

EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MUNDAÚ

Benício Emanuel Omena Monte¹ & Denis Duda Costa¹ & Carlos Ruberto Fragoso Júnior²

Resumo – O estudo estatístico de extremos é uma metodologia útil na caracterização do comportamento dos fenômenos hidrometeorológicos e hidrológicos servindo como informação para estudos e planejamento dos recursos hídricos. Neste trabalho, foram exploradas as precipitações extremas na bacia hidrográfica do Mundaú e áreas circunvizinhas. Previamente foi realizado um tratamento de dados para obtenção de *outliers* (i.e. pontos atípicos), posteriormente uma análise de homogeneidade e por último foi utilizada a distribuição de probabilidades de extremos *GEV*, o que possibilitou estimar magnitudes de eventos de precipitação extrema com tempos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Além disso, foi realizado um teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* para avaliar o ajuste da distribuição de probabilidades aos dados observados (distribuição empírica). Não foram identificados *outliers* ou tendências nas séries históricas de precipitação máxima entre os períodos 1962-1976 e 1977-1991. A distribuição de máximos também se ajustou bem a distribuição empírica.

Palavras-Chave – Mann-Whittney. *GEV*. IDW.

EXTREME EVENTS OF RAIN IN MUNDAÚ WATERSHED

Abstract – The extreme statistic study it is a good methodology for the characterization of behavior hydrometeorological and hydrologic phenomenon serving as information to water resources studies and planning. In this work were explored the extremes precipitation of Mundaú Watershed and around areas. Previously was accomplished a dates treatment to outliers achievement, posteriorly a homogeneity analysis and lastly was used an extremes probability distribution *GEV*, which allowed magnitudes estimate of events from extreme precipitation with year return from 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years. Furthermore, was realized an nonparametric test Kolmogorov-Smirnov to fit evaluate the probabilities distribution to empirical dates. They were not identified outliers or tendencies at the historical series of maximum precipitation between 1962-1976 and 1977-1991 periods. The maximum distribution also well fit the empirical distribution.

Keywords – Mann-Whitney. *GEV*. IDW.

¹ Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento - Centro de Tecnologia (CTEC)/ Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – Centro de Tecnologia (CTEC)/Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

INTRODUÇÃO

A gestão e o planejamento dos recursos hídricos dependem do entendimento do comportamento do sistema com base nos dados observados. Ter o conhecimento de como se apresenta os fenômenos hidrológicos ou hidrometeorológicos extremos dá subsídios para que se diminuam impactos decorrentes destes eventos naturais, mitigando problemas socioeconômicos de grande escala.

Diversos problemas estão associados aos eventos extremos, tais como racionamento de energia ou água, inundações, alagamentos urbanos e limitações de obras hidráulicas. A predição de eventos de inundação pode ser realizada a partir de estatísticas de amostras do passado e tem como resultado a probabilidade de um valor de precipitação ou vazão igualado ou superado.

O uso das distribuições de probabilidade de extremos para estimar eventos é recorrente na hidrometeorologia e hidrologia, e tem desempenhado um papel importante dentro da gestão e concepção da engenharia dos recursos hídricos, podendo servir para melhorar o rigor de intervenções com efeitos hidrológicos (Katz *et al.* 2002).

Este estudo tem o objetivo de analisar exploratoriamente os dados de uma rede de pluviômetros com levantamentos de *outliers*, estudos de homogeneidade dos dados e estimativas de magnitudes dos eventos extremos com recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, a partir do ajuste do modelo de distribuição de probabilidades aos dados observados. Além disso, foram produzidos mapas de precipitações extremas diárias para diferentes tempos de retorno ao longo da bacia do rio Mundaú.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Mundaú possui uma área de aproximadamente 4.126 km², entre os estados federados de Pernambuco e Alagoas; deste total, o trecho pernambucano se encontra com área de 2.155 km² (i.e. 52,23 % do total), situada na Mesorregião do Agreste Pernambucano com 15 municípios como parte ou a integralidade dos seus territórios estabelecidos na bacia. Enquanto que o trecho alagoano corresponde a 1.971 km² (i.e. 47,77 % do total da bacia), situado na Mesorregião do Leste Alagoano com 15 municípios fixados territorialmente total ou parcialmente na referida bacia (Figura 1).

