



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

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

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

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/km², 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/km², 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/km² 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.

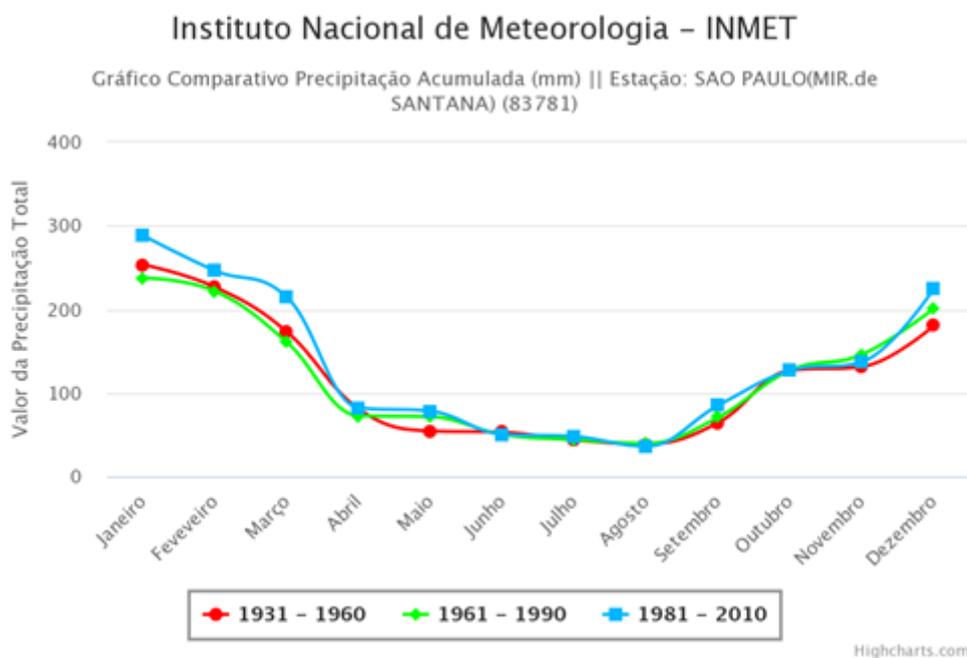
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Chuvas no município de São Paulo

O início do período chuvoso no Sudeste do país, estabelece primeiro no litoral paulista, onde em média começa em meados de setembro, no geral Estado de São Paulo apresenta em média seu início da estação chuvosa no dia 10 de outubro (ALVES et al, 2005; MINUZZI et al, 2006). Segundo Minuzzi et al. (2007), a duração do período chuvoso na maior parte do Sudeste do Brasil tem duração entre 155 e 173 dias.

O município de São Paulo, tem seus maiores acumulados médios de chuva, segundo dados da Estação Mirante de Santana (Figura 1), entre os meses de outubro a março e os menores acumulados ocorrem entre abril e agosto, definida como estação seca. O mês de janeiro é o mais chuvoso do ano na cidade com um total de quase 300 mm (normal climatológica de 1981-2010). Agosto é o mês com menor acumulado médio de chuva (com cerca de 30 mm).

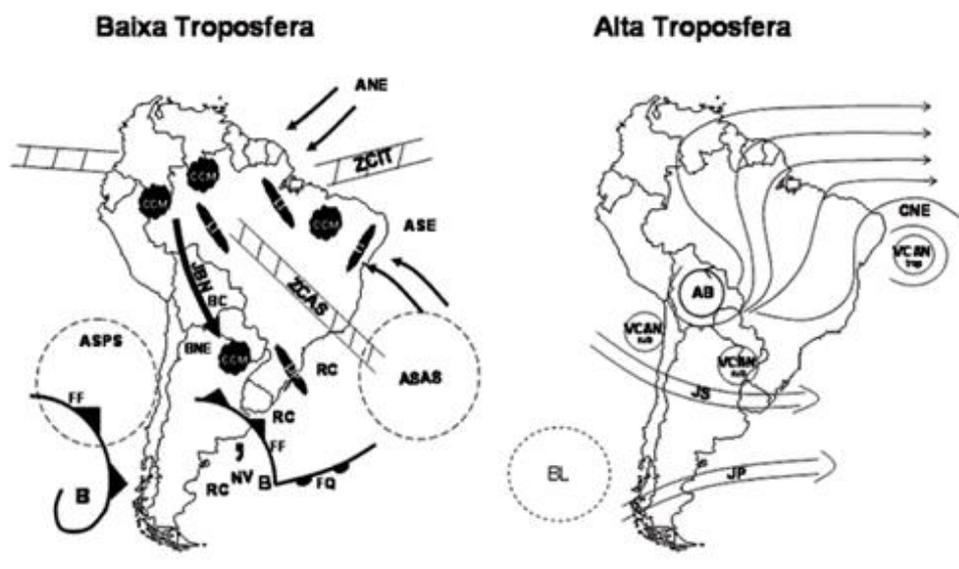
Figura 1 - Normal climatológica da precipitação acumulada (mm) dos períodos (1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010) para a estação Mirante de Santana.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2020).

