



Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil

Francisco de Assis Salviano de Sousa¹; Valmir Rocha Vieira²; Vicente de Paulo R da Silva³, Valneli da Silva Melo⁴; Roni Walter de Souza Guedes⁵

^{1,3}Professor Associado IV da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – PB., e-mail: fassis@dca.ufcg.edu.br;

^{2, 4, 5}Alunos do Programa de Pós-graduação em Meteorologia da UFCG – PB.

Artigo recebido em 02/10/2015 e aceito em 04/02/2016.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar os riscos de chuvas extremas nas nove capitais do Nordeste brasileiro no período de 19910 a 2012. Devido chuvas extremas e ao mau uso do solo, os desastres naturais mais comuns nessas capitais são as inundações, os deslizamentos e os desabamentos. Os desabamentos são consequências da ineficiência do sistema de drenagem, da remoção indiscriminada da cobertura vegetal e do aumento da saturação de água no solo, que reduz sua resistência e provoca sua ruptura. Também, os desmoronamentos devem-se ao mau uso do solo, má distribuição de renda, falta de moradia digna e má qualidade da educação pública. As inundações são acumulações de lâminas de água que podem invadir o interior das edificações e causar transtornos para a mobilidade urbana de pedestres e veículos. Esses eventos dependem de medidas estruturais e não estruturais e não prescindem da boa educação dos habitantes urbanos. O ajuste dos eventos extremos de chuvas à função distribuição de probabilidade de Gumbel possibilitou as estimativas dos riscos para uma específica magnitude de chuva.

Palavras-chave: Chuvas extremas, deslizamentos, desabamentos e inundações

Estimates of the risks of extreme rainfall in capitals of Northeast Brazil

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the risks of extreme rainfall in the nine capitals of the Brazilian Northeast in the period 19910-2012. Due to extreme rainfall and bad land use, the most common natural disasters in these capitals are floods, mudslides and landslides. Landslides are consequences of the inefficiency of the drainage system, the indiscriminate removal of the vegetation and increasing water saturation in the soil reduces its strength and causes rupture. Also, landslides are due to misuse of land, unequal distribution of wealth, lack of decent housing and poor quality of public education. Floods are accumulations of the water levels that can invade the interior of buildings and cause inconvenience to urban mobility of pedestrians and vehicles. These events depend on structural and non-structural measures and of the good education of urban dwellers. After the fit of extreme rain events the Gumbel probability distribution function can be possible to estimate the risks for a specific magnitude of rain.

Keywords: Extreme rains, mudslides, landslides and floods

Introdução

Nas últimas décadas, o número de registro de desastres naturais vem aumentando consideravelmente em todo o planeta. Isto se deve, em parte, ao aumento populacional, ao uso e ocupação desordenada do solo e ao intenso processo de industrialização. Os fatores desencadeadores de desastres nas áreas urbanas

são: impermeabilização do solo, adensamento das edificações, ilha de calor e a poluição do ar. Já nas áreas rurais se destacam a compactação do solo, o assoreamento dos rios, o desmatamento e as queimadas. Adicionalmente, a falta de planejamento urbano e de modo geral o mau gerenciamento das bacias hidrográficas vem intensificando esses desastres. O Ministério das

Cidades/IPT (2007) destaca que alguns processos de alagamentos e enxurradas, muito comuns nas cidades brasileiras, ocorrem principalmente devido as deficiências do sistema de drenagem urbana.

Evitar que desastres naturais ocorram foge da capacidade humana. Entretanto, por meio da prevenção, podem-se desenvolver medidas que minimizem os impactos causados pelos desastres. Há dois tipos de medidas preventivas básicas (Kobiyama et al., 2006): as estruturais e as não estruturais. As medidas estruturais envolvem obras de engenharia complexas e de alto custo como barragens, diques, alargamento de rios, reflorestamento, etc. As medidas não estruturais envolvem modelagem, previsão e ações de planejamento e gerenciamento, como sistemas de alerta e zoneamento ambiental. Analisando os dados de desastres naturais no Brasil no período de 1948 a 2004, disponíveis em “EM-DAT Internacional Disaster Database”, Kobiyama et al. (2006) demonstraram que os desastres naturais que causaram maiores perdas humanas foram as inundações. Apesar de inevitáveis, é possível reduzir os danos e prejuízos causados pelas inundações. A frequência das inundações nos centros urbanos é função também das relações políticas, econômicas e culturais da população. A parcela mais pobre da população é forçada a ocupar as planícies de inundação.

A chuva extrema ou precipitação máxima diária é caracterizada como um evento que apresenta intensidade, duração e distribuição espaço-temporal críticas em dado local (município, cidade). O estudo da frequência de ocorrência de eventos extremos é fundamental para a compreensão de seus efeitos na superfície da bacia hidrográfica rural e/ou urbana. Além disso, os projetos de obras hidráulicas no âmbito da bacia dependem diretamente desse estudo. As chuvas intensas ou chuvas extremas causam prejuízo nas cidades, erosão no solo, inundações, danos à agricultura e sérios problemas em reservatórios de armazenamento de água.

