

**Distribuição Generalizada de
Valores Éxtremos: Precipitação
Máxima**



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 42

Distribuição Generalizada de Valores Extremos: Precipitação Máxima

José Ruy Porto de Carvalho
Eduardo Delgado Assad
Aryeverton Fortes de Oliveira
Alan Massaru Naka

Embrapa Informática Agropecuária
Campinas, SP
2017

Embrapa Informática Agropecuária

Av. Dr. André Tosello, 209 - Cidade Universitária, Campinas - SP

Fone: (19) 3211-5700

<https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Giampaolo Queiroz Pellegrino

Secretária-Executiva: Carla Cristiane Osawa

Membros: Adriana Farah Gonzalez, Carla Geovana do Nascimento

Macário, Flávia Bussaglia Fiorini, Ivo Pierozzi Júnior, Kleber X.

Sampaio de Souza, Luiz Antonio Falaguasta Barbosa, Maria Goretti

G. Praxedes, Paula Regina K. Falcão, Ricardo Augusto Dante,

Sônia Ternes

Suplentes: Jayme Barbedo, Michel Yamagishi e Goran Nestic

Supervisão editorial: Kleber X. Sampaio de Souza

Revisão de texto: Adriana Farah Gonzalez

Normalização bibliográfica: Maria Goretti G. Praxedes

Editoração eletrônica: Tuíra Santana Favarin, sob supervisão de

Flávia Bussaglia Fiorini.

Credito da Foto: MALAVAZI, Fernando Wagner/Embrapa

Arte da capa: Tuíra Favarin

1ª edição on-line - 2017

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nome da Unidade catalogadora

Distribuição generalizada de valores extremos : precipitação máxima / Carvalho, José Ruy Porto de ... [et al.] .- Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2017. 26 p. il.: cm. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Informática, ISSN 1677-9266; 42).

1. Tendências climáticas. 2. Distribuição generalizada de valores extremos. 3. Teste de aderência. 4. Período de retorno. I. Carvalho, José Ruy Porto de. II. Embrapa Informática Agropecuária. III. Título. IV. Série.

CDD 21 ed 519.5

Sumário

Resumo	6
Abstract	8
Introdução	9
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Conclusão	17
Referências	19

Distribuição Generalizada de Valores Extremos: Precipitação Máxima

José Ruy Porto de Carvalho¹

Eduardo Delgado Assad²

Aryeverton Fortes de Oliveira³

Alan Massaru Naka⁴

Resumo

O objetivo deste estudo foi modelar, baseado na Distribuição Generalizada de Valores Extremos (DGVE), a probabilidade de ocorrência de precipitação máxima diária em três regiões brasileiras (centro-oeste, sudeste e sul) e estudar seu comportamento nos últimos 71 anos. Os parâmetros da DGVE foram estimados pelo método de máxima verossimilhança. O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov / Lilliefors mostrou o bom ajuste da variável estudada à distribuição de probabilidade. A região centro-oeste apresenta período de retorno mais frequente de precipitações abaixo de 300 mm em comparação com as demais regiões. Há uma clara mudança de comportamento desses eventos extremos na região sul. Na literatura em décadas passadas estimou-se uma chuva máxima de 248 mm para um período de retorno de 100 anos para Santa Catarina, enquanto para os resultados encontrados com as séries atualizadas, estimou-se uma chuva máxima

¹Estatístico, Ph.D. em Estatística, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

²Engenheiro-agrícola, Ph.D. em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

³Economista, doutor em Economia Aplicada, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

⁴Cientista da computação, doutor em Ciência da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

diária de 250 mm para um período de retorno de 10 anos. Chuvas extremas para menores períodos de retorno também foram encontradas para a região sudeste.

Palavras-chave: Tendências climáticas, distribuição generalizada de valores extremos, teste de aderência, período de retorno.

