



IDENTIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO HORÁRIA NOS ÚLTIMOS 15 ANOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

*Kleber Lopes da Rocha Filho*¹; *Flavio Conde*²; *Andrés S.K.B. Sosnoski*³ & *Cristiane P. Andrioli*⁴

RESUMO – Eventos extremos de precipitação em centros urbanos tipicamente causam impactos sócio-econômicos elevados e são recorrentes na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) durante o período chuvoso. O conhecimento de extremos também assume importância no planejamento e dimensionamento de medidas estruturais como projetos de drenagem e não estruturais como sistemas de alerta antecipado. Neste trabalho foram analisados 15 anos de dados de 67 estações automáticas com objetivo de identificação de eventos extremos de precipitação horária. Foi ajustada a distribuição G.E.V aos máximos diários de acumulado horário e utilizado o percentil 98% para determinação do valor extremo. O extremo de precipitação horária adotado foi de 68,5 mm, que corresponde a um período de retorno de 15 anos para a região. Assim, foram identificados 33 eventos entre 2007 e 2022 (até maio), distribuídos de forma irregular. Recomenda-se a avaliação para extremos de diferentes períodos de acumulado, principalmente aos que correspondem aos tempos de concentração de bacias urbanas da região, assim como identificação de regiões homogêneas dentro da RMSP.

ABSTRACT– Extreme rainfall events frequently trigger natural disasters in the Metropolitan Area of São Paulo (MASP), mainly in the wet season. Understanding the behavior of extremes has important applications for planning and design in civil engineering as in structural and non-structural measures. Numerical analysis was performed on 67 stations from MASP, for a 15 years time frame, to identify the extreme hourly rainfall. The G.E.V distribution where adjusted and the 98% percentile where used to define the extreme value, 68.5 mm, which correspond to a 15 years return period for this region. Using this criteria, 33 extreme events where identified between 2007 and May 2022. An evaluation is recommended for different time-steps rainfall, mainly the ones that matches the concentration times of urban basins in the region, as well as the identification of homogeneous precipitation regions within the RMSP.

Palavras-Chave – Extremos de precipitação, redes de monitoramento.

1) Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, kleber@saisp.br

2) Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, conde@fcth.br

3) Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, andre.sosnoski@fcth.br

4) Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, cristiane@fcth.br



INTRODUÇÃO

Precipitações intensas são fontes de problemas recorrentes em centros urbanos, pois podem disparar eventos de movimentação de massa e inundação. O problema se agrava em grandes centros urbanos (Gencer *et al.* 2018). Ainda neste contexto, Romero-Lankao (2011) cita a que a vulnerabilidade é maior para grupos de baixa renda, pois tipicamente são levados a ocupar áreas de maior risco e menor infraestrutura disponível.

Do ponto de vista da engenharia, equações de chuvas intensas são utilizadas em projetos hidráulicos e são, comumente, baseadas em períodos de retorno para certos acumulados ou intensidades, onde se assume que a probabilidade da ocorrência de um evento extremo é independente do tempo (Bonaccorso *et al.*, 2005). Todavia, uma das consequências previstas das mudanças climáticas é a alteração na frequência e magnitude da ocorrência de eventos extremos (Stocker, 2014).

Diversos autores em diversas localidades têm estudado eventos extremos de precipitação e suas tendências ao longo do tempo. Montanari *et al.* (1996) demonstrou o aumento desse tipo de evento na Itália. Adamwski e Bougardis (2003) detectaram tendências significativas, positivas e negativas, nos extremos anuais de precipitação na região de Ontário no Canadá. Song *et al.* (2011) mostraram que apesar da tendência negativa dos máximos anuais em diferentes regiões analisadas da China, há tendências positivas de dias com precipitação extrema (> 50 mm), porém com má distribuição espacial.

No contexto da Região Metropolitana de São Paulo (MSP), Marengo *et al.* (2020), analisando dados de duas estações dentro do município de São Paulo, mostraram que a ocorrência de extremos de precipitação diária ($P > 80$ mm em 24h) aumentaram de duas a cinco vezes entre as décadas de 1950 e 2010. Desta forma, há necessidade de uma melhor compreensão da ocorrência deste tipo de evento em grandes centros urbanos.

