	0,09	173,61	13,5	0,08	217,71	20,68	0,09
Quixeramobim	119,24	20,17	0,17	146,55	10	0,07	164,38	10,73	0,06

Tabela 6 – Média, desvio-padrão e C.V. das amostras de 100 anos de duração para os períodos de retorno de 100, 1000 e 10000 anos.

Séries de 100 anos									
POSTO	P100			P1000			P10000		
	μ	σ	CV	μ	σ	CV	μ	σ	CV
Fortaleza	221,69	1,19	0,05	272,62	17,37	0,06	313,35	35,36	0,11
Caucaia	169,07	8,26	0,05	204,88	10,95	0,05	232,78	13,84	0,06
Acaraú	209,78	14,45	0,07	263,14	27,38	0,1	322,29	26,09	0,08
Paracuru	189,24	8,18	0,04	228,56	10,44	0,04	560,77	13,35	0,05
Baturité	140,17	6,57	0,05	170,07	8,92	0,05	192,85	9,52	0,05
Brejo Santo	241,82	16,89	0,07	309,09	26,87	0,09	376,1	30,42	0,08
Pedra Branca	140,87	7,37	0,05	171,16	9,97	0,06	194,61	12,52	0,06
Ibiapina	15306	5,18	0,03	174,21	11,4	0,07	210,13	4,89	0,02
Quixeramobim	120,77	5,53	0,05	148,28	6,06	0,04	160,13	23,39	0,15

Por fim, determinou-se a probabilidade da ocorrência de eventos de chuva máxima (na série sintética) superiores àqueles determinados a partir das séries históricas (Figura 3).

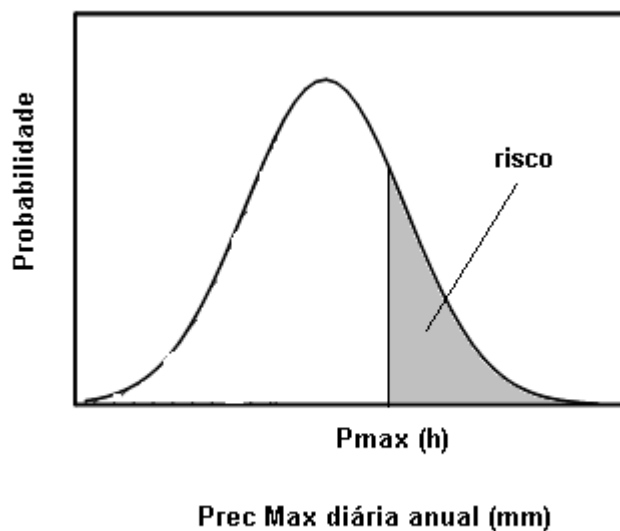


Figura 3- Distribuição das chuvas máximas para um dado posto pluviométrico e o risco de se obter uma chuva superior a de projeto

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calculou-se, com a utilização da Distribuição Normal, a probabilidade da ocorrência de valores superiores aos da chuva de projeto (série histórica). Os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Probabilidade de ocorrência de uma chuva máxima superior a original (calculada a partir de dados históricos) para amostras de 50 e 100 anos de duração com períodos de retorno de 100, 1000 e 10000 anos.

Posto	50 anos			100 anos		
	P ₁₀₀	P ₁₀₀₀	P _{10.000}	P ₁₀₀	P ₁₀₀₀	P _{10.000}
Fortaleza	55,05%	57,50%	-	57,52%	58,93%	-
Caucaia	49,16%	58,74%	37,11%	43,61%	47,21%	32,82%
Acaraú	61,43%	59,28%	54,19%	52,47%	51,64%	59,35%
Paracuru	49,87%	50,26%	40,14%	39,72%	40,89%	20,19%
Baturité	42,30%	40,24%	35,24%	49,16%	44,49%	46,19%
Brejo Santo	58,17%	58,87%	66,29%	48,52%	45,11%	50,21%
Pedra Branca	52,14%	-	61,64%	42,65%	-	38,26%
Ibiapina	54,63%	56,85%	27,26%	56,04%	57,28%	41,27%
Quixeramobim	50,25%	-	68,29%	61,78%	-	51,79%

Observa-se na Tabela 7 que os riscos de se obter valores superiores às chuvas de projetos variam de cerca de 30% a 70%, demonstrando a imensa variabilidade inter-anual das chuvas no Ceará, o que já podia ser evidenciado no coeficiente de variação dos máximos anuais das séries originais, da ordem de 0,3 a 0,4. Mesmo aumentando-se a extensão das séries de 50 para 100 anos, os riscos associados continuam imensos.

CONCLUSÃO

As incertezas inerentes ao comportamento aleatório dos processos hidrológicos naturais consistem em uma das maiores dificuldades com que o processo de dimensionamento de obras hídricas se defronta. Os resultados do presente trabalho evidenciam as enormes incertezas envolvidas na determinação de chuvas máximas em regiões de alta variabilidade anual das chuvas, como é o caso do Nordeste Brasileiro e, em especial, o Ceará, objeto deste estudo. È importante salientar que estas incertezas são naturais, inerentes ao clima Semi-Árido e, portanto, não podem ser reduzidas. Entretanto elas podem ser estudadas e incorporadas aos métodos de dimensionamento de obras hídricas.

BIBLIOGRAFIA

VINCENS,G.J., I. RODRIGUES-ITURBE E J.C. SHAAKE (1975). *A Bayesian Framework for the use of Regional Information in Hydrology*. Res.,11(3). p.405-4114, 1975.