Osborn et al. (1980) utilizaram a distribuição de Gumbel para séries de valores máximos anuais de chuva e obtiveram ótimo ajuste. De acordo com Nemec (1987) chuvas intensas de 3 a 6 horas em certas áreas podem aumentar os riscos de enchentes. Buzzi et al. (1995) afirmaram que eventos de chuvas intensas são favorecidos pelas condições meteorológicas de meso e grande escalas haja vista que atuam na intensificação e duração dos sistemas. Brath (1994) afirma que para se efetuar uma boa previsão de chuvas intensas é necessário levar em conta a extensão da área a ser inundada, o número

de habitantes, a densidade da população e principalmente a topografia da região. Clarke et al. (2004) sugeriu que no estudo da precipitação pluvial as séries de dados precisam ser suficientemente longas e representativas do local, pois só assim pode-se observar a variabilidade do comportamento climático de uma região, principalmente em relação a chuvas intensas. Grimm et al. (2004) observaram que eventos como El Niño e La Niña têm uma grande influência na ocorrência de chuvas extremas no Brasil, principalmente na região Nordeste.

O estudo dos desastres naturais causados por eventos extremos de precipitação é um tema bastante atual no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento. Fowler & Kilsby (2003) encontraram níveis decadais e mudanças temporais de eventos extremos de chuva de longa duração com período de retorno de 1, 2, 5 e 10 dias em vários locais na Grã-Bretanha por meio de análise de frequência regional baseada nos L-momento. Diferentes eventos extremos de precipitação foram explicadas com base em 90, 95 e percentis 99 (Karl & Knight, 1998, Sen Roy & Balling, 2004 e Wan Zin et al., 2010). Khan et al. (2007) investigaram a variabilidade temporal das precipitações extremas diárias e semanais na América do Sul e encontraram fortes inclinações nas linha de tendências de longo prazo. A variação das chuvas extremas na Índia têm sido estudadas por muitos pesquisadores (Rajeevan et al., 2008, Ghosh et al., 2011 e Patra et al., 2012). Recentemente, Jena et al. (2014) concluíram que as recentes e crescentes incidências de inundação na bacia do rio Mahanadi, leste da Índia se deve ao aumento de chuvas extremas no curso médio do rio. Por sua vez, Ahammed et al. (2014) realizaram um estudo das chuvas máximas diárias de Dhaka, capital de Bangladesh, no período de 1953 a 2009. Com base na função de distribuição Gumbel estimaram períodos de retorno de eventos extremos de chuva e descobriram que a precipitação máxima diária e anual igual ou superior a 425 mm tem um período de retorno de 100 anos.

Karl e Knight (1998) verificaram aumentos na intensidade e na frequência de eventos extremos sobre os EUA usando limiares baseados em percentis médios de longo prazo. (Hennessy et al. (1999) analisaram dados de precipitação diária no período 1910 a 1995 em base regional e sazonal e encontraram algumas mudanças significativas em percentis e frequência de eventos extremos, mas com a magnitude variando com a época do ano e região. Da mesma forma (Plummer et al. (1999) encontraram

tendências em percentis que dependiam da época do ano e da região.

Beniston e Stephenson (2004); Christensen e Christensen (2004) e Zolina et al. (2010) sugerem que nas últimas décadas os eventos extremos estão ocorrendo com mais frequência em todo o mundo. Devido os seus impactos ambientais e por ser um fator importante para desenvolvimento sócio-econômico, os estudos de eventos extremos climáticos tem despertado crescente interesse (Zhang et al., 2011).

Groisman et al. (2005) relataram aumento de 50% na frequência de dias com precipitação superior a 101,6 mm na parte norte do meio-oeste dos Estados Unidos durante o século 20. Fowler e Kilsby (2003) afirmam que a magnitude da precipitação extrema duplicou em algumas regiões do Reino Unido, de 1960 até os dias atuais. Para melhor avaliar as projeções futuras do clima, uma importante linha de pesquisa baseia em estatísticas de valores extremos de precipitação. Estudos nessa linha foram publicados recentemente por (Frich et al., 2002; Groisman et al., 2005 e Alexander et al., 2006). Esses estudos encontraram aumento de eventos extremos em várias localidades do mundo, incluindo locais, onde a precipitação média anual está diminuindo.

Os principais sistemas precipitantes no norte do Nordeste (NNE) são a ZCIT, a Convergência de Umidade, as Convecções Locais e, muito raramente, a influência direta das Frentes Frias. No NNE, que abrange o Ceará e partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão, oeste da Paraíba e Pernambuco, março é o mês em que ocorrem chuvas máximas (Uvo, 1989). O sul do Nordeste (SNE) é composto por quase todo o estado da Bahia e o seu período chuvoso é compreendido entre os meses novembro a fevereiro, com picos de chuvas entre os meses de dezembro a março. Nessa área o principal mecanismo de precipitação são os sistemas frontais estacionários, alimentados pela umidade proveniente do Atlântico Sul, que definem a ZCAS, sistemas pré-frontais, convecção local e brisas marítima e terrestre no litoral (Kousky, 1979).

