

## RESSALVA

Atendendo solicitação do (a) autor  
(a), o texto completo desta  
dissertação será disponibilizado a  
partir de  
08/10/2023



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Campus de São José dos Campos  
Instituto de Ciência e Tecnologia



UNIDADE DE PESQUISA DO  
**MINISTÉRIO DA**  
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,**  
**INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**



**RAISSA BARRETO DE CARVALHO**

**ANÁLISE DE CHUVAS EXTREMAS E A RELAÇÃO COM**  
**EVENTOS DE ALAGAMENTOS NA CIDADE DE SÃO**  
**PAULO – SP.**

**RAISSA BARRETO DE CARVALHO**

**ANÁLISE DE CHUVAS EXTREMAS E A RELAÇÃO COM EVENTOS DE  
ALAGAMENTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO – SP.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres Naturais. Linha de pesquisa: Desastres associados a eventos extremos, inundações e movimentos de massa.

Orientador: Profa. Dra. Luana Albertani Pampuch

Coorientador: Prof. Dr. Jose Antonio Marengo Orsini

São José dos Campos

2021

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2021]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Carvalho, Raissa Barreto de

Análise de chuvas extremas e a relação com eventos de alagamentos na cidade de São Paulo - SP / Raissa Barreto de Carvalho. - São José dos Campos : [s.n.], 2021.  
102 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Pós-graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

Orientadora: Luana Albertani Pampuch

Coorientador: Jose Antonio Marengo

1. Eventos Extremos de precipitação. 2. Alagamentos. 3. ZCAS. 4. Frentes Frias. I. Pampuch, Luana Albertani, orient. II. Marengo, Jose Antonio, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). VII. Título.

**BANCA EXAMINADORA**

**Dra. Luana Albertani Pampuch** (Orientadora)

UNESP

Instituto de Ciência e Tecnologia

São José dos Campos-SP

**Dra. Luz Adriana Cuartas Pineda**

UNESP

CEMADEN

São José dos Campos-SP

**Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar**

INPE

Cachoeira Paulista -SP

São José dos Campos, 08 de outubro, 2021.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, ao Instituto de Ciência e Tecnologia e ao CEMADEN pela oportunidade de fazer parte do programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais;

Agradeço à Profa. Dra. Luana Albertani Pampuch e ao Prof. Dr. José Antonio Marengo Orsini por auxiliarem e orientarem no andamento deste trabalho;

Agradeço também a ajuda e auxílio da Prof. Dr. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes na geocodificação dos endereços dos pontos de alagamento;

Agradeço a todos os membros da banca titulares e suplentes, Prof. Dr. Luz Adriana Cuartas Pineda, Prof. Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar, Profa. Dra. Ana Paula Martins do Amaral Cunha e o Prof. Dr. Luiz Felipe Gozzo por terem aceitado a participar desta avaliação;

Por fim agradeço a minha família e amigos que me deram apoio e ajuda durante todo este período.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Chuvas no município de São Paulo.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.1 Zona de convergência do atlântico sul (ZCAS) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Frentes frias .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Chuvas extremas.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Vulnerabilidade da cidade de São Paulo aos eventos extremos de chuvas e hidrológicos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Alagamentos.....</b>	<b>24</b>
<b>3 PROPOSTA DE PESQUISA.....</b>	<b>25</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Materiais.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Métodos .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2.1 Determinar eventos extremos de precipitação .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2.2 Relacionar eventos extremos de precipitação com fenômenos atmosféricos atuantes .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.3 Relacionar os eventos extremos com episódios de alagamentos em São Paulo .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.4 Quantificação dos danos e impactos causados pelas chuvas extremas em São Paulo .....</b>	<b>33</b>
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1 Climatologia de precipitação.....</b>	<b>34</b>

