

ESPACIALIZAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA EM MACEIÓ

Benício Emanuel Omena Monte^{1*} & *Denis Duda Costa*¹ & *Daniele Feitoza Silva*² & *Mikael Timóteo Rodrigues*³

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 no município de Maceió 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-Whitney. GEV.IDW.

THE SPATIALIZATION EXTREME EVENTS OF RAIN IN MACEIÓ

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 Maceió city 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 Graduanda em Engenharia Civil - Centro de Tecnologia (CTEC)/ Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

³ Doutorando em Energia na Agronomia – Faculdade de Ciências Agrônomicas/ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)

INTRODUÇÃO

Gestão e o planejamento dos recursos hídricos necessitam primordialmente que se perpassa por um diagnóstico da base de dados. Ter o conhecimento de como se apresentam os fenômenos hidrológicos ou hidrometeorológicos dá subsídios para que se diminuam impactos decorrentes de eventos naturais, evitando problemas socioeconômicos de grande escala.

Exemplos dos produtos que os eventos extremos trazem são: racionamento de energia ou água, inundações, alagamentos urbanos e limitações de obras hidráulicas. A previsão de eventos de inundação ocorre a partir de uma estatística de amostras do passado e tem como resultado níveis de chuva ou vazão alcançando ou ultrapassando um limite escolhido.

O uso das distribuições clássicas 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 caracterizar o comportamento hidrometeorológico do município de Maceió através de uma análise exploratória dos dados de uma rede de pluviômetros com levantamentos de *outliers*, estudos de homogeneidade dos dados e estimativas de magnitudes dos eventos com recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, a partir do ajuste do modelo de distribuição de probabilidades e por fim houve uma interpolação de cada tempo de retorno delineando mapas.

METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Maceió possui uma área de 503,069 km², sendo 193,34 km² e sítio de urbano de 285,47 km² de área rural e 23,26 km² de espaço lagunar (IBGE, 2010). As altitudes variam de 304 m a 0 m ao nível do mar, com geologia baseada na formação barreiras, formação Maceió, embasamento cristalino, terraços marinhos holocênicos, e em menor quantidade depósitos flúvio-lagunares, recifes de arenitos, recife de corais e algas, dunas, mangues e terraços marinhos pleistocênicos (Enciclopédia dos Municípios Alagoanos, 2012).

Seus principais rios e riachos são: Sauçuy, Meirim, Pratagy, Jacarecica, Reginaldo, Estivas, do Senhor, Doce, Garça Torta, Guaxuma, das Águas Férreas, do Sapo, Gulandim, do Silva, Catolé; os canais da levada e do Trapiche, além rio Mundaú e sua confluência com a Laguna Mundaú. A precipitação anual total varia entre 1.400 mm a 1.500 mm concentrados de abril a julho (i.e. 70 % do total), com evapotranspiração maior entre novembro a março, com um déficit hídrico anual de 1.208 mm. O clima é megatérmico subúmido, com déficit hídrico no verão e excesso durante o inverno, segundo a classificação de Thornthwaite, e temperaturas médias de 24,2 °C, em meses mais quentes e frios alcança-se médias de 25,5 °C e 22,4 °C, respectivamente (Enciclopédia dos Municípios Alagoanos, 2012) (Figura 1).

Análise de frequência de eventos de precipitação máxima

Os dados iniciais foram obtidos a partir da base de pluviômetros instalados no município de Maceió e municípios circunvizinhos, da base HydroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA), que são registrados diariamente. A seleção dos postos foi feita através da visualização da

disponibilidade de dados pelo Gráfico de *Gantt* (Figura 2). 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 norma a manutenção de pelo menos 15 anos de dados, pois como cita Saf (2010) um número mínimo de dados visa diminuir as incertezas estatísticas, no fim 6 (seis) postos pluviométricos apresentaram condições de serem utilizados.