O monitoramento de precipitação na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é feito pelo Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP), que realiza o monitoramento de precipitação, nível e descarga nos principais rios e córregos da região metropolitana de São Paulo (RMSP). O objetivo do presente trabalho é a identificação de extremos horários de precipitação bem como a distribuição temporal das ocorrências ao longo dos últimos 15 anos.



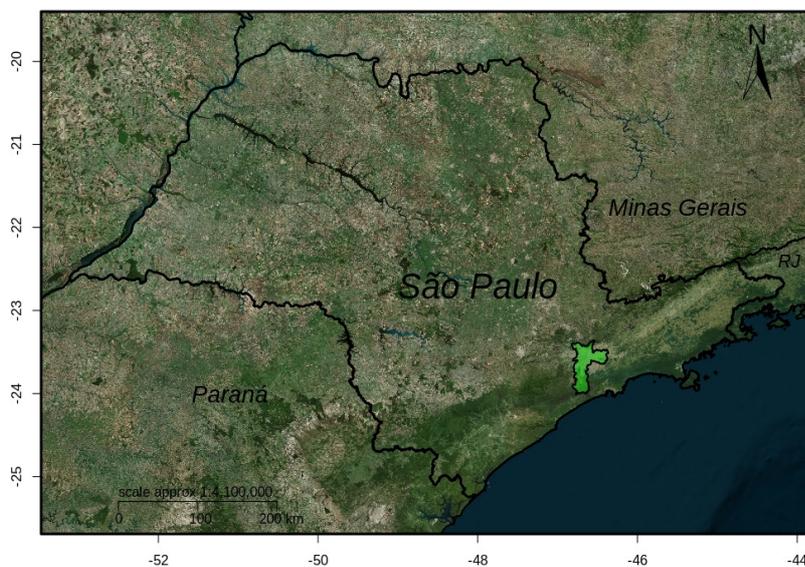
MATERIAIS E MÉTODOS

Local de Estudo

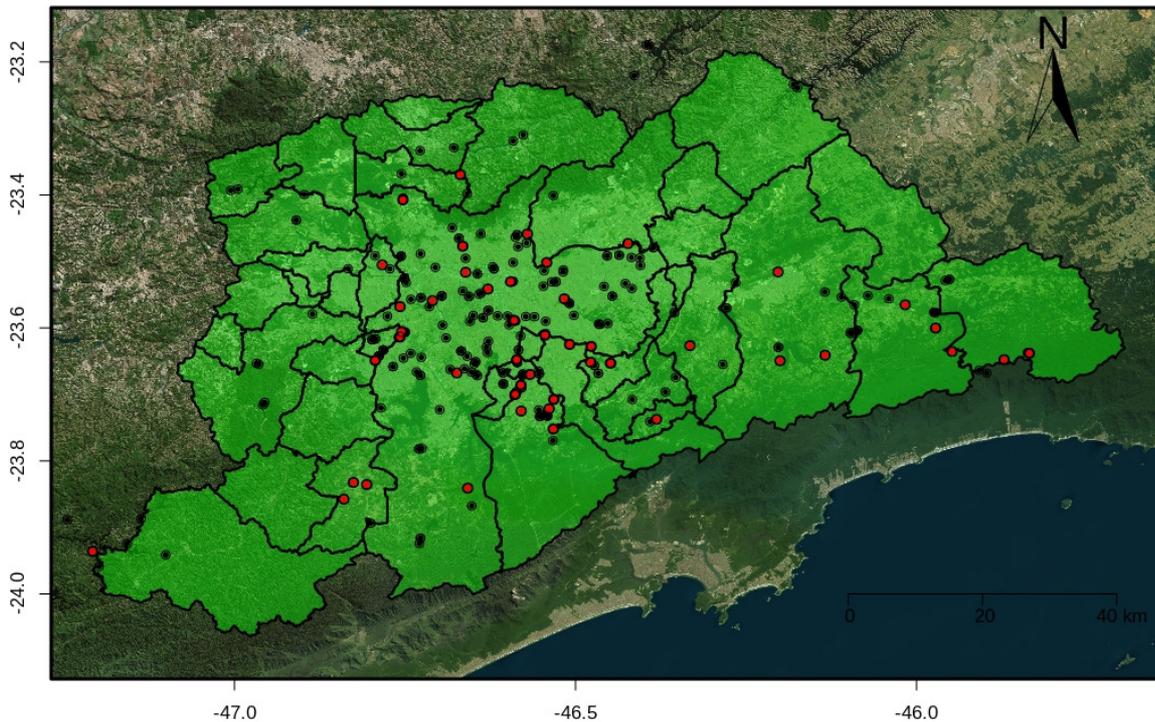
A área de estudo é a Região Metropolitana de de São Paulo, capital do estado de SP, região sudeste do Brasil. Com uma área de aproximada de 6000 km², população de aproximadamente 20 milhões (IBGE, 2010) e abrange 39 municípios dentro de seus domínios (Figura 1).