Generalized Extreme Value Distribution: Maximum Precipitation

Abstract

The aim of this study was to model, based on the generalized distribution of extreme values (GEV) the probability of occurrence of daily maximum rainfall in three Brazilian regions (Midwest, Southeast and South) and study their behavior over the past 71 years. The parameters of the GEV were estimated by the maximum likelihood method. The Kolmogorov-Smirnov / Lilliefors goodness-of-fit test showed the good fit of the studied variable to the probability distribution function. The Midwest region has a return period of more frequent rainfall below 300mm in comparison with other regions. There is a clear change in the behavior of this extreme event in the Southern region. According to the literature, in past decades a maximum rainfall of 248mm has been estimated for a return period of 100 years for the state of Santa Catarina, while the results found with the current series, a maximum daily rainfall of 250mm was estimated for a return period of 10 years. Extreme rainfalls has also lower return periods in Southeast region.

Index terms: Climate Trends, generalized extreme values distribution, goodness-of-fit test, return period.

Introdução

A análise estatística dos registros meteorológicos é fundamental para entender os padrões climáticos regionais, que é base para o planejamento das atividades econômicas. A produção agropecuária, por exemplo, é influenciada pelo comportamento probabilístico das variáveis climáticas (precipitação, temperatura, vento, radiação solar), exigindo que decisões estratégicas de investimentos e operacionais, como de irrigação, sejam tratadas em função dessas características climáticas.

A precipitação máxima é definida como sendo uma ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área, para uma bacia hidrográfica, estado ou região, com consequências imediatas sobre a agropecuária, conservação do solo, estradas, barragens e drenagem, cujo dimensionamento adequado exige conhecimento de ocorrências extremas (ASSAD et al., 1992; BEIJO; AVELAR, 2010). O conhecimento das probabilidades de ocorrência de valores extremos é fundamental para a redução do grau de suscetibilidade da sociedade à desastres naturais, permitindo que ela enfrente os prováveis efeitos adversos das variáveis ambientais.

Em muitas aplicações estatísticas o interesse é dirigido para a estimação de características centrais como por exemplo o valor médio da precipitação ou o valor médio da temperatura tendo por base amostras aleatórias provenientes da população. Recorre-se às ideias que tais momentos centrais apresentam distribuição aproximadamente Normal, com teoremas de análise baseados na teoria do limite central.

No entanto, como em muitas áreas aplicadas, a caracterização climatológica dos valores máximos de precipitação exige uma escolha adequada de metodologia. Esses acontecimentos estão em posição não central na distribuição de probabilidades sendo de grande interesse a estimação de momentos que explicam a ocorrência de eventos extremos na cauda das distribuições, isto é, de valores grandes ou pequenos.

A teoria de valores extremos é um ramo da probabilidade que estuda o comportamento estocástico dos extremos de um conjunto de variáveis aleatórias (HEATON et al., 2011; MENDES, 2004).

A teoria de valores extremos tem emergido como uma das mais importantes disciplinas da ciência aplicada nos últimos 50 anos. Ela tem sido usada em diversos campos das ciências, tais como: mudanças climáticas (BLAIN; MORAES, 2011; BROWN et al., 2008; CAIRES et al., 2006, GUTTORP; XU, 2011), modelagem oceânica (BERNIER et al., 2007; DAWSON, 2000; MENÉNDEZ et al., 2008), termodinâmica de terremotos (LAVENDA; CIPOLLONE, 2000), finanças (MENDES, 2004), biomédica (ROBERTS, 2000), velocidade máxima de ventos (BAUTISTA, 2002; BRINK et al. 2004; CARVALHO et al. 2013; HUNDECHA et al. 2008). Field et al. (2012) salienta no seu último relatório o AR 5, que os maiores impactos referente ao aquecimento global são os eventos extremos, como são os casos de precipitação de alta intensidade.

O objetivo deste estudo foi modelar, baseado na distribuição geral de valores extremos, a probabilidade de ocorrência de precipitação máxima diária em três regiões brasileiras (Centro-Oeste, Sudeste e Sul) e estudar seu comportamento nos últimos 71 anos. Nessas três regiões há forte estacionalidade, com estação chuvosa definida. Esta condição restringe o calendário safra e imprime sazonalidade também para a produção, a geração de renda, empregos de base agrícola e condiciona todos os negócios nas cadeias produtivas.