O leste do Nordeste (LNE) se estende do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, até 120 km do litoral, também conhecida como Zona da Mata, apresenta clima quente e úmido. O período chuvoso inicia em abril e finda em julho, com o pico de chuvas em maio (Kousky, 1979). Os valores máximos de chuvas estão à maior atividade de circulação da brisa marítima que advecta bandas de nebulosidade para o continente

e, à ação das perturbações de frentes frias que se propagam ao longo da costa. A literatura sugere ainda que as chuvas máximas estariam possivelmente associadas à máxima Convergência dos Alísios com a Brisa Terrestre, que são mais forte durante as estações de outono e inverno quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior (Kousky, 1979; Molion e Bernardo, 2002). Chung (1982) e Hastenrath (1984) sugeriram que o aumento da TSM do Atlântico Sul e o enfraquecimento dos Alísios de Sudeste permitem o deslocamento mais para sul da ZCIT, causando chuvas mais intensas no Norte do NEB.

Os Distúrbios de Leste são sistemas que atuam no litoral leste do NEB, desde o norte do Rio Grande do Norte até o estado da Bahia, no período de maio a agosto. Seu deslocamento se dá de leste para oeste até atingir o continente adentro. São comuns na maioria dos anos e sua intensidade depende da temperatura da superfície do mar (TSM), do cisalhamento do vento e efeitos na orografia e da circulação de brisas Marítima e Terrestre, haja vista que intensificam ou dissipam esses sistemas. Um dos primeiros autores a diagnosticar o Distúrbio de Leste foi Visser (1925). A atuação dos Distúrbios de Leste tem duas regiões distintas no oceano Atlântico, uma no Atlântico Norte (ATN) e outro no Atlântico Sul (ATS). Apesar de centrados em latitudes distintas, os Distúrbios ocorrem com maior amplitude na mesma época do ano nessas duas regiões, ou seja, de maio a agosto. Segundo Ratisbona (1976) os Distúrbios de Leste têm o seu máximo em junho, atuando sobre o até o litoral leste do NEB. Essas massas de ar atuantes são instáveis, profundas e úmidas, por causa da atuação dos ventos Alísios de Sudeste.

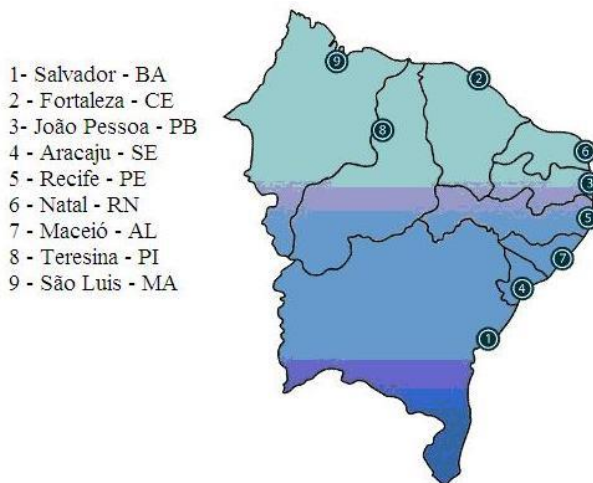
O objetivo deste estudo foi estimar os riscos de chuvas extremas nas nove capitais do Nordeste brasileiro no período de 19910 a 2012.

Material e métodos

Com exceção das cidades de São Luis e Teresina. As outras capitais estudadas aqui se localizam na Zona da Mata que no passado era coberta pela Mata Atlântica, hoje praticamente extinta (IBGE, 2010). Os cultivos de cana-de-açúcar e cacau substituíram as áreas de florestas. Essa região estende-se do sul da Bahia até o Ceará. Basicamente o clima é tropical úmido (quente e chuvoso). A pluviosidade é elevada, em torno de 1800 a 2000 mm/ano. É a área mais urbanizada e industrializada do NEB, com cerca 200 km de largura. É uma área que atrai muitos turistas de outras regiões do Brasil e do exterior devido a suas belas praias.

Os dados diários de precipitação pluviométrica, utilizados neste estudo, para as nove localidades, no período de 1910 a 2012, foram cedidos pela Agência Nacional de Águas (ANA); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); Agência Executiva de Gestão das

Águas do Estado da Paraíba (AESA) e Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A Figura 1 exibe a região Nordeste do Brasil e a distribuição espacial dos postos pluviométricos dos locais estudados.



Fonte: SNIS 2011
 Figura 1. Distribuição espacial dos postos pluviométricos na região do NEB

Função distribuição de probabilidade de Gumbel

Gumbel (1941) foi quem primeiro tratou de valores extremos de dados hidrometeorológicos de forma organizada a fim de determinar e analisar as frequências de eventos extremos. Tradicionalmente três distribuições de valores extremos: Fréchet, Weibull e Gumbel são comumente utilizadas para se analisar o período retorno de precipitação máxima diária e anual. Segundo Carvalho et al. (2013) a função distribuição do Valor Extremo Generalizado acumulado (GEV) é dada por:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left(1 + \xi \cdot \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-1/\xi} \right\} \quad (1)$$

para $1 + \xi (x - \mu) / \sigma > 0$, em que ξ , μ e σ são os parâmetros de forma, localização e escala, respectivamente. A Eq. (1) é denominada distribuição de Gumbel quando $\xi \rightarrow 0$; a função distribuição do GEV pode ser expressa pela a Eq. (2). A probabilidade de excedência e o período de retorno da precipitação máxima diária e anual podem ser estimadas usando as Eqs. (3) e (4), respectivamente.