<b>5.2 Chuvas extremas diárias.....</b>	<b>35</b>
<b>5.3 Frequência de chuvas extremas diárias em São Paulo .....</b>	<b>39</b>
<b>5.3.1 Frequência anual de chuvas extremas diárias.....</b>	<b>39</b>
<b>5.3.2 Frequência sazonal de chuvas extremas diárias.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.3 Frequência mensal de chuvas extremas diárias .....</b>	<b>47</b>
<b>5.4 Pontos de alagamento no município de São Paulo .....</b>	<b>63</b>
<b>5.5 Sistemas meteorológicos associados a ocorrência de chuvas extremas (limiar <math>p(0,99)</math>) município de São Paulo .....</b>	<b>67</b>
<b>5.6 Chuvas extremas diárias e a relação com episódios de alagamento no município de São Paulo.....</b>	<b>69</b>
<b>5.7 Danos causados pelas chuvas extremas no município de São Paulo .....</b>	<b>72</b>
<b>6 DISCUSSÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>90</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Normal climatológica da precipitação acumulada (mm) dos períodos (1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010) para a estação Mirante de Santana. ....	16
Figura 2 - Sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul (ZCAS e frentes frias na região Sudeste do Brasil na baixa troposfera). ....	17
Figura 3 - Esquema da formação de uma frente fria .....	20
Figura 4 - Mapa do município de São Paulo com a divisão dos distritos.....	32
Figura 5 – Climatologia de precipitação nos cinco postos pluviométricos utilizados no estudo localizados no município de São Paulo (1985-2019).....	35
Figura 6 - Frequência diária de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) .....	40
Figura 7 - Frequência sazonal (DJF) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) ....	42
Figura 8 - Frequência sazonal (MAM) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019). 43	
Figura 9 - Frequência sazonal (JJA) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019).....	45
Figura 10 - Frequência sazonal (SON) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019). 46	
Figura 11 - Frequência mensal (janeiro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) .....	47
Figura 12 - Frequência mensal (fevereiro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) .....	49
Figura 13 - Frequência mensal (março) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) 50	
Figura 14 - Frequência mensal (abril) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) ..	51
Figura 15 - Frequência mensal (maio) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) .	53
Figura 16 - Frequência mensal (junho) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) 54	
Figura 17 - Frequência mensal (julho) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) .	55
Figura 18 - Frequência mensal (agosto) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)57	
Figura 19 - Frequência mensal (setembro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) .....	58
Figura 20 - Frequência mensal (outubro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019) .....	59
Figura 21 - Frequência mensal (novembro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019).....	60

Figura 22 - Frequência mensal (dezembro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019).....	62
Figura 23 – Gráficos dos alagamentos no município de São Paulo entre os anos de 2005 e 2019 .....	64
Figura 24 – Gráficos de alagamentos no município de São Paulo entre os anos de 2005 e 2019 .....	65
Figura 25 - Mapa dos pontos de alagamento entre os anos de 2005 e 2019 no município de São Paulo .....	66
Figura 26 – Mapas dos pontos de alagamento em dias de chuvas extremas entre os anos de 2005 e 2019 no município de São Paulo .....	70
Figura 27 - Número de pontos de alagamentos nos dias de ocorrência de chuva extrema (limiar de $p(0,99)$ ).....	71
Figura 28 - Distribuição da precipitação (mm) nos dias que tiveram pontos de alagamento em dia de chuvas extremas $p(0,99)$ .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Latitude, longitude e altitude dos postos meteorológicos .....	28
Tabela 2 - Dados faltantes dos postos pluviométricos na cidade de São Paulo entre 1985 -2019 .....	30
Tabela 3 – Limiar (em mm/dia) dos eventos extremas de p(0,95) e p(0,99) no período de 1985-2019	36
Tabela 4 - Quantidade de chuvas extremas diárias no período de 2005-2019 em São Paulo. ....	36
Tabela 5 - Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de chuva de p(0,99) sazonal no período de 1985-2019.....	37
Tabela 6 - Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de chuva de p(0,95) sazonal no período de 1985-2019.....	37
Tabela 7 - Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de chuva de p(0,99) mensal no período de 1985-2019.....	38
Tabela 8 - Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de chuva de p(0,95) mensal no período de 1985-2019.....	39
Tabela 9 - Datas de chuvas extremas (limiar p(0,99)) e relação com os sistemas de frentes frias e ZCAS que atuaram sobre São Paulo .....	67
Tabela 10 – Quantidade de eventos extremos e sistemas atuantes por estação.....	68
Tabela 11 - Quantificação dos danos e impactos causados pelas chuvas extremas (p(0,99)) no município de São Paulo (2005-2019).....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Alta da Bolívia
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASPS	Alta Subtropical Pacífico Sul
B	Baixa pressão
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CGE	Centro de Gerenciamento de Emergência
CPTEC	Centro Brasileiro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DAEE	Departamento de Águas e Energia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JBN	Jato de baixos níveis
JP	Jato Polar
JS	Jato Subtropical
FF	Frente Fria
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
ROL	Radiação de onda longa
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