Rede de Pluviômetros

Para os dados observados, foram utilizados pluviômetros automáticos operados pelo SAISP. O total de estações operadas, em junho de 2022, é de 315. Dentro deste universo de estações, têm-se distintos tamanhos de histórico. O número de estações vem aumentando constantemente com o tempo e a atual rede passou por dois grandes momentos de expansão. A maior delas ocorreu entre os anos de 2006 e 2007. Sendo assim, selecionaram-se apenas estações com dados completos a partir de 1 de janeiro 2007 até 31 de maio de 2022. Foram aceitas estações com pelo menos 99% dos dados válidos (sem falhas). Assim, para o presente trabalho utilizou-se 67 estações automáticas, que contam com pluviômetros de balança, com resolução temporal de 10 minutos e resolução de amostragem de 0,2 mm. A distribuição espacial das estações selecionadas que podem ser observadas em destaque na Figura 1b, em vermelho.



(a)



(b)

Figura 1: a) Em verde temos a localização do município de São Paulo dentro do estado de São Paulo. b) A área em verde mostra o domínio da RMSP, os pontos em vermelho são as localizações das estações automáticas utilizadas no trabalho e os pontos em preto as estações operadas pelo SAISP. Rocha Filho *et al.* 2021)

Identificação de extremos.

A precipitação, como variável estocástica, possui elevada variabilidade espacial e temporal. Há probabilidade da ocorrência de um evento horário extremo em uma localidade onde não há cobertura de estações, bem como a porção mais intensa do sistema precipitante não ocorrer sobre a estação. Para aumentar a detecção dos extremos, foram utilizadas todas as estações disponíveis (Figura 1). Para o cálculo dos acumulados horários, foi utilizada uma janela móvel de 1 hora e selecionado o máximo acumulado horário para cada dia e para cada estação.

Partindo da série de máximos diários dos acumulados horários de 15 anos para as 67 estações, os dados foram ordenados de forma decrescente e ajustada a distribuição de probabilidade GEV (*Generalized Extreme Event*), observada na Equação 1 (Coles, 2001). Back e Bonfante (2021) indicam este tipo de distribuição para estudo de extremos de precipitação. O valor extremo adotado foi o percentil de 98% (P98) para o ajuste da distribuição.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{k}{\alpha} (x - \beta) \right]^{\frac{1}{k} - 1} e^{-\left[1 - \frac{k}{\alpha} (x - \beta) \right]^{\frac{1}{k}}} \quad (1)$$

Onde: k é o parâmetro de forma, α é o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição da distribuição.

Como os dados são coletados a cada 10 minutos, existe a possibilidade de ocorrência de mais de um valor acima de P98 em um mesmo dia para cada estação. Verificou-se a separação no tempo entre os valores de uma estação considerados extremos e se distantes por pelo menos 2h no tempo, são considerados eventos distintos e computados como uma ocorrência. Finalmente, foi determinado, para cada estação, o número de eventos extremos ocorridos a cada ano e a localização das ocorrências. A Figura 2 mostra o fluxograma para a determinação dos extremos e contagem das ocorrências.