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left\{ - \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\} \right] \quad (2)$$

$$P(x) = 1 - F(x) \quad (3)$$

$$T_r = \frac{1}{P(x)} \quad (4)$$

Em que X é a precipitação máxima diária e anual; μ e σ é a média e o desvio-padrão da precipitação máxima diária e anual, respectivamente; F(x) é a distribuição acumulada de probabilidade; P(x) é a distribuição de probabilidade e T_r o período de retorno. O risco (R) de um evento ser igualado ou superado pelo menos uma vez em N anos é:

$$R = 1 - [1 - P(x)]^N \quad (5)$$

Em que P(x) é probabilidade de excedência. Estimando-se a média e desvio-padrão amostrais dos valores da precipitação máxima diária e anual e utilizando a Equação (2) pode-se estimar o período de retorno (T_r) desses eventos extremos de precipitação por:

$$T_r = \left[1 - \exp \left[- \exp \left\{ - \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\} \right] \right]^{-1} \quad (6)$$

Em resumo, o risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo (UNDP, 2004). Como se sabe o perigo e a vulnerabilidade do sistema que está preste a ser impactado depende da densidade

demográfica, da infraestrutura e da pobreza da população.

Resultados e discussão

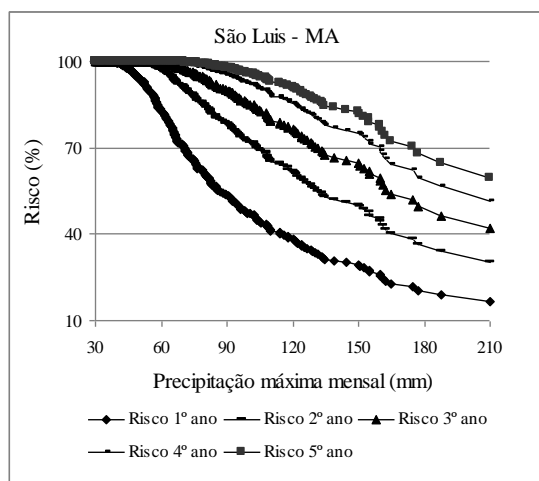
A ocupação dos cenários de riscos nas capitais nordestinas é resultado do modo de produção capitalista, da expansão urbana e da histórica má distribuição de renda do país. Para sobreviver nessas cidades, dominadas pelas relações de produção e de propriedades capitalistas, o homem expulso do campo e de dentro da própria cidade não tem outra escolha se não habitar as áreas de encostas e as várzeas, já que de alguma maneira é preciso morar. Em todo período chuvoso, principalmente quando as chuvas são mais rigorosas, há ocorrência de casos de inundações, interdição de moradias com risco de desabamento e deslizamentos. De acordo com a análise dos cenários de riscos do Nordeste, pode-se observar a existência de vários fatores condicionantes que demonstram a susceptibilidade

da área quanto aos riscos ambientais de enchentes e deslizamentos.

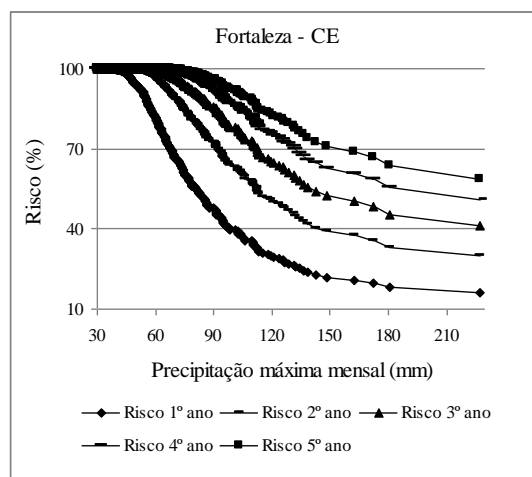
Os resultados das análises de riscos das nove capitais, para o 1º, 2º, 3º, 4º e 5º anos, podem ser vistos na Figura 1. Como critério para início dos riscos das chuvas foi considerado como limiar inferior o valor de precipitação extrema superior a 30 mm/dia.

As Figura 2A a 2I exibem a probabilidade dos riscos de eventos máximos de chuvas para os próximos cinco anos, de 2013 à 2017, para as cidades de São Luis – MA, Fortaleza – CE, Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – BA, Salvador – BA e Teresina – PI. Pode ser notado que à medida que o tempo passa o risco aumenta. Recife foi a cidade que apresentou os maiores valores de precipitação diária. O risco das chuvas, com magnitudes máximas ocorrerem, em todas as localidades, no primeiro ano é cerca de 15% e no último é próximo a 60%.