Em termos de precipitação o COTEC (1999) traz como referência três postos pluviométricos de estações meteorológicas do INMET, um em cada curso da bacia: Alto curso (Garanhuns – 82.893 – período de dados: 1964-1989), médio curso (Palmeira dos Índios – 82.992 – período de dados: 1961-1990) e baixo curso (Maceió - 82.994 – período de dados: 1975-1990) com precipitações totais anuais de 807,3 mm, 869,5 mm e 2.167,7 mm, respectivamente, e precipitações máximas diárias já obtidas de 92,5 mm, 110,8 mm e 407,6 mm, respectivamente.

O comportamento de vazões dependendo da estação fluviométrica pode ter comportamento crítico de estiagem como valores até abaixo de 1 m³/s (i.e. estação Santana do Mundaú – 39700000 – ANA) até valores acima de 1.000 m³/s (i.e. estação Fazenda Boa Fortuna – 39770000 - ANA).

A região possui uma elevada vulnerabilidade para inundações devido as suas características geológico-geomorfológica e de uso e cobertura do solo. Sua geomorfologia é caracterizada no alto curso por superfícies aplainadas e dissecadas (i.g. serras, chapadas e morros isolados), com resquícios de cumes a altitudes próximas de 1.000 m; com médio curso apresentando superfícies aplainadas e dissecadas (i.e. cotas entre 400 m a 900 m) e forte presença de pediplanos comuns da região Nordeste (i.e.. cotas entre 500 m a 600 m); e no baixo curso, destacam-se os terraços superiores (i.e. origem fluvial, e cotas de 15 m a 20 m) e terraços médios (i.e. origem fluvial litorânea e cotas em torno de 8 m) (COTEC, 1999).

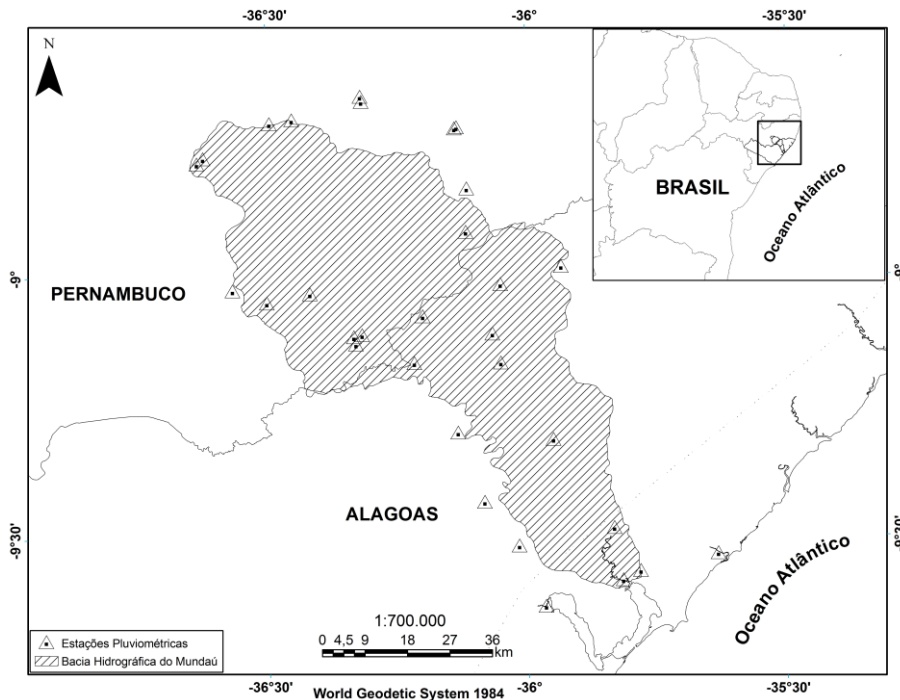


Figura 1 – Localização da área de estudo e dos pluviômetros utilizados.

Análise de frequência de eventos de precipitação máxima

Os dados iniciais foram obtidos a partir da base de pluviômetros instalados na Bacia Hidrográfica do Mundaú, da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), que são registrados diariamente. A seleção dos postos foi feita através da visualização da disponibilidade de dados pelo Gráfico de *Gantt*. Foram selecionados os postos com menor grau de falhas, em um período de 30 anos comum a todos os postos (1962 – 1991), dentre os selecionados que tiveram falhas nos meses de maior precipitação foram retirados da análise, não havendo problemas, pois se tratam de amostras independentes. Este tratamento de dados foi feito de acordo com o ano hidrológico de cheia (i.e. janeiro a dezembro), tendo como critério de seleção postos com no mínimo menos 15 anos de dados, recomendado por Saf (2010).