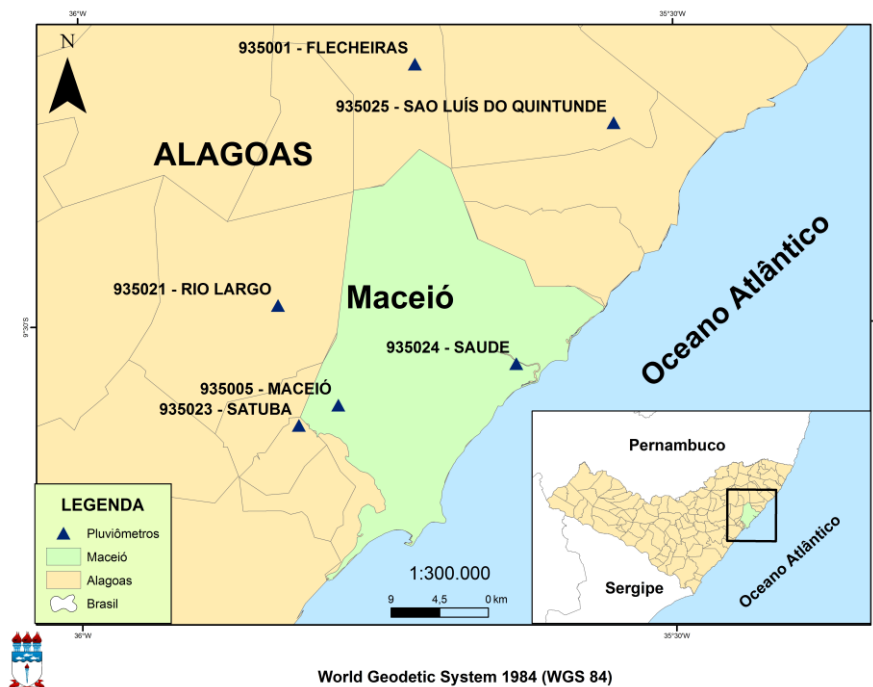


Figura 1 – Localização da área de estudo e dos pluviômetros utilizados.

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 influencia 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 (Naghettini 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 Naghettini e Pinto (2007).

Posteriormente foi realizado um teste de hipóteses não-paramétrico de homogeneidade 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.

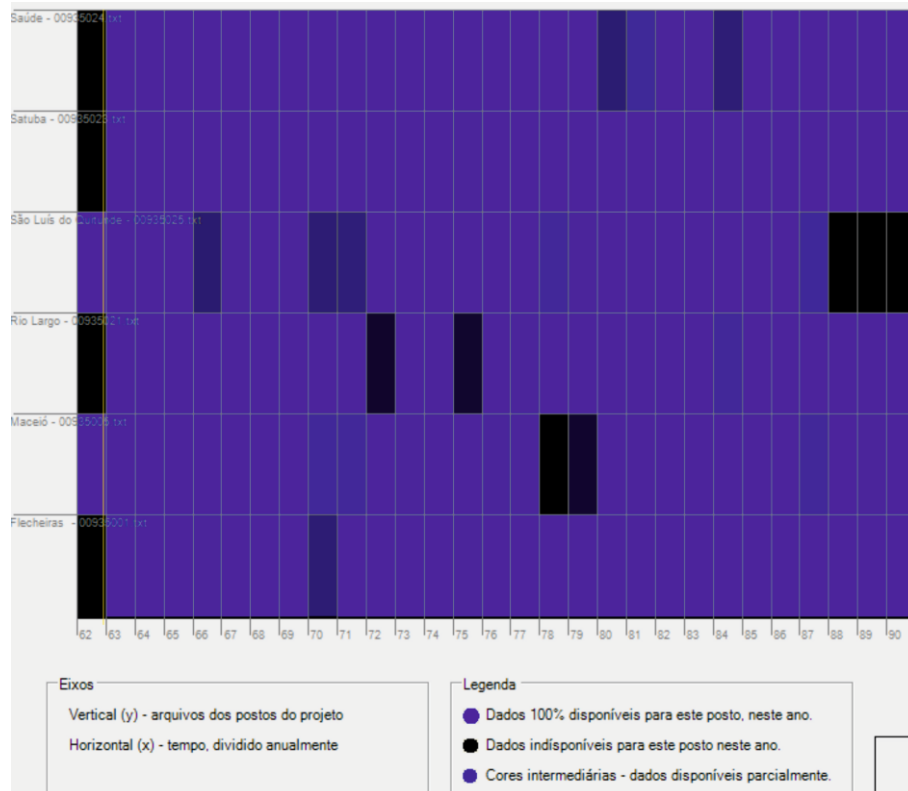


Figura 2 – Matriz de Gantt com a série de dados dos pluviômetros utilizados.

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.

Segundo Tucci (2007) o tempo de retorno (T) é o inverso da probabilidade (p), pois é o tempo em média que um evento pode ocorrer novamente ou ser superado. Foram utilizados os eventos com tempo de recorrência igual a 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Interpolação

Para lograr uma espacialização dos tempos de retorno para todo o município, foi efetuada uma interpolação geostatística pela metodologia de 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). Utilizou-se de um Sistema de Informação Geográfica para lograr informação visual da chuva interpolada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações anuais foram pré-tradadas para retirada de *outliers* e apenas um posto apresentou um *outlier* (i.e. 935021 – Rio Largo); entretanto, este ponto atípico (i.e. 207,4 mm) ficou muito próximo do limiar (i.e. 203,8 mm), podendo ser realmente uma leitura. Dos postos que apresentaram o mínimo de 15 dados de vazões máximas (i.e. sem falhas no período mais chuvoso), foram aproveitados 6 (seis) postos pluviométricos para a análise de máximas.