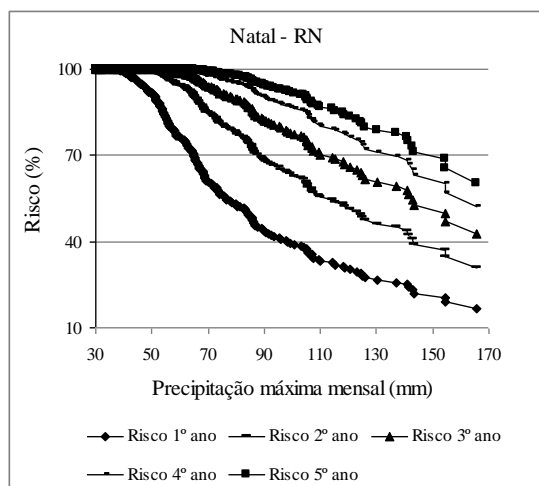
A.



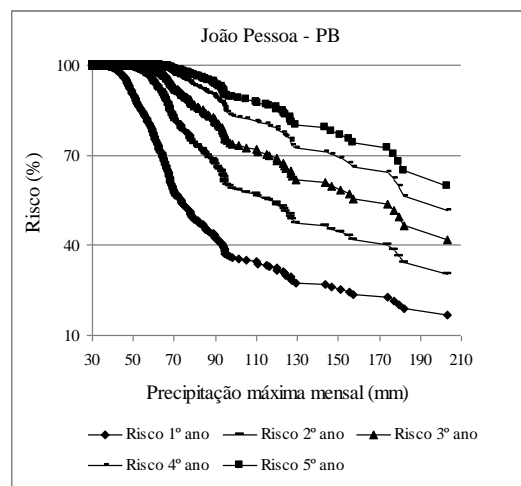
B.



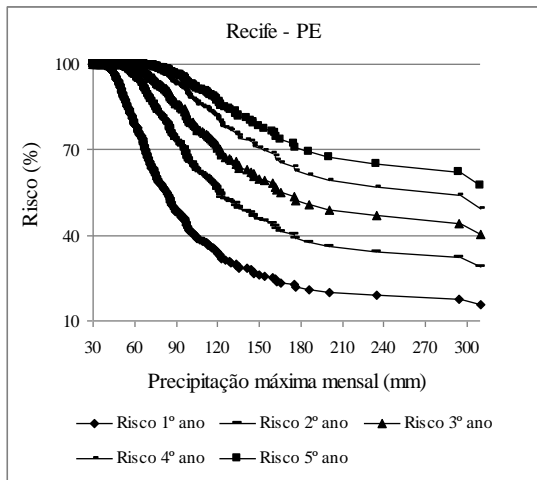
C.



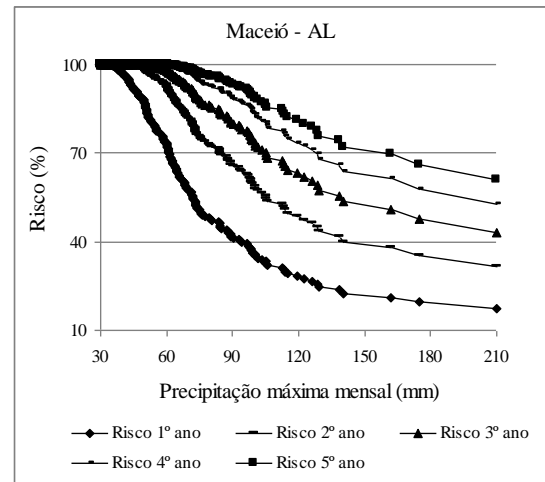
D.



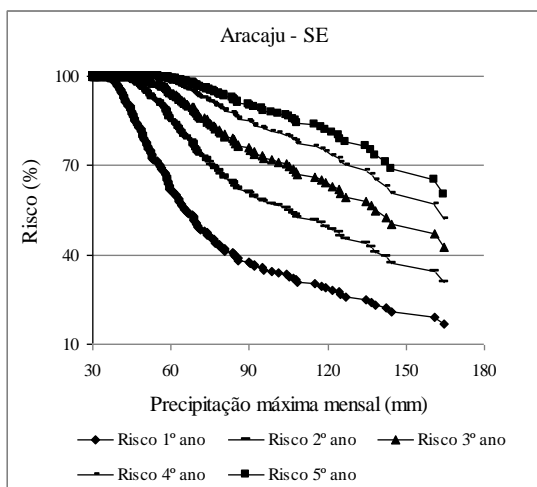
E.



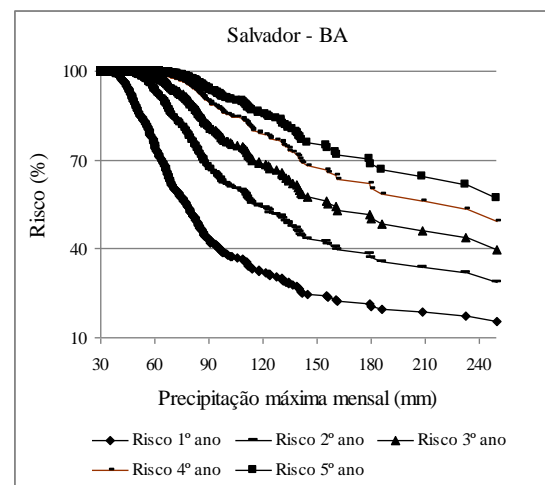
F.