Os eventos extremos de precipitação de cada ano do período selecionado passaram por uma análise estatística para retirada de outliers (i.e. pontos atípicos que podem afetar qualquer análise estatística), que pode ocorrer por erros de aquisição e influência no ajuste do modelo, e posteriormente nos resultados podendo levar a conclusões incorretas demonstrando a necessidade de sua utilização (Saf, 2010). A retirada foi feita analisando caso a caso, observando se houve erro de obtenção ou foi evento que realmente aconteceu (Naghetini e Pinto, 2007).

Para a análise dos outliers foi utilizado o programa *Expert System for At-Site Frequency Analysis of Hydrologic Variables (SEAF)*, que se baseia na metodologia de Grubbs e Beck (1972) e é descrito por Naghetini e Pinto (2007).

Posteriormente foi realizado um teste de hipóteses não-paramétrico de homogeneidade para avaliar possíveis tendências nas séries históricas através da metodologia da Soma de Postos de *Wilcoxon* de amostras independentes, equivalente ao teste de *Mann-Whitney* para amostras independentes, nível de significância de $\alpha = 0,05$ e sendo bilateral, utilizando o programa *Statdisk* 11.1.0. A hipótese nula é considerada se as amostras são de populações com medianas iguais; a hipótese alternativa é considerada se as duas amostras são de populações com medianas diferentes (Triola, 2008). Nos estudos hidrológicos o teste de *Mann-Whitney* identifica se amostras foram

formadas de eventos diferentes, pois há precipitações comuns, rotineiras e de eventos especiais extremos. No entanto Naghettini e Pinto (2007) afirmam que é difícil obter heterogeneidade quando se trata de amostras pequenas e/ou variáveis de valores extremos.

A distribuição de probabilidade utilizada para estimar as precipitações máximas de projeto foi a do Valor Extremo Generalizado (GEV), que é dada como a soma das distribuições *Fréchet*, *Gumbel* e *Weibull*, e possuem três parâmetros assintóticos de valores extremos máximos (i.e. forma (k), escala (α) e posição (β)), se $k = 0$. Esta distribuição de probabilidade equivale à distribuição *Gumbel* de dois parâmetros (i.e. escala (α) e posição (β)) quando $k < 0$, tornando-se *GEV* do tipo II quando é empregado uma forma exponencial e se $k > 0$, *GEV* do tipo III quando empregado uma forma exponencial com limite.

Normalmente a escolha de uma distribuição é discutível; porém, o uso da distribuição de *GEV* para eventos extremos de inundação e tormentas é muito disseminado (e.g. Hosking *et al*, 1985; Katz *et al*, 2002; Koutsoyiannis e Baloutsos, 2000; Saf, 2010; Trambly *et al*, 2012), além de interessante para locais onde pluviômetros tem análise de coleta de uma ou 24 hs (Norbiato *et al*, 2007). Torna-se importante a utilização de uma distribuição com três parâmetros, incluindo a posição, pois elimina problemas com suavização da função de distribuição em decorrência de registro de dados curto, como pode ocorrer com a distribuição *Gumbel* (e.g. Rogger *et al*, 2012)

Foi utilizado o programa *MATLAB* para obtenção de chuvas estimadas e seus tempos de retorno considerando a distribuição de probabilidade *GEV* pelo método da Máxima Verossimilhança, que consiste em maximizar as funções dos parâmetros da distribuição, sendo bastante utilizadas devido à formação de estimadores com menor grau de variância, consistentes, suficientes e com maior eficiência assintótica.

Utilizou-se do teste de aderência *Kolmogorov-Smirnov* para a distribuição *GEV*; esse teste identificou se os dados de precipitação possuem uma boa aderência com a distribuição *GEV*. O nível de significância para determinar a aderência é de $\alpha = 0,05$ (i.e. 95 % de nível de confiança) e é uma análise bidimensional.