O teste não paramétrico de homogeneidade de medianas de *Mann-Whitney* indicou que as séries de precipitação e a série de vazão apresentaram mudanças de tendência em relação a mudanças climáticas locais ou de eventos extremos climáticos em dois postos pluviométricos (i.e. 935021 – Rio Largo e 935023 – Satuba), identificando rejeições na hipótese, porém não houve isto no restante dos postos, o que demonstra que as amostras provem de mesma população (Figura 3) (Naghetini e Pinto, 2007).

Os resultados do teste de *Kolmogorov-Smirnov* identificaram que todos estes 6 (seis) postos se aderiram bem a distribuição de probabilidade *GEV*, com valor de significância $p < 0,05$ (Tabela 1).

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.

Após a aplicação dos testes de homogeneidade e aderência, foram estimados os tempos de retorno para cada posto pluviométrico (Tabela 2).

Com os resultados foi possível gerar informação com a chuva interpolada para o município de Maceió (Figura 4). Contudo, é preciso salientar que uma interpolação mais fiel dependeria de uma concentração de pluviômetros maior com possibilidade de dados aptos a utilização.

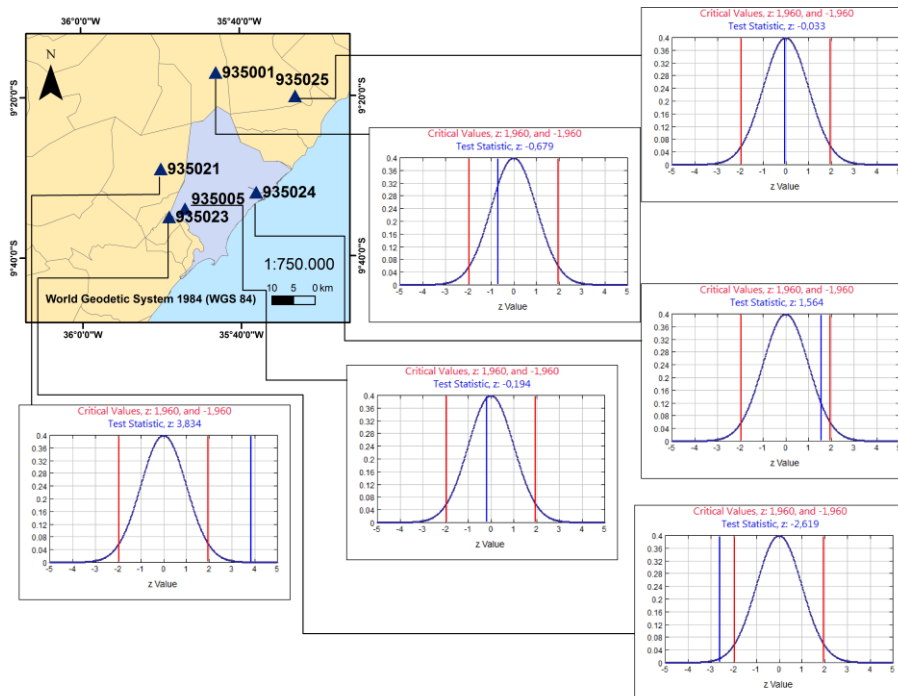


Figura 3 – Resultados dos testes de Mann-Whitney.
Tabela 1 – Valor do teste de Kolomogorov-Smirnov.

Código	Nome do posto	Quantidade de Dados	Valor de p
935001	FLECHEIRAS	27	0,9330
935005	MACEIÓ	27	0,7204
935021	RIO LARGO	27	0,2491
935024	SAUDE	26	0,4676
935023	SATUBA	28	0,2983
935025	SAO LUÍS DO QUINTUNDE	22	0,9330

Tabela 2 - Valores dos tempos de retorno obtido por distribuição GEV

Código	Nome do posto	TR	TR	TR	TR	TR	TR
		2 ANOS	5 ANOS	10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
935001	FLECHEIRAS	97,16	119,7	129,6	138,3	142,8	146,1
935005	MACEIÓ	86,84	123	145,9	173,6	193,5	212,5
935021	RIO LARGO	39,64	72,12	110,8	195,1	300,1	462,8
935024	SAUDE	100,4	135,6	154,7	175,0	187,7	198,6
935023	SATUBA	117,5	150,1	165,7	180,6	189,0	195,5
935025	SAO LUÍS DO QUINTUNDE	97,14	119,7	129,6	138,3	142,8	109,9