Material e Métodos

Foram utilizados dados provenientes dos registros pluviométricos de diversas estações meteorológicas obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013) para as três regiões brasileiras no período de 1940 a 2011 (centro-oeste com 1.228.562 observações provenientes de 559 estações pluviométricas, Sudeste com 6.474.928 observações provenientes de 2.941 estações pluviométricas e sul com 2.917.075 observações provenientes

de 1.325 estações pluviométricas). As observações referem-se às Precipitações Máximas Diárias (PMD) expressas em altura de lâmina d'água, referentes aos meses de outubro, novembro dezembro, janeiro, fevereiro e março correspondentes à época de verão para as três regiões. A partir de setembro inicia-se o ano agrícola brasileiro finalizando em março / abril. Neste período, observa-se que 95% do plantio de sequeiro ocorre nos meses de novembro / dezembro (ASSAD et al., 2001). Foram utilizadas a precipitação máxima diária para cada ano, totalizando 71 observações por região.

A teoria de valores extremos tem sido utilizada para o desenvolvimento de métodos descritivos do comportamento das observações extremas, ou seja, dos pontos mais afastados da média. Jenkinson (1955) propôs que os três tipos de distribuições de valores extremos (Gumbel, Fréchet e Weibull) que podem ser representados numa forma paramétrica única, denominada distribuição generalizada de valores extremos - *Generalized Extreme Value* (GEV), que tem função de densidade de distribuição (BEIJO; AVELAR, 2010):

$$f(PMD) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \exp\left\{-[1 + \xi Z]^{-1/\xi}\right\} (1 + \xi Z)^{-1-1/\xi} \quad (1)$$

e função de distribuição acumulada:

$$F(PMD) = \exp\left\{-[1 + \xi Z]^{-1/\xi}\right\} \quad (2)$$

onde $\xi \neq 0$ e $Z = \left(\frac{PMD - \mu}{\sigma}\right)$. Sendo μ , σ e ξ os parâmetros de posição, escala e de forma respectivamente, com $\sigma > 0$. O parâmetro de forma ξ pode ser usado para modelar um grande número de caudas de distribuição. Os casos onde $\xi < 0$ corresponde à distribuição de Weibull; para $\xi > 0$ corresponde a distribuição de Fréchet; Quando $\xi = 0$ temos a distribuição de Gumbel. Estudos similares restritos ao cerrado brasileiro foram realizados por Assad et al. (1992).

Os parâmetros da equação 1 foram estimados pelo método de máxima verossimilhança para as três regiões. O teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (WILKS, 2006) foi utilizado para verificar o grau de ajuste da

série x à função de densidade de probabilidade. A estatística D do teste de Kolmogorov-Smirnov é baseada na maior diferença vertical entre as funções de distribuições acumuladas teórica e empírica.

$$D = \frac{\max_{1 \leq i \leq n}}{F(x)} \quad (3)$$

onde $F'(x)$ é a frequência acumulada empírica dos valores do período de precipitação máximo anual e $F(x)$ é a frequência acumulada dada pela equação 3.

As hipóteses nulas e alternativa são definidas a seguir:

- H_0 : os dados observados seguem uma distribuição específica;
- H_A : os dados observados não seguem uma distribuição específica.

A hipótese é rejeitada sobre o ajuste de uma distribuição específica a um nível de significância α se a estatística D é maior do que o valor crítico obtido de tabelas teóricas.

Após o ajuste das funções de distribuição associadas à precipitação máxima diária para as três regiões estudadas, seu período de retorno foi estimado por:

$$R(F(\text{PMD})) = \frac{1}{\frac{1}{\text{ano}}(1-F(\text{PMD}))} \quad (4)$$

onde $F(\text{PMD})$ é a probabilidade acumulada de ocorrência de um dado valor da precipitação máxima diária para cada região e $1/\text{ano}$ é a frequência amostral média de precipitações máxima diária.

Resultados e Discussão

As precipitações máximas diárias observadas para as três regiões brasileiras (centro-oeste, sudeste e sul) para os meses de outubro, novembro dezembro, janeiro, fevereiro e março representativos da estação chuvosa conforme mostra a Figura 1, visualmente podem ser inspecionados e algumas características importantes podem ser extraídas. Os gráficos foram construídos através do procedimento SGPLOT (SAS INSTITUTE, 2008).