G.



H.



I.

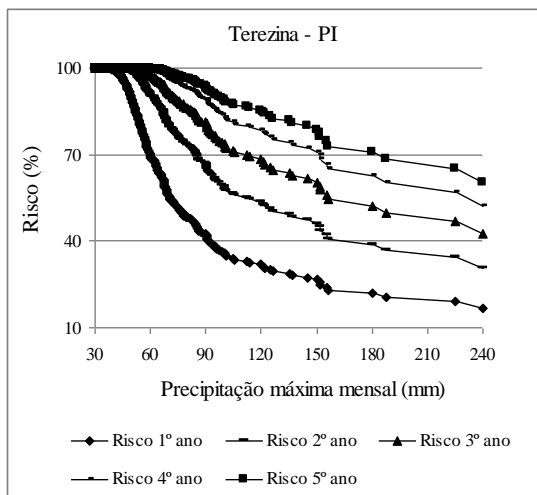


Figura 2 – Probabilidade (%) dos riscos de chuvas máximas diárias para as nove capitais do NEB

A Tabela 1 estima em porcentagem os riscos da ocorrência de chuvas extras com o limiar de 100 mm/dia para os próximos cinco anos, nas nove capitais estudadas.

Tabela 1 – Riscos (%) da chuva de 100 mm/dia para os próximos cinco anos

Local	2015	2016	2017	2018	2019
Salvador - BA	38,3	61,9	76,5	85,5	91,0
João Pessoa - PB	35,4	58,3	73,1	82,6	88,8
Maceió - AL	35,7	58,7	73,4	82,9	89,0
Recife - PE	41,3	65,6	79,8	88,1	93,0
Teresina - PI	35,2	58,0	72,8	82,4	88,6
Natal - RN	39,0	62,8	77,3	86,1	91,5
Aracaju - SE	33,9	56,4	71,2	81,0	87,4
Fortaleza - CE	39,5	63,4	77,8	86,6	91,9
São Luis - MA	47,0	71,9	85,1	92,1	95,8

Pode ser visto na Figura 3 que as estimativas dos riscos em forma de curvas para o período de 2015 a 2019 se agrupam em Teresina - PI, Maceió - AL e João Pessoa - PB. O outro é formado por Fortaleza - CE, Natal - RN e Salvador - BA. Sem formação de grupos aparecem Aracaju - SE - Recife - PE - São Luis - MA. São Luis é a capital onde os riscos para supracitada ocorrência de chuvas extremas são maiores.

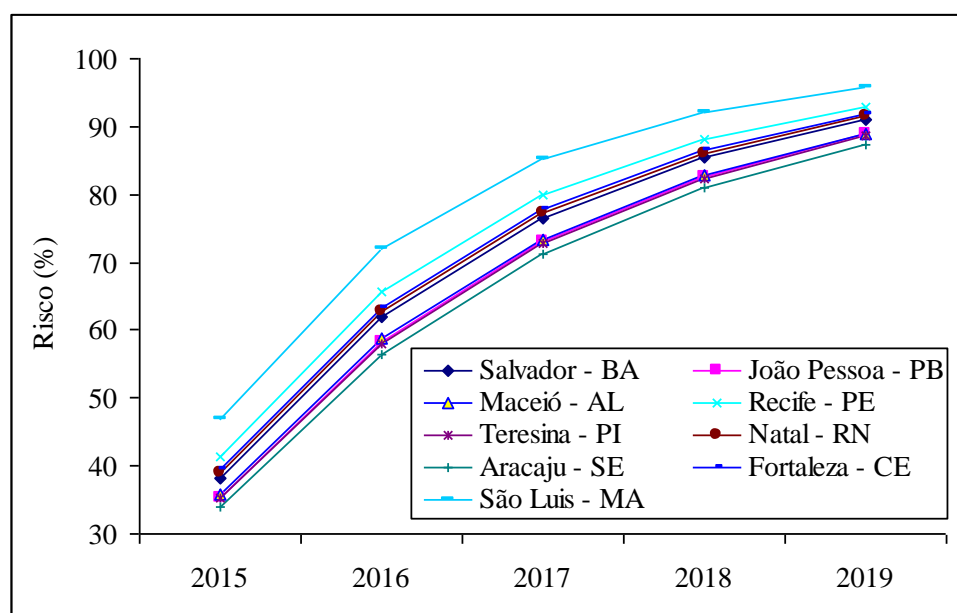


Figura 3 - Riscos (%) da chuva de 100 mm/dia para os próximos cinco anos

A Tabela 2 exibe as estimativas dos períodos de retorno de 50 e 100 anos para as chuvas máximas (em mm) em cada um dos locais estudados e os respectivos períodos chuvosos.