Após passar por todas essas etapas houve a posição de plotagem entre dados empíricos com a equação de *Gringorten* (apropriada para a distribuição *GEV*) e a probabilidade da ocorrência de eventos estimados. Foram analisados apenas os valores de precipitações máximas com tempo de recorrência igual a 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Interpolação

Para observar a heterogeneidade espacial na bacia do rio Mundaú da precipitação extrema para cada tempo de retorno foi realizada uma interpolação geostatística pelo método IDW (Inverso da Distância Ponderada), tido como um interpolador de média ponderada de modo que a influência de um ponto em relação a outro diminui com a distância (Surfer 10, 2010). Por se tratar de um método que calcula médias, os valores nunca terão variações maiores que os dos valores obtidos em cada ponto original (Miranda, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações e vazões máximas anuais foram pré-tradadas para retirada de outliers; que resultou em apenas um valor da série dos postos pluviométricos de Caetés (0836008) e Jurema

(0836021) foi descartado, pois realmente apresentaram uma inconformidade do evento em relação ao resto do conjunto de dados.

O teste não paramétrico de homogeneidade de medianas de *Mann-Whitney* indicou que as séries de precipitação não apresentaram mudanças de tendência em relação a mudanças climáticas locais ou de eventos extremos climáticos, não identificando rejeições na hipótese nula em nenhum posto pluviométrico, o que demonstra que as amostras provem de mesma população (Naghetini e Pinto, 2007).

Os resultados do teste de *Kolmogorov-Smirnov* identificaram que todos estes 31 postos se aderiram bem à distribuição de probabilidade GEV, com valor de significância $p < 0,05$.

Após a aplicação dos testes de homogeneidade e aderência, foram estimadas as alturas pluviométricas (mm) os tempos de retorno de 2,5,10,25,50 e 100 anos em cada posto pluviométrico (Tabela 1).

Com os resultados foi possível gerar informações com a chuva interpolada para o município de Maceió (Figura 2). Entretanto é preciso salientar que uma interpolação mais fiel dependeria de uma densidade maior de postos pluviométricos.

Tabela 1 – Alturas pluviométricas (mm) para tempos de retorno de 2,5,10,25,50 e 100 anos.

Código – Nome do posto	TR 2 ANOS	TR 5 ANOS	TR 10 ANOS	TR 25 ANOS	TR 50 ANOS	TR 100 ANOS
00835073 Ibateguara	55,41	62,25	69,21	72,20	73,65	74,64
00836008 Caetés	65,02	80,4	87,3	93,53	96,84	99,31
00836020 Jucati	64,59	86,53	98,56	111,4	119,4	126,4
00836021 Jurema	50,07	73,05	93,91	130,8	163,6	207
00836022 Lajedo	62,75	80,02	90,48	102,7	111,1	118,9
00836026 Paquevira	44,26	61,08	73,06	89,26	102,1	115,5
00935005 Maceió	97,34	129,8	149,3	171,9	187,3	201,5
00935012 Murici (Ponte)	77,23	96,93	109,2	123,8	134,1	143,9
00935021 Rio Largo	59,53	87,07	111,1	150,3	187,4	232,8
00935023 Satuba	120,3	152	166,7	180,2	187,6	193,2
00935024 Saúde	100,2	135,4	154,7	175,1	187,8	198,8
00935054 Pilar	115,00	155,6	179,8	207,4	226,1	243,2
00936003 Brejão	68,51	106,8	142	202	261,4	336,7
00936004 Correntes (806)	67,58	86,55	100,5	116,9	128,2	138,8
00936008 Poço Comprido	34,93	54,43	71,68	100,1	127,3	160,8
00936010 Atalaia	62,08	84,77	100,5	121,2	137,3	153,7
00936014 Capela	72,96	92,39	104	117,5	126,6	135,1
00936033 Munguba	109,00	140,2	155,5	170,3	178,8	185,6
00936044 União dos Palmares (Rocha Cavalcanti)	77,50	97,34	103	106,4	107,7	108,3
00936045 Santana do Mundaú	68,1	88,24	102,7	122,5	138,3	155
00936047 São José da Laje	45,58	66,26	77,54	92,06	103	114,1
00936049 Santa Efigênia	69,93	90,18	103,5	120,2	132,5	144,7
00936053 União dos Palmares	71,66	96,99	112,9	132,1	145,6	158,6
10000002 Brejão	72,37	112,2	146,7	202,4	254,7	318,1
10000005 Caetés	63,64	79,44	87,26	94,89	99,27	318,1
10000007 Canhotinho (Paquevira)	44,73	62,73	75,92	94,19	99,27	102,8

10000010 Correntes (Poço Comprido)	34,93	54,43	71,68	100,1	127,3	160,8
10000011 Correntes	74,59	103	121,1	143,1	158,8	174
10000017 Jucati (IPA)	64,59	86,53	98,56	111,4	119,4	126,4
10000020 Jurema	50,26	76,11	101,5	147,5	195,8	260,3
10000023 Lajedo	64,38	81,25	91,56	103,7	112,1	120

A distribuição de probabilidade Valores Extremos Generalizados (GEV) se mostrou robusta e aplicável à região, visto que os dados passaram por todas as qualificações para a aplicação do método, demonstrado em estudos hidrometeorológicos e hidrológico (Katz *et al*, 2002; Norbiato *et al*, 2007; Naumann *et al*, 2012; Trambly *et al*, 2012).