Existe uma clara tendência de aumento nas precipitações máximas diárias para as três regiões, sendo que esta tendência mais se acentua nas regiões centro-oeste e sul. Colodro et al. (2002), Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e Mello et al. (2007)) já apontavam a tendência de acréscimo da chuva máxima e sua relação com a erosividade. Resultado semelhante foi encontrado por Bertol (1994) em Campos Novos, Santa Catarina. Utilizando geoestatística e análise de séries temporais, Vieira e Lombardi Neto (1995) avaliaram a variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas em São Paulo. Este potencial está diretamente relacionado com as chuvas máximas diárias. Portanto, a caracterização das chuvas e sua intensidade são importantes para a conservação do solo e da água. Resultados semelhantes foram encontrados por Moreti et al. (2003) e Chaves e Piau (2008). Como consequência direta das tendências de aumento da precipitação máxima diária, há um aumento de perda de solo, aumento de carreamento de sedimentos, aumento da perda de fertilidade resultando no decréscimo de produção agrícola.

As tendências encontradas neste estudo (Figura 1) estão em concordância com os trabalhos desenvolvidos por Aguilar et al. (2009) com sinal invertido, Alexander et al. (2006) analisando os extremos climáticos globais para chuva e temperatura na África Central, Costa e Soares (2009) com estudos realizados em Portugal e Marengo et al. (2012) com estudos realizados na bacia Amazônica.

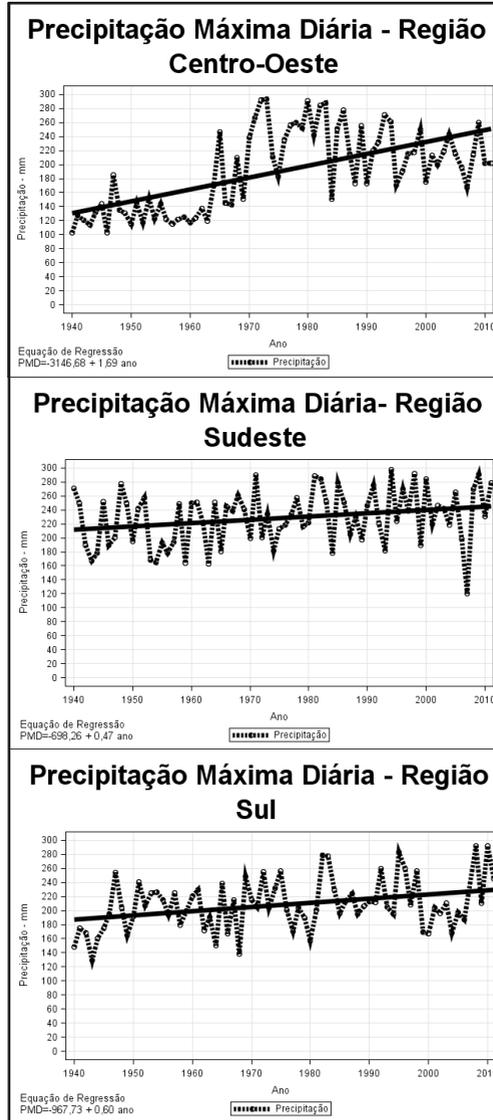


Figura 1. Precipitação máxima diária para as regiões centro-oeste, sudeste e sul.

A Tabela 1 apresenta a estimativa dos parâmetros de posição (μ), escala (σ) e forma (ξ) da equação 1 ajustada às três séries de precipitação máxima diária para as três regiões em estudo. Para as regiões Centro-Oeste e Sudeste a distribuição que melhor se ajustou

foi a distribuição Weibull ($\xi < 0$) e para a Sul foi a distribuição de a distribuição de Fréchet ($\xi > 0$).

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros de posição (μ), escala (σ) e forma (ξ) da função de densidade de probabilidade de valores extremos.