Tabela 2 - Chuvas máximas (mm) para os períodos de retorno de 50 e 100 anos

Ordem	Município	Tr = 50 anos	Tr = 100 anos	Período chuvoso
1	Recife	203,8	224,5	Maio a agosto
2	São Luis	198,6	218	Janeiro a maio
3	Salvador	191,5	210,9	Fevereiro a junho
4	Aracaju	179,8	198,5	Abril a julho
5	Teresina	179,7	197,5	Janeiro a abril
6	J. Pessoa	174,3	191,1	Abril a julho
7	Fortaleza	172,2	188,3	Fevereiro a maio
8	Maceió	168,1	184,5	Abril a julho
9	Natal	165,8	181,3	Abril a julho

De acordo com os resultados obtidos as chuvas máximas iguais ou inferiores a 34,0 mm/dia ocorrem com 100% de probabilidade em qualquer um dos cinco anos, nos meses de pico de chuvas em todas as cidades do estudo. O risco de uma chuva máxima de 90,2 mm/dia ocorrer em Salvador - BA varia de 43,2% no primeiro ano a 94,1% no quinto ano. Já a ocorrência de uma chuva máxima de 70,1 mm/dia em Recife - PE tem risco associado de 66,9% no primeiro ano a 99,6% no quinto ano. E o risco de uma chuva máxima de 80,0 mm/dia ocorrer em Fortaleza - CE varia de 55,8% no primeiro ano a 98,3% no quinto ano. Esses fatos explicam, em parte, as agruras da população carente que ocupa as áreas de médio e alto riscos de inundação e de deslizamento de terra.

Conclusão

A probabilidade do risco de chuvas extremas iguais ou inferiores a 34 mm/dia é de 100 % em qualquer um dos cinco anos, nos meses de pico de chuvas, em todas as cidades estudadas. A ocorrência de chuvas com magnitudes entre 70,1 e 90,2 mm/dia, causa sérios transtornos às populações das cidades de Salvador, Recife e Fortaleza, principalmente à população excluída dos serviços básicos de infraestrutura.

Os sistemas que atuam no NEB, no primeiro quadrimestre do ano, os VCAS e a ZCIT, de meso e grande escalas, podem ser intensificados por efeitos locais e causar intensidade na precipitação, principalmente no Litoral e na zona de transição do agreste para a região central do Nordeste.

Os maiores problemas de riscos ambientais no NEB resultam da ocupação das várzeas pela população carente. Neste caso, as ações e inações antrópicas são responsáveis diretas pelas consequências dos desastres naturais. A procrastinação por parte das autoridades para atender as demandas por infraestrutura nas cidades agrava ainda mais os riscos da população mais pobre, haja vista que os riscos crescem com o tempo. Os resultados obtidos permitem sugerir em estudos futuros:

1) Aplicar a metodologia com séries históricas maiores; 2) Evidenciar outros tipos de sistemas causadores de chuvas intensa na região do NEB, fenômenos esses de escalas menores, como Brisa Marítima e a influência mais elaborada do efeito local; 3) Analisar a climatologia dinâmica das chuvas intensas com o

auxílio de imagens de satélite a fim de identificar os sistemas geradores desses eventos e estudar casos particulares; 4) Implementar serviços de fiscalização do uso e ocupação do solo por parte dos órgãos públicos competentes, para contenção da expansão urbana sobre os locais com alta susceptibilidade à enchente e deslizamento, afim de evitar o surgimento de novos adensamentos populacionais em condições de riscos e exposição ao perigo.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela cessão da Bolsa de Pesquisa. À Agência Nacional de Águas (ANA), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e à Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pela cessão dos dados históricos.

Referências

- Ahammed, F, Hewa, G. A., Argue, J. R., 2014. Variability of annual daily maximum rainfall of Dhaka, Bangladesh. *Atmospheric Research*. 137, 176 – 182.
- Alexander, L. V.; Zhang, X; Peterson, T. C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Klein Tank, A. M. G.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Rupa Kumar, J.; Revadekar, K. ; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephenson, D. B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet,; Taylor, M.; New, M.; Zhai, P.; Rusticucci, M. and Vazquez-Aguirre, J. L., 2006. Global observed changes in daily climatic extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, D05109, doi:10.1029/2005JD006290, 2006.
- Beniston, M., Stephenson, D. B., 2004. Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global Planet. Change* 44, 1–9.
- Brath, A. 1994. Hydrometeorological aspect of the flooding in the upper Po river basin: frequency characteristics and real-time predictability. University of Bologna. U.S.-Italy
- Buzzi, A., N. Tartaglione, C. Cacciamani, T. Paccagnella E P. Patrino. 1995. Preliminary meteorological analysis of the Piedmont fold of November 1994. *Mesoscale Alpine Programme Newsletter*.