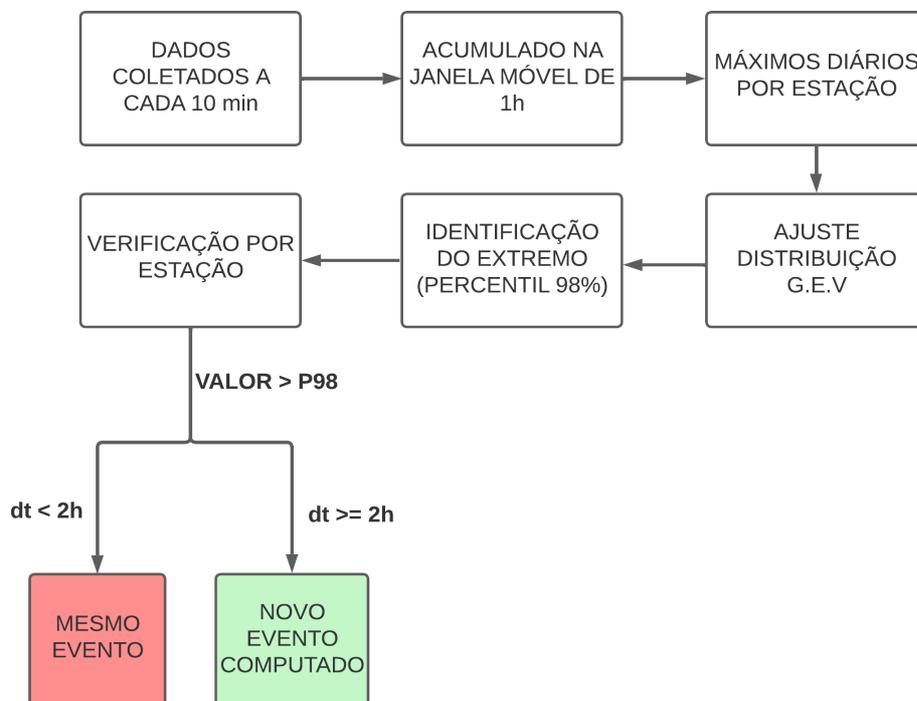


Figura 2: Fluxograma da metodologia de determinação do valor de extremo de precipitação e da contagem do número de eventos

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ajustes e determinação do extremo

A partir dos máximos diários de acumulada horária de precipitação para as 67 estações, foi efetuado o ajuste com a distribuição GEV. A Figura 3 mostra a distribuição dos máximos bem como o ajuste GEV. O valor do percentil de 98% (linha pontilhada azul) da distribuição encontrado é de 68,5 mm, sendo este o valor a ser considerado como limiar para classificação de acumulado horário extremo. Para efeito de comparação, o valor 68,5 mm para 1h de tempo de acumulação resulta em um evento com período de retorno de $T = 15$ anos (68,3 mm) para a equação de chuvas intensas descrita em CTH (2018) para o município de São Paulo.

O erro quadrático médio do ajuste é de 0.0486. Atribui-se o valor elevado à grande frequência do primeiro bloco de valores. Os autores sugerem investigações com outras distribuições onde os parâmetros possam representar esta forma mais adequadamente.

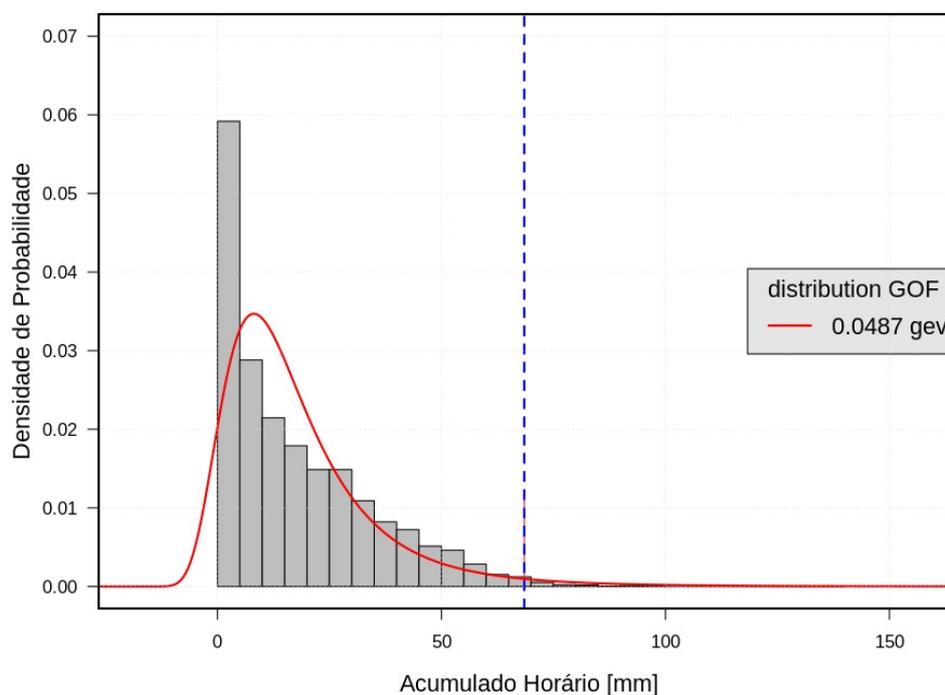


Figura 3: Ajuste da função distribuição de probabilidade GEV. O histograma em conza mostra a distribuição de probabilidade de frequência dos dados. A linha em vermelha mostra o ajuste da função distribuição de probabilidade GEV e a linha pontilhada em azul mostra o valor do percentil de 98% (68,5 mm) para a distribuição.