**CARVALHO, R. B. Análise de chuvas extremas e a relação com eventos de alagamento na cidade de São Paulo – SP.** 2021. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

## **RESUMO**

Os eventos extremos de chuva no município de São Paulo são cada vez mais frequentes e intensos, esses eventos aliados ao mal planejamento das cidades e à vulnerabilidade da população se tornam um fator decisivo na ocorrência de desastres, como deslizamentos, inundações, enxurradas e alagamentos. Os alagamentos são um dos problemas mais recorrentes nas grandes cidades. O município de São Paulo, o mais populoso do Brasil, com uma densidade populacional de 7.398,26 hab/km<sup>2</sup>, é uma das cidades que mais são afetadas por alagamentos. Os danos provocados por alagamentos são de magnitude pequena, porém têm interferência na vida cotidiana da população, causando, por exemplo, transtornos na movimentação de pessoas e automóveis, afetando o crescimento econômico e o bem-estar da população. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar os eventos extremos de chuva na cidade de São Paulo - SP e associá-los com os sistemas atmosféricos de frente fria e ZCAS, selecionados com base nos boletins gerados pelo CPTEC, e identificar a relação desses eventos com os episódios de alagamentos na cidade. Por fim foram quantificados os danos e impactos causados pelos eventos extremos. Para isso foram utilizados dados de precipitação de 5 estações pluviométricas instaladas na cidade de São Paulo, referentes ao período que varia de 1985 a 2019. Para encontrar o limiar e identificar os eventos extremos foi aplicado o percentil de p(0,99) e como condição para ser considerado chuva extrema pelo menos 2 postos pluviométricos devem ter chuva acima do limiar encontrado. Os resultados mostraram que os limiares sazonais de chuva extrema p(0,99) em todos os postos foram maiores na estação de verão com variação entre 62,1 e 75,5 mm, já os menores limiares ocorreram no inverno (com variação entre 31 e 37,5 mm). Foi identificado uma ocorrência de 60 eventos extremos de chuva entre os anos 2005 e 2019, onde apresentaram pontos de alagamentos em quase todos os dias, apenas 11 dias não tiveram episódios de alagamentos, porém 6 deles tiveram alagamentos no dia anterior ao evento. Durante os episódios de eventos extremos, a ZCAS e as frentes frias contribuíram para ocorrência de chuvas intensas no município de São Paulo tendo ocorrido em 68,3% dos casos das chuvas analisadas, a ZCAS foi mais frequente no verão e as frentes frias no outono e inverno. A contabilização dos danos causados pelas chuvas extremas demonstrou que os principais impactos ocorridos foram congestionamentos e interdições de vias, desabamentos, danos em imóveis, queda de muro e danos em veículos e o total de pessoas afetadas foram de 21 feridas, 20 desalojadas, 19 ilhadas, 15 vítimas fatais, 7 desabrigadas e 6 pessoas arrastadas pelas enxurradas. Os principais danos associados aos alagamentos verificados nas notícias foram de congestionamentos e pessoas ilhadas.

**Palavras-chave:** Eventos extremos de precipitação. Alagamentos. ZCAS. Frentes frias.

CARVALHO, R.B. *Analysis of extreme rainfall and the relationship with flooding events in the city of São Paulo - SP*. 2021. Dissertation (Master's degree in Natural Disaster) - São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology, National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