Estimação por distribuição probabilística tem uma limitação de acordo com a quantidade de dados observados que existe, devido às falhas que muitos pluviômetros possuem, diminuindo a quantidade de dados aptos ao estudo; a confiabilidade diminui quanto mais distante fica a extrapolação da quantidade dados observados (Katz, 2002; Rogger *et al*, 2012).

A máxima conservação da chuva utilizada no estudo pode superestimar dimensionamento de obras ou uso para estudo envolvendo modelos, por isso é necessário estudos mais aprofundados tanto para distribuição das chuvas e como da relação entre tempo de retorno de chuva com o de vazão.

O comportamento das chuvas se mostrou bastante parecido com os totais anuais ou médias anuais de chuva, em que no alto curso do Rio Mundaú há menores precipitações e no baixo curso índice maiores de precipitação, entretanto se analisarmos os mapas alguns pontos no alto curso se sobressaem com altas precipitações, principalmente em tempos de retorno mais altos, isto pode ser explicado devido aos eventos de chuva raros que acontecem no alto da bacia, que quando da sua existência são os atores principais no desencadeamento de inundações, exemplo são as inundações de 2000 e 2010, o comportamento destes eventos são analisados por Reis *et al* (2000) e Fragoso Júnior *et al* (2010).

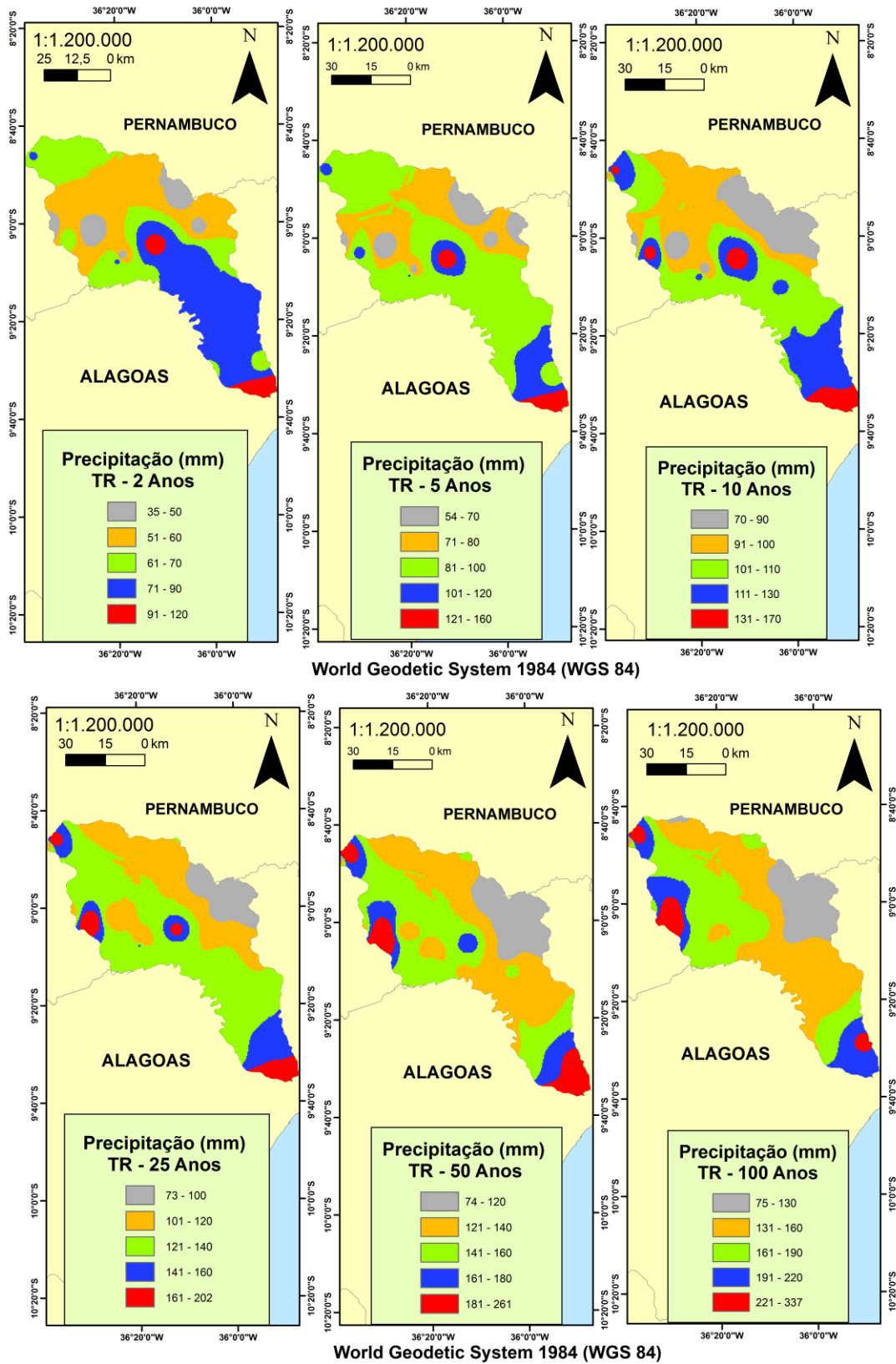


Figura 2 – Mapas de precipitações extremas para diferentes tempos de retorno.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, uma metodologia de obtenção para obtenção de totais pluviométricos extremos diários para toda a bacia hidrográfica do Mundaú foi apresentada. Esta metodologia ligou análise de frequência de eventos extremos de chuva e Sistema de Informação Geográfica (SIG) para espacializar informação de chuva diária.

Informações como esta trazem a possibilidade do setor público e acadêmico dimensionar obras e planejar principalmente zoneamento da área urbana dos municípios inseridos na bacia hidrográfica, além da possibilidade de prever os impactos que fenômenos hidrometeorológicos podem ocasionar, como dado de entrada para gerar informação de áreas inundadas ribeirinhas.