A formação de chuvas no município de São Paulo, são ocasionadas por diferentes sistemas atmosféricos. Os dois principais sistemas atmosféricos de escala sinótica causadores de chuva na cidade, são a ZCAS e as frentes frias (FF), esses sistemas estão esquematizados na Figura 2. A ZCAS contribui para ocorrência de precipitação na estação chuvosa entre os meses de outubro e março. Já as frentes frias têm sua maior influência sobre o município entre os meses de março a maio (CAVALCANTI et al, p.95, 2009; MORAIS et. al, 2010). No estudo feito por Lima et al. 2010, no Sudeste do Brasil, foi identificado que no verão, 53% dos eventos de chuvas extremas foram causadas por frentes frias e 47% foram causadas pela ZCAS (LIMA et al, 2010).

Figura 2 - Sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul (ZCAS e frentes frias na região Sudeste do Brasil na baixa troposfera)



Fonte: Reboita et al. (2010).

2.1.1 Zona de convergência do atlântico sul (ZCAS)

A ZCAS é caracterizada como uma banda de nebulosidade que traz instabilidade, ela se forma devido ao encontro de convergência de umidade na baixa troposfera, junto com a fonte de calor latente da Amazônia. Tem orientação noroeste/sudeste na América do Sul, com extensão que vai da Amazônia até o sudeste do Brasil e uma frequência que cobre também a área do Oceano Atlântico Subtropical, junto com sistemas frontais, sua orientação é favorecida pela topografia íngreme andina (KODAMA 1992, 1993; FIGUEROA et al. 1995; LIEBMANN et al, 2001; CARVALHO et al, 2002a, 2004; CAVALCANTI et al. p.95, 2009; AMBRIZZI e FERRAZ, 2015).

Um estudo feito por Kodama (1992), descreveu algumas características presentes nas zonas de precipitação subtropicais. A ZCAS quando está no período ativo tem valor de precipitação que pode atingir 400 mm/mês, outro aspecto observado é a extensão para leste até os subtropicais associados às monções nos trópicos. Foi identificado que os limites em direção às regiões polares das massas de ar úmidas tropicais geram gradiente de umidade em baixo nível, e uma constante formação de instabilidade convectiva ocorre devido ao processo diferencial de advecção. O transporte de umidade ocorre em consequência dos ventos de baixo nível em grande escala, no qual favorece a ocorrência de chuvas. A ZCAS tem relação

com convecção tropical das monções, mostrando que a ZCAS faz parte integral da monção da América do Sul a importância das monções e da alta subtropical na sua formação (KODAMA, 1992).

Existem dois grandes fluxos de umidade convergindo ao longo da ZCAS e das Zonas de Convergência dos subtrópicos; um flui ao longo da orientação sudoeste da periferia da alta subtropical, invadindo as latitudes mais baixas, onde está localizado a ZCAS e os outros fluem para o leste ao longo da ZCAS (KODAMA, 1992).

Kodama (1993), investigou as circulações em grande escala na região subtropical em comparação com aquelas ao redor da ZCAS, onde foi observado duas condições importantes para o aparecimento da ZCAS, e são elas, o fluxo de jatos subtropicais em altos níveis nas latitudes (30° - 35°) e os fluxos polares de baixo nível que prevalecem ao longo das periferias ocidentais das altas subtropicais. Se uma dessas condições não forem satisfeitas, as áreas terão no máximo condição de chuvas fracas no subtrópico.

A Bacia Amazônica e o Oceano Atlântico Tropical fornecem grande umidade que alimenta o grande desenvolvimento da ZCAS. Quando o desenvolvimento da ZCAS é fraco e sua convecção é mais ao sul, por volta de 30° S, a umidade da Amazônia é transportada através dos intensos jatos em baixo nível (LIEBMANN, 1999).

Segundo Mechoso et al. (2004), a ZCAS se intensifica, na fase ciclônica de um redemoinho de escala continental associado aos sistemas de monções da América do Sul nas suas variações intrasazonais, interanuais e até intra-decadais, com a descida anômala para sudoeste e fluxo de baixo nível enfraquecido a leste dos Andes. O oposto ocorre na fase anticiclônica. A velocidade vertical está associada se mostra coerente com dipolo definido por anomalias úmidas e secas persistentes ao longo tropical e subtropical oriental da América do Sul durante o verão austral, com seu centro sobre o sudeste do Brasil próximo a ZCAS e outro centro no sul do Brasil, Uruguai e nordeste da Argentina (MECHOSO et al, 2004).