### ABSTRACT

Extreme rain events in the city of São Paulo are increasingly frequent and intense, these events, combined with poor planning in cities and the vulnerability of the population, become a decisive factor in the occurrence of disasters, such as landslides and flooding. Flooding is one of the most recurrent problems in big cities. The city of São Paulo, the most populous in Brazil, with a population density of 7,398.26 inhabitants/km<sup>2</sup>, is one of the cities that are most affected by flooding. The damage caused by flooding is of small magnitude, but it interferes in the daily life of the population, causing, for example, disturbances in the movement of people and cars, affecting economic growth and the population's well-being. Therefore, the objective of this work was to analyze the extreme rain events in the city of São Paulo - SP and associate them with the atmospheric cold front systems and ZCAS, selected based on the bulletins generated by CPTEC, and to identify the relationship of these events with the episodes of flooding in the city. Finally, the damage and impacts caused by extreme events were quantified. For this, precipitation data from 5 pluviometric stations installed in the city of São Paulo were used, referring to the period ranging from 1985 to 2019. To find the threshold and identify the extreme events, the percentile of  $p(0.99)$  was applied and how condition to be considered extreme rain, at least 2 pluviometric stations must have rain above the threshold found. The results showed that the seasonal extreme rainfall thresholds  $p(0.99)$  in all stations were higher in the summer season, with a variation between 62.1 and 75.5 mm, and the lowest thresholds occurred in the winter (with a variation between 31 and 37.5 mm). An occurrence of 60 extreme rain events was identified between the years 2005 and 2019, which showed flooding points on almost every day, only 11 days had no flooding episodes, but 6 of them had flooding the day before the event. During episodes of extreme events, ZCAS and cold fronts contributed to the occurrence of heavy rains in the city of São Paulo, occurring in 68.3% of the analyzed rain cases, ZCAS was more frequent in summer and cold fronts in autumn it's winter. The accounting of damages caused by extreme rains showed that the main impacts that occurred were traffic jams and interdictions, landslides, damage to buildings, falling walls and damage to vehicles and the total number of people affected was 21 injured, 20 homeless, 19 islands, 15 fatal victims, 7 homeless and 6 people dragged by the floods. The main damages associated with the flooding verified in the news were from traffic jams and stranded people.

**Keywords:** Extreme precipitation events. Floods. SACZ. Cold fronts.

## 1 INTRODUÇÃO

Eventos diários de chuvas extremas são cada vez mais frequentes e intensos no município de São Paulo, causando transtornos no dia a dia dos residentes (SILVA DIAS et al, 2013; SUGAHARA et al, 2009; MARENGO et al, 2020a; MARENGO et al, 2020b). O aumento da população e das áreas urbanas em conjunto com as chuvas mais intensas ocorridas nesses locais (MARENGO et al, 2020a; MARENGO et al, 2020b), têm despertado maior interesse nos estudos dos eventos extremos, pois esses eventos vêm contribuindo para a ocorrência de extremos hidrológicos e conseqüentemente para episódios de desastres, como enxurradas, inundações, enchentes e alagamentos o qual impactam a vida das pessoas e a economia das cidades (HADDAD e TEXEIRA, 2015; TEXEIRA e HADDAD, 2014). Estudos apontam que o aumento da frequência e intensidade dos extremos de chuvas estão associadas as mudanças climáticas (UNITED NATIONS OFFICE FOR DASASTER RISK REDUCTION, 2015; MARENGO et al, 2020a; MARENGO et al, 2020b; DUFEK e AMBRIZZI, 2007).

A vulnerabilidade é um importante elemento quando se trata de desastres decorrentes de ameaças naturais, podendo ser descrita como o grau de suscetibilidade de um sistema socioeconômico receber um impacto de um evento natural significativo. A chuva extrema é considerada uma ameaça quando combinado a outros fatores como a falta de preparo das cidades em relação aos desastres, consciência das pessoas em situações de perigo, condição social da população, moradias construídas em áreas de risco, etc (GONÇALVES, 2012). Segundo Debortoli et al. (2017) os resultados do índice de vulnerabilidade nacional apontam um alto grau de vulnerabilidade a desastres provenientes de eventos hidrometeorológicos em diversos locais do território brasileiro. Os municípios localizados em áreas de risco e vulneráveis a desastres são monitorados pelo CEMADEN, atualmente, 1039 municípios em todas as regiões brasileiras são monitorados, desses municípios 98 estão localizados no Estado de São Paulo, essas cidades foram selecionadas através do histórico de registros de desastres causados por movimentos de massa e processos hidrológicos como os alagamentos, enxurradas, inundações (CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS, 2021). O município de São Paulo é uma das cidades prioritárias monitoradas pelo CEMADEM (CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS, 2021).