Região	μ	σ	ξ
centro-oeste	150.12	39.473	-0.1582
sudeste	214.16	40.884	-0.3482
sul	174.06	29.502	0.1063

Pela Tabela 2 verifica-se o grau de ajuste da série de precipitação máxima diária à função de densidade de probabilidade da distribuição generalizada de valores extremos pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors (equação 3). Como a estatística Dmax apresentou para as três regiões valores menores do que o valor crítico a um nível de significância de 5%, não se rejeita a hipótese nula de que os dados seguem a distribuição especificada. Estes resultados estão de acordo com o ajuste da distribuição generalizada de valores extremos para precipitação, feitas por: Beijo e Avelar (2010), Blain e Moraes (2011), Coles e Tawn (1996), Feng et. al. (2007), Koutsoyiannis (2004), Mannshardt-Shamseldin et. al. (2010), Miroslava (1992), Nadarajah (2007), Sansigolo (2008) e Shukla (2010).

Tabela 2. Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors (Dmax).

Região	Dmax	p-valor
centro-oeste	0,0433	0,1576
sudeste	0,0665	0,1576
sul	0,0732	0,1586

O período de retorno expresso em anos (equação 4) para as três regiões brasileiras é apresentado na Tabela 3 estimados com base na probabilidade máxima diária, para cada ano.

Tabela 3. Período de retorno (anos) para as três regiões brasileiras baseados na probabilidade máxima diária (PMD).

PMD (mm)	Período de Retorno (anos)		
	centro-oeste	Sudeste	Sul
40	1	1	1
50	1	1	1
60	1	1	1
70	1	1	1
80	1	1	1
90	1	1	1
100	1	1	1
110	1	1	1
120	1	1	1
130	1	1	1
140	1	1	1
150	2	1	1
160	2	1	1
170	2	1	1
180	3	1	2
190	4	1	2
200	5	1	3
210	6	1	4
220	8	2	5
230	12	2	6
240	17	3	8
250	26	3	10
260	40	5	13
270	63	7	17
280	105	11	21
290	181	20	27
300	332	44	34
310	647	130	43
320	1366	776	54
330	3189	>10.000	67
340	8497	>10.000	83
350	>10.000	>10.000	102
360	>10.000	>10.000	125
370	>10.000	>10.000	153
380	>10.000	>10.000	186
390	>10.000	>10.000	225
400	>10.000	>10.000	272

A região Sul apresenta um elevado regime de precipitação máxima diária a partir de 300 mm, em comparação com as demais regiões. Para uma precipitação de 300 mm, os períodos de retorno para as regiões centro-oeste, sudeste e sul são respectivamente 332, 44 e 34 anos. A região sudeste, contudo, apresenta retorno mais frequente de precipitações abaixo de 300 mm, em comparação com as demais regiões. Back (2001) estimou para Santa Catarina um período de retorno de 100 anos, para chuvas superiores a 248mm, usando séries de dados até o ano 2000. Neste trabalho, refazendo a análise para períodos de 1940 a 2011, estimou-se uma chuva máxima diária de 250mm para um período de retorno de 10 anos para a região sul, evidenciado uma clara mudança no comportamento deste evento extremo.

Conclusão

As regiões sul e sudeste apresentam maior risco de eventos extremos de precipitação. A vulnerabilidade a esses eventos deve ser considerada tanto para análises de risco da produção na agricultura quanto para ações de adaptação nos espaços urbanos vulneráveis a eventos extremos e desastres naturais. A taxa de retorno mais elevada indica que perdas sucessivas podem atingir a produção agropecuária, sendo potencialmente muito negativa para projeções econômicas. A regulação estatal pode ser fundamental para a gestão do risco em tais regiões.

A região centro-oeste apresenta período de retorno mais frequente de precipitações abaixo de 300 mm em comparação com as demais regiões. Há uma clara mudança de comportamento desses eventos extremos na região Sul. Na literatura em décadas passadas estimou-se uma chuva máxima de 248 mm para um período de retorno de 100 anos para Santa Catarina, enquanto para os resultados encontrados com as séries atualizadas, estimou-se uma chuva máxima diária de 250 mm para um período de retorno de 10 anos. Chuvas extremas para menores períodos de retorno também foram encontradas para a região sudeste.