Ocorrências de Extremos

A Figura 4 mostra o número de ocorrências de eventos extremos entre os anos de 2007 e 2022 (até maio completo). Destaca-se o ano de 2011, ano com maior número de eventos extremos da série analisada. Este ano destacou-se como o mais chuvoso de toda a série histórica monitorada pelo SAISP. Ainda, não se observou tendências significativas no número de ocorrências em função dos anos. Os autores atribuem esse fato devido à pequena extensão da série de dados.

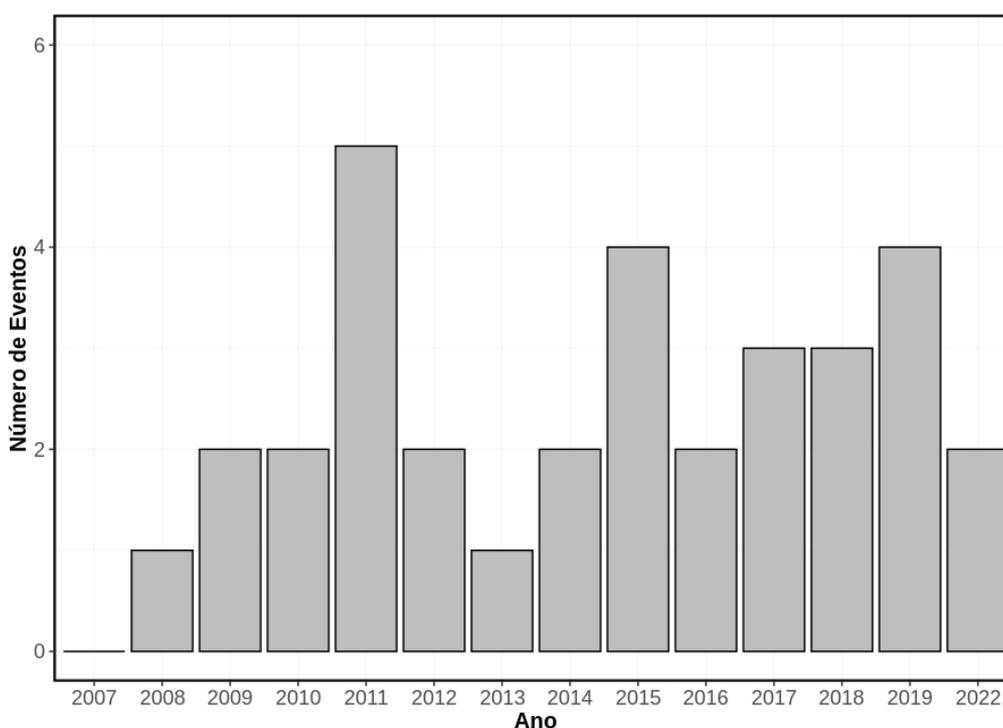


Figura 4: Número de ocorrências de eventos de acumulados horários extremos entre 2007 e 2022 na RMSP.

Ao todo, foram identificados 33 eventos extremos. As datas das ocorrências e identificação das estações podem ser observadas na Tabela 1. Ficam como destaque os meses do ano em que tipicamente ocorrem os extremos. Dos 33 detectados, todos ocorreram entre os meses de outubro e abril de anos consecutivos, período este classificado como chuvoso no leste do estado de SP.

Ressalta-se que não foi detectado nenhum caso de ocorrência de dois ou mais extremos de precipitação em um mesmo dia para uma mesma estação. Porém, houve cinco casos de mais de um extremo detectado duas ou mais estações em um mesmo dia, como se pode observar destacado em vermelho na Tabela 1. Não foram abordados neste estudo os fatores relativos à ocorrência simultânea em duas ou mais estações, portanto há a necessidade de investigações relativas aos extremos do ponto de vista espacial.



Tabela 1 – Eventos extremos de acumulados horários entre os anos de 2007 e 2022 (até maio). Os destaques em vermelho mostram os eventos de extremos detectados no mesmo dia por estações distintas.