A estação chuvosa em São Paulo - SP, segundo dados climatológicos do INMET,

ocorre nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (verão). Em um estudo feito por Alves et al. 2005, a estação chuvosa no Estado de São Paulo começa em média no início do mês de outubro, com o sistema de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sendo um dos principais responsáveis por essas chuvas. Nos meses de março a maio as frentes frias são mais frequentes e geram chuva no município de São Paulo. (HALLAK e PEREIRA FILHO, 2011; MORAIS et al, 2010; CARVALHO et al, 2002; CARVALHO et al, 2004).

Os alagamentos são extremos hidrológicos que ocorrem com frequência no município de São Paulo. Um estudo feito por Coelho e Ferreira (2016), mostra que a cidade registrou uma maior concentração de alagamentos na região central, a maioria dos pontos foram encontrados principalmente sob às grandes vias marginais dos rios Pinheiros e Tietê o que contribuiu para problemas de mobilidade urbana. O município é o mais populoso do país com 12.396.372 pessoas e sua alta densidade populacional de 7.398,26 hab/km<sup>2</sup> podem agravar problemas gerados pelos alagamentos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021). Os alagamentos ocorrem em consequência dos eventos intensos de chuva aliado a falta de eficiência da drenagem urbana, os danos causados são de magnitude pequena em razão da sua elevação relativamente baixa, e raramente são capazes de causar mortes, porém os problemas sofridos pela população são relevantes, como exemplo a dificuldade na circulação de automóveis e pessoas, e os danos materiais. Portanto um dos motivos de São Paulo enfrentar tantos problemas com alagamentos é o aumento da impermeabilização do solo em consequência do aumento populacional, gerando um maior volume do escoamento superficial, colocando essas grandes áreas urbanas em situação de mais susceptibilidade à ocorrência de alagamentos severos (GONÇALVES, 2012; CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA , 2013).

Entre os anos 1991 e 2012, o Estado de São Paulo teve 112 registros oficiais de alagamentos excepcionais caracterizados como desastre, 30% das ocorrências ocorreram na Mesorregião Metropolitana de São Paulo. As consequências negativas foram causadas pelos alagamentos em todo estado, foi verificado que os desastres de alagamentos deixaram quase 107 mil pessoas afetadas, 2.374 desabrigadas, 9.380 desalojadas, 322 enfermas, 54 feridas e 9 mortas (CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2013).

Estudos nesse contexto podem contribuir para criação de medidas para combater fatores adjacentes como a urbanização rápida e não planejada das cidades, principalmente em

áreas de risco, má gestão do solo e fatores como a mudança demográfica que interferem em problemas provenientes desse tipo de desastre (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, 2015; CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2013).

Desse modo esse trabalho tem como objetivo compreender o comportamento dos eventos extremos de precipitação na cidade de São Paulo - SP, discutir sobre os principais sistemas que contribuíram para ocorrência dessas chuvas e relacioná-las com os episódios de alagamentos registrados no município e por fim quantificar os danos causados pelas chuvas extremas determinadas a partir da metodologia utilizada neste trabalho.

## 7 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo compreender o comportamento das chuvas extremas no município de São Paulo e associar esses eventos com episódios de ZCAS e frentes frias e relacionar com os pontos de alagamento verificados na cidade. Os danos causados pelas chuvas extremas à população também foram contabilizados para se ter uma dimensão dos prejuízos materiais e pessoas afetadas.

Desta maneira este estudo determinou a ocorrência de 60 eventos de chuva extrema na cidade de São Paulo, esses eventos contribuíram para ocorrência de pontos de alagamento no município, as datas que tiveram mais pontos de alagamento foram o dia 8 de dezembro de 2009 (123 pontos) onde os totais pluviométricos entre os postos variaram de 7,4 mm a 86,9 mm e no dia 21 de janeiro de 2010 (110 pontos), com totais pluviométricos diários que variaram entre 44 mm e 86,6 mm. As duas datas que registraram maior quantidade de alagamentos estavam associadas à ZCAS. Das 60 ocorrências de chuvas extremas, 11 dias não registraram pontos de alagamento, porém observou-se episódios de alagamentos no dia anterior aos eventos em 6 desses dias. Comprovou-se que a ZCAS e as frentes frias contribuíram para ocorrência de chuvas intensas no município de São Paulo tendo influenciado em 68,3% dos casos de chuvas extremas, o que também foi observado no trabalho Lima et al (2010) para o sudeste do Brasil. A ZCAS teve maior influência no verão gerando 17 eventos de chuva extrema, já as frentes frias foram mais frequentes no outono e no inverno contribuindo para 6 eventos extremos em cada uma das duas estações.