Os estudos de eventos extremos carecem de séries históricas mais longas e consistidas, devendo esta ser apontada como uma área importante de pesquisa e de trabalho técnico no Brasil. Nos casos específicos das regiões centro-oeste, sudeste e sul, os testes estatísticos feitos sugerem alterações no comportamento das chuvas extremas, sendo evidenciado redução no período de retorno para ocorrência de chuvas máximas maiores do que 100 mm em todas as regiões. Esses resultados estão de acordo com as análises feitas por Field et al. (2012) para outras regiões do globo.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. 2013. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/>>. Acesso em: 16 nov. 2017.
- AGUILAR, E.; BARRY, A. A.; BRUNET, M.; EKANG, L.; FERNANDES, A.; MASSOUKINA, M.; MBAH, J.; MHANDA, A.; NASCIMENTO, D. J. do; PETERSON, T. C.; THAMBA UMBA, O.; TOMOU, M.; ZHANG, X. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006, **Journal of Geophysical Research**, Chichester, v. 114, n. D2, Jan. 2009. 11 p. D02115. DOI :10.1029/2008JD011010.
- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. G. K.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; KUMAR, K. R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 111, p. 1-22, Mar. 2006. D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.

ASSAD, E. D.; MASUTOMO, R.; ASSAD, M. L. L. Estimativa das precipitações máximas prováveis com duração de 24 horas e de 30 minutos: caso dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 5, p. 677-686, maio 1992.

ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M. da; CUNHA, S. A. R. da; ALVES, E. R.; LOPES, T. S. de S.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 510-518, dez. 2001. Número especial.

BACK, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 16, n. 2, p. 211-222, 2001.

BAUTISTA, E. A. L. **A distribuição generalizada de valores extremos no estudo da velocidade máxima do vento em Piracicaba, SP.** 2002. 47 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. Distribuição generalizada de valores extremos no estudo de dados climáticos: uma breve revisão e aplicação. **Revista da Estatística da UFOP**, Ouro Preto, v. 1, 10-16, 2011.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 9, p.1453-1458, set. 1994.

BERNIER, N. B.; THOMPSON, K. R.; OU, J.; RITCHIE, H. Mapping the return periods of extreme sea levels: allowing for short sea level records, seasonality, and climate change. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 57, 139-150, May 2007.

BLAIN, G. C.; MORAES, S. O. Caracterização estatística de oito séries

de precipitação pluvial máxima diária da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p. 225-234.

BRINK, H. W. van den; KÖNNEN, G. P.; OPSTEEGH, J. D. Statistics of extreme synoptic-scale wind speeds in ensemble simulations of current and future climate. **Journal of Climate**, Boston, v. 17, p. 4564-4574, 2004.

BROWN, S. J.; CAESAR, J.; FERRO, C. A. T. Global changes in extreme daily temperature since 1950. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 113, p. 1-11, 2008. D0515.
doi:10.1029/2006JD008091.

CAIRES, S.; SWAIL, V. R.; WANG, X. L. Projection and analysis of extreme wave climate. **Journal of Climate**, Boston, v. 19, n. 21, p. 5581-5605, 2006.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, S. R. M.; PINTO, H. da S. Estimation of dry spells in three Brazilian regions - Analysis of extremes. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 132-133, p. 12-21, 2013.

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 333-343, 2008.

COLES, S. G.; TAWN, J. A. Modelling extremes of the areal rainfall process. **Journal of the Royal Statistical Society B**, London, v. 58, n. 2, p. 329-347, 1996.

COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **Revista Brasileira de Ciência**

do Solo, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 809-818, 2002.

COSTA, A. C.; SOARES, A. Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 29, n. 13, p. 1956-1975, 2009.

DAWSON, T. H. Maximum wave crests in heavy seas. **Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering**, New York, v. 122, p. 222-224, Aug. 2000.

FENG, S.; NADARAJAH, S.; HU, Q. Modeling annual extreme precipitation in China using the generalized extreme value distribution. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, Tokyo, v. 85, N. 5, p. 599-613, 2007.

GUTTORP, P.; XU, J. Climate change, trends in extremes, and model assessment for a long temperature time series from Sweden. **Environmetrics**, Chichester, v. 22, p. 456-463, 2011.