Data	Estação (ID)	Acumulado Máx 1h [mm]	Data	Estação (ID)	Acumulado Máx 1h [mm]
21/12/08	279	71,6	26/12/15	273	73,0
17/03/09	323	79,8	26/12/15	410	70,4
26/10/09	299	75,8	26/12/15	491	80,4
03/02/10	005	93,4	06/02/16	284	69,8
26/12/10	179	71,4	06/02/16	410	69,0
11/01/11	282	72,6	06/03/17	279	70,0
23/01/11	005	95,8	14/03/17	343	70,5
23/01/11	346	75,0	14/03/17	701	76,6
27/02/11	277	68,8	20/03/18	277	69,8
25/04/11	179	86,2	23/11/18	514	72,6
25/01/12	243	69,6	19/12/18	504	74,4
19/11/12	177	74,8	11/01/19	265	73,4
14/02/13	277	81,2	02/03/19	339	69,0
22/01/14	335	91,2	02/03/19	410	75,4
22/12/14	010	137,8	09/03/19	519	84,8
19/03/15	491	75,0	02/01/22	277	70,8
			07/03/22	279	70,0

CONCLUSÃO

Foram analisados dados de precipitação de 67 estações automáticas com resolução temporal de 10 minutos na RMSP para a determinação do extremo de precipitação horária. O ajuste da distribuição de probabilidade GEV mostrou um erro quadrático médio significativo, evidenciando a necessidade de estudos com diversas distribuições disponíveis.

O percentil de 98% foi utilizado como critério para determinação de um vento extremo e o valor adotado foi de 68,5 mm para acumulados de 1h. A detecção de eventos extremos nos últimos 15 anos mostrou a ocorrência de 33 eventos com uma média de $2,36 \pm 1,4$ eventos por ano entre 2007 e maio de 2022.

Há a necessidade de estudo com diferentes intervalos de acumulados, em especial aqueles que coincidem com o tempo de concentração de bacias urbanas e que podem assim contribuir no entendimento dos processos de dimensionamento de intervenções estruturais ou mesmo medidas não estruturais como alertas antecipados à extremos hidrológicos. Ressalta-se ainda a necessidade



de identificação de regiões homogêneas dentro da RMSP para estudos de extremos e intensidade frequências mais adequados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMOWSKI, K., & BOUGADIS, J. (2003). Detection of trends in annual extreme rainfall. *Hydrological Processes*, 17(18), 3547-3560.

BACK, Á. J., & BONFANTE, F. M. (2021). Evaluation of generalized extreme value and Gumbel distributions for estimating maximum daily rainfall. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, 56(4), 654-664.

BONACCORSO, B., CANCELLIERE, A., & ROSSI, G. (2005). Detecting trends of extreme rainfall series in Sicily. *Advances in Geosciences*, 2, 7-11.

COLES, S., 2001: An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer, London, 45–57.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 2018: Precipitações Intensas no Estado de São Paulo. Disponível em: < <http://www.dae.sp.gov.br/site/hidrologia/> >.

GENCER, E., R. FOLORUNSHO, M. LINKIN, ET AL. 2018. Disasters and risk in cities. In *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. C. Rosenzweig, W. Solecki, P. Romero-Lankao, et al., Eds.: 61–98. New York, NY: Cambridge University Press.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse_tab_rm_zip.shtm >.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., AMBRIZZI, T., YOUNG, A., BARRETO, N. J., & RAMOS, A. M. (2020). Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1472(1), 5-20.

ROCHA FILHO, K. L.; BARROS FILHO, M. T. L.; CONDE, F.; PION S. M.; TOMINAGA, R.N.S.; SOSNOSKI A. S. K. B.; ANDRIOLI, C, P. (2021). *Distribuição temporal da precipitação no município de São Paulo a partir de dados observados*. In *Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Belo Horizonte - MG.

ROMERO-LANKAO, P. (2011). Urban responses to climate change in Latin America: reasons, challenges and opportunities. *Architectural Design*, 81(3), 76-79.

SONG, Y., ACHBERGER, C., & LINDERHOLM, H. W. (2011). Rain-season trends in precipitation and their effect in different climate regions of China during 1961–2008. *Environmental Research Letters*, 6(3), 034025.



STOCKER, T. (ED.). (2014). *“Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.”* .Cambridge university press.