Os alagamentos em dias de chuvas extremas foram mais frequentes nos distritos que de Bom Retiro (123 pontos), Barra Funda (74 pontos), República (71 pontos) e a densidade dos pontos de alagamentos foram maiores nos distritos localizados no centro da cidade (Bom Retiro, Barra Funda, Santana, Santa Cecília e Casa Verde). Observou-se que os eventos extremos causaram desastres ao município, além da pontos de alagamentos, como deslizamentos de terras, inundações, enxurradas, todos esses eventos causaram danos e impactos para a população e para cidade de São Paulo. Os resultados apresentados mostraram que os principais prejuízos e impactos ocorridos na cidade foram congestionamentos e interdições de vias (90 casos), desabamento e danos em imóveis (63 casos), quedas de muro (21 casos), danos em veículos (21 casos) e a quantidade de pessoas afetadas pelas chuvas intensas foram 21 pessoas feridas, 21 pessoas desalojadas, 19 pessoas ilhadas, 15 vítimas

fatais 7 desabrigadas, 6 pessoas arrastadas pelas enxurradas e 1 afogamento dentro de residência.

Ao longo do estudo algumas limitações foram encontradas. Foi identificado que nem todos os dias que ocorreram eventos extremos de chuva tiveram pontos de alagamentos, no total 11 dias que não tiveram registro de alagamentos, porém 6 desses dias tiveram pontos de alagamento no dia anterior ao evento.

Limitações também ocorreram na contabilização de danos e impactos sofridos pela população, onde foi difícil quantificar quantos danos estiveram ligados aos episódios de alagamentos através das informações que foram obtidas, no entanto pode se quantificar os tipos de danos mais frequentes ocasionados pelas chuvas extremas dando uma visão geral dos problemas que a cidade enfrenta nesses dias.

Esse estudo foi importante pois permitiu ter uma compreensão da dimensão das chuvas extremas em São Paulo e observar o quanto essas chuvas estão relacionadas aos episódios de alagamentos na cidade e como elas acabam causando transtornos e prejuízos para população.

Uma sugestão para trabalhos futuros é determinar eventos de chuvas utilizando percentis mais baixos para determinar chuvas fracas, moderadas e fortes e comparar com episódios de alagamentos na cidade, já que os pontos de alagamentos são recorrentes no município de São Paulo e essa análise seria interessante para se ter uma percepção dos volumes de precipitação que começam a gerar pontos de alagamento, pois neste estudo notou-se que entre os anos de 2005-2019 apenas 3,6 % dos dias com registros de alagamentos tiveram associados as chuvas extremas.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CAMARGO, H. J.; CASTRO, C. Início da estação chuvosa na região sudeste do Brasil: parte I: estudos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, p. 385-394, 2005.
- AMBRIZZI, T.; FERRAZ, S. E. T. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. **Frontiers in Environmental Science**, v. 3, p. 23, 2015.
- BARRETO, J. R. **Impactos pluviais: um estudo de caso de Jacareí-SP**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal de Viçosa, 2012.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.
- CASTRO, A. L. C *et al.* **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2003. p. 174.
- CAVALCANTI, I. F. A *et al.* **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 463.
- CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 A 2012**. 2. ed. Florianópolis: [s. n.], 2013. Atlas. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>. Acesso em: 3 jan. 2021.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Municípios monitorado**. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/municipios-monitorados-2/>. Acesso em: 13 set. 2021.
- CGE (Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas). **Alagamentos**. Disponível em: <https://www.cgesp.org/v3/alagamentos.jsp>. Acesso em: 5 jul. 2020.
- COELHO, T. A. S.; FERREIRA, M. C. Densidade kernel e análise espacial das áreas com risco de alagamento no município de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 6., 2016, Recife. Atas [...]. Recife: [s. n.], 2016.
- DEBORTOLI, N. S.; CAMARINHA, P. I. M.; MARENGO, J. A.; RODRIGUES, R. R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Natural hazards**, v. 86, n. 2, p. 557-582, 2017.

- DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, n. 3-4, p. 167-178, 2008.
- GONÇALVES, C. D. Desastres naturais: algumas considerações: vulnerabilidade, risco e resiliência. **Territorium**, n. 19, p. 5-14, 2012.
- GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em 25 nov. 2020.
- HADDAD, E. A.; TEIXEIRA, E. Economic impacts of natural disasters in megacities: the case of floods in São Paulo, Brazil. **Habitat International**, v. 45, p. 106-113, 2015.
- HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. J. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 4, p. 591-608, 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Gráficos climatológicos**. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em 10/ jan. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 10 ago. 2020.
- FIGUEROA, S. N.; SATYAMURTY, P.; DA SILVA, D. P. L. Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 52, n. 10, p. 1573-1584, 1995.
- KODAMA, Y.-M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) part I: characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. Ser. II, v. 70, n. 4, p. 813-836, 1992.
- KODAMA, Y.-M. Large-scale common features of sub-tropical convergence zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), part II: conditions of the circulations for generating the STCZs. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. Ser. II, v. 71, n. 5, p. 581-610, 1993.
- LENTERS, J. D.; COOK, K. H. Summertime precipitation variability over South America: role of the large-scale circulation. **Monthly Weather Review**, v. 127, n. 3, p. 409-431, 1999.
- LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J.D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 12, n. 7, p. 1877-1891, 1999.
- LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of Sao Paulo, Brazil. **Journal of Climate**, v. 14, n. 2, p. 208-218, 2001.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1-2, p. 121-135, 2010.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ALVES, L. M.; BARRETO, N. D. J. D. C.; REBOITA, M.; RAMOS, A. Changing trends in rainfall extremes in the Metropolitan Area of Sao Paulo: causes and Impacts. **Frontiers in Climate**, v. 2, p. 3, 2020.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; YOUNG A.; BARRETO, N. J. C.; RAMOS, A. M. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2020.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALAVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓ, G; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31-44, 2015.

Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo (MASTER IAG). **Frentes e frontogêneses**. Disponível em: <http://master.iag.usp.br/pr/ensino/sinotica/aula09/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

MINUZZI, R. B., SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. D. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. D. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 338-344, 2007.

MECHOSO, C. R; ROBERTSON, A. W.; ROPELEWSKI, C. F.; GRIMM, A. M. The American monsoon systems. In: Proceeding of the 3rd international workshop on monsoons. Hangzhou, China, November, p. 2-6 2004.

MORAIS, M. A.; CASTRO, W. A. C.; TUNDISI, J. G. Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 205-217, 2010.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F.; MARENGO, J. A.; SALDIVA, P. H. N.; NOBRE, A. D.; OGURA, A.T.; THOMAZ, O.; VALVERDE, M.; PÁRRAGA, G. O. O.; SILVA, G. C. M.; SILVEIRA, A. C.; RODRIGUES, G, O. Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. **Embaixada Reino Unido, Rede Clima e Programa FAPESP em Mudanças Climáticas**, 2010.

PAMPUCH, L. A.; AMBRIZZI, T. Sistemas frontais sobre a América do Sul Parte I: climatologia e intervalo de passagem em dados da reanálise I do NCEP/NCAR. 2015. In: **Anais do IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, Santa Maria-RS**.

REBOITA, M. S; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. D.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, p.

185-204, 2010.

SILVA DIAS, M. A. F. S.; CARVALHO, L. M. V.; FREITAS, E. D. ; DIAS, P. L. S. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, v. 116, n. 3-4, p. 705-722, 2013.

SILVA, J. P. R.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da zona de convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

SOARES, J. R.; DIAS, M. A. F. S. Probabilidade de ocorrência de alguns eventos meteorológicos extremos na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, n. 1, p. 67-75, 1986.

SOUZA, C. V. F.; OLIVEIRA R. R. H.; CATALDI, M. Avaliação numérica da influência da urbanização no regime de convecção e nos padrões de precipitação da Região Metropolitana de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 495-508, 2017.

SUGAHARA, S; DA ROCHA, R. P; SILVEIRA, R. Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in Sao Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 29, n. 9, p. 1339-1349, 2009.

TEXEIRA, E. S.; HADDAD, E. A. Mapeamento das perdas econômicas potenciais dos pontos de alagamento do município de São Paulo, 2008-2012. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 4, p. 77-94, 2014.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030, 2015. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 15 jul. 2020.

VAREJÃO, M. A. **Meteorologia e climatologia**: versão digital 2. Recife: Esalq, 2006. p. 449.