HEATON, M. J.; KATZFUSS, M.; RAMACHANDAR, S.; PEDINGS, K.; GILLELAND, E.; MANNSHARDT-SHAMSELDIN, E.; SMITH, R. L. Spatio-temporal models for large-scale indicators of extreme weather. **Environmetrics**, Chichester, v. 22, p. 294–303, 2011.

HUNDECHA, Y.; ST-HILAIRE, A.; OUARDA, T. B. M. J.; EL ADLOUNI, S.; GANCHON, P. A nonstationary extreme value analysis for the assessment of changes in extreme annual wind speed over the Gulf of St. Lawrence, Canada. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Boston, v. 47, n. 11, p. 2745-2759, Nov. 2008.

FIELD, C. B.; BARROS, V.; STOCKER, T. F.; DAHE, Q. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: University Cambridge Press, 2012. 582 p.
Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_

Full_Report.pdf. Acesso em 16 nov. 2017.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Reading, v. 81, n. 348, p. 158-171, Apr. 1955.

KOUTSOYIANNIS, D. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, v. 49, n. 4, p. 575-590, Aug. 2004.

LAVENDA, B. H.; CIPOLLONE, E. Extreme value statistics and thermodynamics of earthquakes: aftershock sequences. **Annali di geofisica**, Siena, v. 43, n. 5, p. 967-982, Oct. 2000.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, 51, n. 2, p. 189-196.

MANNSHARDT-SHAMSELDIN, E. C.; SMITH, R. L.; SAIN, S. R.; MEARNS, L. O.; COOLEY, D. Downscaling extremes: a comparison of extreme value distributions in point-source and gridded precipitation data. **Annals of Applied Statistics**, Cleveland, v. 4, n. 1, p. 484-502, Mar. 2010.

MARENGO, J. A.; J. TOMASELLA, J.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M.; NOBRE, C. A. Extreme climatic events in the Amazon basin: climatological and hydrological context of recent floods. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 107, n. 1-2, p. 73-85, Jan. 2012. DOI: 10.1007/s00704-011-0465-1.

MELLO, C. R. de; SÁ, M. A. C. de; CURI, N.; MELLO, J. M. de; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. da. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 4, p. 537-545, abr. 2007.

MENDES, B. V. de M. **Introdução à análise de eventos extremos**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 2004. 232 p.

MENÉNDEZ, M.; MÉNDEZ, F. J.; LOSADA, I. J.; GRAHAM, N. E. Variability of extreme wave heights in the northeast Pacific Ocean based on buoy measurements. **Geophysical Research Letters**, Santander, v. 35, n. 22, Nov. 2008.

MIROSLAVA, U. The extreme value distribution of rainfall data at Belgrade, Yugoslavia. **Atmosfera**, Coyoacán, v. 5, n. 1, p. 47-56, 1992.

MORETI, D.; CARVALHO, M. P.; MANNIGEL, A. R.; MEDEIROS, L. R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 24, p. 713-725, July/Aug. 2003.

NADARAJAH, S.; CHOI, D. Maximum daily rainfall in South Korea. **Journal of Earth System Science**, Bangalore, v. 116, n. 4, p. 311–320, Aug. 2007.

ROBERTS, S. J. Extreme value statistics for novelty detection in biomedical data preprocessing. **IEE Proceedings: Science, Measurement and technology**, Hertford, v. 147, n. 6, p. 147, 363-367, Nov. 2000.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 3, p. 341-346, Sept. 2008.

SAS INSTITUTE. **SAS/GRAPH 9.2**: statistical graphics procedures guide. 2nd ed. Cary, 2010. Disponível em: <<http://support.sas.com/documentation/cdl/en/grstatproc/62603/PDF/default/grstatproc.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SHUKLA, R.; TRIVEDI, M.; KUMAR, M. On the proficient use of GEV

distribution: a case study of subtropical monsoon region in India. **Anale. Seria Informatică**, România, v. 8, n. 1, p. 81-92, 2010.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 405-412, 1995.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2006. p. 627 p. (International Geophysics Series; v. 19).



Informática Agropecuária

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 14156