- Christensen, O. B.; Christensen, J. H. 2004. Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global and Planetary Change* 44, 107– 117.
- Chung, J. C. 1982. Correlations between the tropical Atlantic trade winds and precipitation in Northeastern Brazil. *Journal of Climatology of Northeast Brazil. Journal of climatology* 2, 35-46.
- Clarke, R. T.; Silva, B. C. 2004. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19, 265-272.
- Fowler, H. J.; Kilsby, C. G. 2003. A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000. *International Journal Climatology* 23, 1313 – 1334.
- Frich, P.; Alexander, L.; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Klein Tank, A. M. G.; Peterson, T.C. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research* 19, 193 – 212.
- Ghosh, S., Das, D., Kao, S. C., Ganguly, A. R. 2011. Lack of uniform trends but increasing spatial variability in observed Indian rainfall extremes. *Nature Climate Change* 02, 86 – 91.
- Grimm, A. M.; Tedeschi, R.G. 2004. Influência de eventos el niño e la niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD rom.
- Groisman, P. Y.; Knight, R.W.; Easterling, D. R.; Karl, T. R.; Hegerl, G. C.; Razuvaev, V. N. 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate* 18, 1326 – 1350.
- Hastenrath, S. 1984. Predictability of Northeast Brazil Drought. *Nature*, 307: 531-533.
- Hennessy, K. J.; Suppiah, R.; Page, C. M. 1999. Australian rainfall changes, 1910 – 1995. *Australian Meteorology Magazine* 48, 1 – 13.
- Jena, P. P., Chatterjee, C., Pradhan, G., Mishra, A. 2014. Are recent frequent high floods in Mahanadi basin in eastern India due to increase in extreme rainfalls? *Journal of Hydrology* 517, 847–862.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. <http://www.ibge.gov.br>
- Karl, T. R.; Knight, R. W. 1998. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79, 231– 241.
- Khan, S., Kuhn, G., Ganguly, A.R., Erickson Iii, D. J., Ostrouchov, G. 2007. Spatio-temporal variability of daily and weekly precipitation extremes in South America. *Water Resources Research* 43, p.W11424 <http://dx.doi.org/10.1029/2006WR005384>.
- Kobiyama, M., Mendonça, M., Moreno, D. A., Marcelino, I. P. V. De O., Marcelino, E. V., Gonçalves, E. F., Brazetti, L. L. P., Goerl, R. F., Moller, G. S. F., Rudorff, F. M. 2006. *Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos, primeira edição*. Curitiba, Ed. Organic Trading, 109 p.
- Kousky, V. E. 1979. Frontal influences on northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 107, 1140-1153.
- Ministério das Cidades (MINC-Brasil) / IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). 2007 – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Organizadores: Carvalho, C.S., Macedo, E. S., Ogura, A.T.; Brasília - DF.
- Molion, L. C. B E Bernardo, S. O. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro, *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1 – 10.
- Nemec, J. 1987. *Hydrological forecasting*. Dordrecht.
- Osborn, H. B.; Lane, L. J.; Myers, V. A. 1980. Rainfall watershed relationships for southwestern thunderstorms. *Transactions of the ASAE* 23, 82-87.
- Patra, J. P., Mishra, A., Singh, R., Raghuwanshi, N. S. 2012. Detecting rainfall trends in twentieth century (1871–2006) over Orissa State, India. *Climatic Change* 111, 801 –817.
- Plummer N.; Salinger M.J.; Nicholls, N.; Suppiah, R, Hennessy, K.J.; Leighton, R. M.; Trewin B.; Lough, J. M. 1999. Twentieth century trends in climate extremes over the Australian region and New Zealand. *Climatic Change* 42, 183 – 202.
- Rajeevan, M., Bhate, J., Jaswal, A. K. 2008. Analysis of variability and trends of extreme rainfall events over India using 104 years of gridded daily rainfall data. *Geophysical Research Letters*. 35, p. L18707 <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL035143>.
- Ratisbona, C. R. 1976. The climate of Brazil. In: *Climates of Central and South America. World Survey of Climatology, Elsevier* 12, 219-293.
- Sen Roy, S., Balling, R.C. 2004. Trends in extreme daily precipitation indices in India. *International Journal of Climatology* 24, 457– 466.
- United Nations Development Programme (UNDP). 2004. *Reducing disaster risk: a challenge for development*. New York, USA: UNDP, 146 p.

- Uvo, C. R. B. 1989. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE. São José dos Campos.
- Visher, S. S. 1925. Tropical cyclones of the Pacific. Honolulu, Bernice T. Bissop Museum. Bulletin nº 20, 163.
- Wan Zin, W. Z., Jamaludin, S., Deni, S.M., Jemain, A. A. 2010. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971–2005. *Theoretical and Applied Climatology* 99, 303–314.
- Zhang, Q.; Xu, C.-Y.; Chen, X. H.; Zhang, Z. 2011. Statistical behaviors of precipitation regimes in China and their links with atmospheric circulation 1960–2005. *International Journal of Climatology* 31, 1665–1678.
- Zolina, O.; Simmer, C.; Gulev, S. K., Kollet, S. Changing structure of European precipitation: longer wet periods leading to more abundant rainfalls. *Geophysical Research Letters* 37: L06704, doi: 10.1029/2010GL042468, 2010.