Em escala interanual o sistema de monção apresenta uma relação dipolar entre a precipitação sobre a ZCAS e sobre a região Sudeste América do Sul. As estações quentes com a ZCAS ativo tendem a ser acompanhadas por condições secas no sudeste da América do Sul, e vice-versa (MECHOSO et al, 2004).

O encontro da convergência de baixo nível e a localização observada da ZCAS indica que o mecanismo que favorece o surgimento da ZCAS é a fonte de calor latente vindo da Amazônia e da topografia íngreme andina. A posição e intensidade da ZCAS está ligado se

o crescimento da convecção diurna é transiente ou persistente, então pode-se dizer que a convecção sobre a Amazônia é importante na previsão da atividade convectiva e consequentemente no centro-oeste e no sudeste do Brasil e nas regiões adjacentes a essas regiões (FIGUEROA et al, 1995). O sistema da Alta da Bolívia (AB) tem influência sobre a ZCAS quando esta tem mudança para sul, onde foi observado que a precipitação pluviométrica do Altiplano está ligada a posição e intensidade da ZCAS (LENTERS e COOK, 1999).

No estudo feito por Silva et al. (2019), durante os anos de 2006 e 2017, cerca de 30% dos eventos de ZCAS ocorrem acoplados a um ciclone no oceano Atlântico Sul, colaborando para a manutenção da ZCAS. Esses ciclones têm como fonte de umidade a Amazônia e o setor tropical do oceano Atlântico Sul. A ZCAS persiste no mínimo por 4 dias, onde pode ocasionar extremos de precipitação em um dia ou acumulados de chuvas significativos (LIEBMANN et al, 2001; CARVALHO et al, 2002).

Uma maneira utilizada em vários trabalhos para identificar e observar a ZCAS são dados de Radiação de Onda Longa (ROL) mensal ou sazonal, onde é visto a atividade convectiva máxima ou energia mínima do sistema (FIGUEROA et al, 1995). Carvalho et al (2004) por exemplo utilizou dados de ROL diário para analisar a variabilidade da atividade convectiva e a circulação em grande escala da ZCAS nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF). Os autores observaram que a categoria intensa da ZCAS, determinada através da análise fatorial das propriedades estruturais dos dados de ROL, está associada às anomalias negativas intra-sazonais (10-90 dias) de ROL na extensa área que vai da Amazônia ocidental até o Oceano Atlântico e na categoria fraca da ZCAS notaram anomalias positivas, indicando aumento da convecção no sul do Brasil e Uruguai.

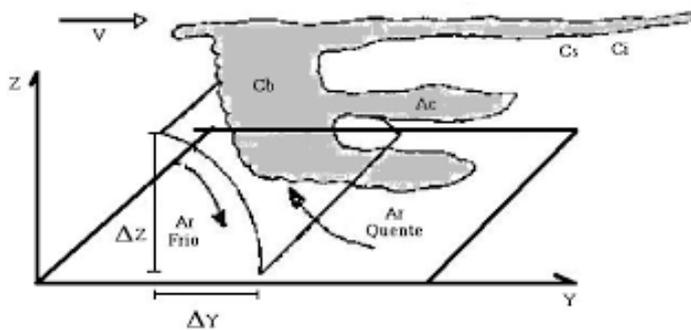
Um outro critério foi proposto por Ambrizzi e Ferraz (2015) para detectar episódios de ZCAS. Os autores usaram uma nova metodologia onde se basearam em dados de precipitação, por ser mais fácil de se obter essa variável em modelos de circulação geral que simulam o clima no passado, presente e futuro, além de permitir uma quantificação importante para estudos climáticos.

2.1.2 Frentes frias

Uma frente é definida como uma zona de transição entre duas massas de ar que apresentam características diferentes, como a sua densidade e temperatura, essas diferenças

geram uma mudança repentina nas variáveis meteorológicas. As massas estão associadas a um cisalhamento vertical do vento que ocorre devido aos gradientes horizontais de temperatura. A função da frente é diminuir o gradiente de temperatura horizontal com a massa de ar polar sendo levado para as latitudes mais baixas e o ar dos trópicos para as latitudes mais altas. Dessa forma, a frente fria ocorre quando uma massa de ar frio encontra e levanta uma massa de ar mais quente, representado na Figura 3 (VAREJÃO, 2006, p. 372-374).

Figura 3 - Esquema da formação de uma frente fria



Fonte: Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (2021).

As frentes frias são sistemas importantes na formação de chuvas no Brasil. Esse sistema tem um deslocamento na direção sudoeste para nordeste sobre o continente e o Oceano Atlântico próximo a Costa (CALVALCANTI et al. p.135, 2009). O avanço das frentes frias em direção ao equador, no verão austral, ocasiona na maioria das vezes o encontro com o ar mais úmido e quente das regiões próximas aos trópicos, gerando uma convecção profunda e favorecendo a ocorrência de chuvas intensas no continente. No verão as frentes frias estão localizadas entre São Paulo e Bahia, próximo a Costa do Continente, área em que as ZCAS se posicionam (CALVALCANTI et al, 2009, p. 135).