É certo que a metodologia já é bem difundida e usual no mundo, entretanto para que se tenha melhor qualidade dos resultados é necessário que os órgãos responsáveis aumentem a quantidade de pluviômetros e que as séries temporais sejam contínuas e sem falhas.

REFERÊNCIA

- CONSULTORIA TÉCNICA LTDA. (1999) *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Mundaú (PDRH-Bacia do Mundaú)*. COTEC Recife, 168 p.
- FRAGOSO JÚNIOR, C.R.; *et al.* (2010) Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba. In *Anais X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Fortaleza, Nov. 2010, 1, 20 p.
- HOSKING, J.R.M.; *et al.* (1985) Estimation of the generalized extreme value distribution by the method of probability weighted moments. *Technometrics* 27, pp. 251–261.
- KATZ, R.W.; *et al.* (2002) Statistics of extremes in hydrology. *Advances in Water Resources* 25, pp. 1287–134.
- KOUTSOYIANNIS, D.; BALOUTSOS, G. (2000) Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences. *Natural Hazards* 22, pp. 31–51.
- MIRANDA, J.I. (2010). *Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas*. EMBRAPA Brasília, 433 p.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A.(2007) *Hidrologia Estatística*. CPRM Belo Horizonte-MG, 552 p.
- NORBIATO, D.; *et al.* (2007) Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood. *Journal of Hydrology* 345, pp. 149-166.
- REIS, L.G.M., *et al.* (2000) Análise da cheia de agosto de 2000 no rio Mundaú em Alagoas. In *Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Natal, Nov. 2000, 1, pp.729-740.
- ROGGER, M.; *et al.* (2012) Runoff models and flood frequency statistics for design flood estimation in Austria – Do they tell a consistent story?. *Journal of Hydrology* 456-457, pp. 30-43.
- SAF, B. (2010) Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Journal of Hydrology* 380, pp. 362-375.
- SURFER 10. (2010). Help.
- TUCCI, C.E. (2007). *Inundações urbanas*. ABRH/RHAMA Porto Alegre, 389 p.
- TRAMBLAY, Y.; *et al.* (2012) Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco. *Global and Planetary Change* 83, pp. 104-114.
- TRIOLA, M. (2008) *Introdução a estatística*. LTC Rio de Janeiro, 722 p.