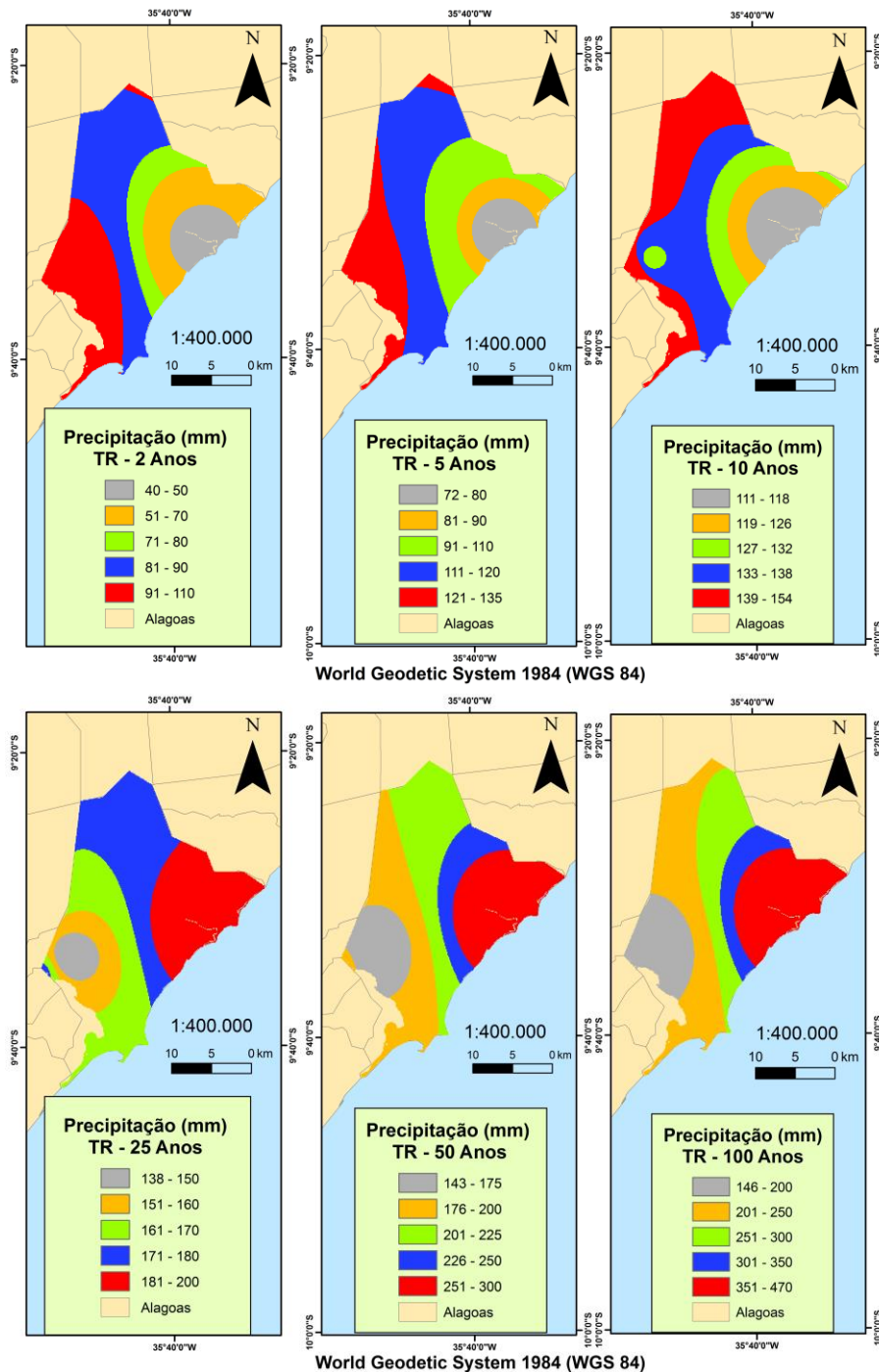


Figura 4 – Mapas com estimativa de precipitações

CONCLUSÃO

Neste trabalho, utilizou-se uma metodologia para obter tempos de retorno para todo o município de Maceió, como apresentado. Esta metodologia ligou análise de frequência de eventos extremos de chuva e Sistema de Informação Geográfica (SIG) para espacializar informação de chuva.

Informações como esta trazem a possibilidade do setor público e acadêmico dimensionar obras e planejar principalmente a área urbana do município de Maceió, além da possibilidade prever os impactos que fenômenos hidrometeorológicos podem ocasionar.

É certo que a metodologia já é bem difundida e usual no mundo, mas 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

- 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.
- 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.
- SANTOS, R.C.A.L., APRATTO, D., PÉRICLES, C. DANTAS, C.L. (2012) *Enciclopédia dos municípios alagoanos*. Instituto Arnon de Mello Maceió, 528 p.
- 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.