A climatologia anual (1981-2010) das frentes frias feita no estudo de Pampuch e Ambrizzi (2015), mostrou que o número médio de sistemas frontais por ano na parte leste do Estado de São Paulo foi de 25 a 30 frentes. O estudo também indicou que entre os meses de setembro e novembro as latitudes mais altas da América do Sul entre o Sul e litoral do estado de São Paulo tiveram um maior número de sistemas (PAMPUCH e AMBRIZZI, 2015). No verão a frequência de frentes frias diminui à norte da latitude de 25°S, com o litoral do estado de São Paulo a receber cerca de 7 sistemas frontais e o seu interior 3 sistemas. Na estação de inverno, ao norte de 25°S, houve a ocorrência de até 8 sistemas em média. O estudo também

mostra que o intervalo médio anual da passagem de sistemas frontais entre o litoral dos estados de Santa Catarina e de São Paulo ocorreu entre 8 e 11 dias. A estação do verão nesta mesma região teve em média entre 10 e 13 dias da passagem dos sistemas, este valor decaiu para as outras estações contabilizando em média 8 e 11 dias na passagem dos sistemas (PAMPUCH e AMBRIZZI, 2015).

2.2 Chuvas extremas

Os eventos extremos de precipitação podem ser quantificados a partir do cálculo que considera que uma precipitação diária exceda uma porcentagem do total sazonal ou anual de uma estação. O ajuste desse limiar é importante para que não seja tão frequente esse tipo de evento (LIEBMANN et al, 2001). A maioria dos eventos extremos no estado de São Paulo ocorrem nos meses de outubro a março, conhecido como período da primavera e verão no Hemisfério Sul (LIEBMANN et al, 2001). Em comparação com o inverno, o período do verão apresenta mais dias com chuvas extremas e maior média de chuvas (LIEBMANN et al, 2001). Para Liebmann et al. (2001), Marengo et al. (2020a) e Marengo et al. (2020b) os eventos extremos de chuvas no estado de São Paulo podem ser favorecidos por um sistema intenso de ZCAS.

Para definir os eventos extremos de chuva no estado de São Paulo, Carvalho et al. (2002), utilizaram o método aplicado por Liebmann et al. (2001), determinaram um evento extremo quando 20% ou mais do total climatológico sazonal choveu em um dia no local observado. Para essa pesquisa, os autores consideraram os meses de verão, dezembro, janeiro e fevereiro (DJF). Com esse critério utilizado eles observaram que houve 214 eventos extremos de chuva em mais de 115 estações meteorológicas entre 1979 e 1996 e notaram a ocorrência de 146 dias com eventos extremos num total de 1576 dias selecionados no período de 1979-1996 nos meses (DJF) para o Estado de São Paulo. A frequência de um evento extremo em um dia encontrado por Carvalho et al. (2002) é de menos de 10 % na temporada considerando qualquer estação.

Dufek e Ambrizzi (2007), analisaram os extremos de chuva no Estado de São Paulo, para análise foram utilizados seis índices anuais de precipitação derivado de dados diários, onde foram escolhidos dois períodos para o estudo, um mais longo indicado entre os anos de 1950-1999, e o outro mais recente de 1990 a 1999. Foi observado que a precipitação mais intensa se concentrou em poucos dias e o índice de precipitação muito forte teve um aumento.

A precipitação total anual também teve um crescimento, por efeito do aumento da intensidade na precipitação.

Marengo et al. (2020a), observaram que na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), houve um aumento da precipitação total gerada pelo aumento da frequência de precipitação extrema, porém também foi notado um aumento dos dias consecutivos secos. Os autores ressaltam que essa divergência encontrada nos resultados apontando o aumento dos dias consecutivos secos e do aumento do número de dias com forte precipitação, podem ser relacionadas pela mudança do clima nos últimos anos. Também foi observado que a precipitação intensa tem se concentrado em um período de poucos dias enquanto a seca está presente em um período mais longo que varia de 30 a 50 dias desde o ano 2000.

No trabalho de Lima et al. (2010), os autores identificaram que na região sudeste do país durante o período de 45 anos (1960-2005) nos meses que representam a estação chuvosa (NDJFM) uma ocorrência de 157 casos de chuvas extremas, onde 83 desses casos foram associadas às frentes frias e 74 foram associados às ZCAS, indicando assim uma frequência maior de ocorrência dias de chuva extremas relacionadas às frentes frias. As frentes frias com (53%) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (47%) são os sistemas que mais influenciam nas chuvas extremas (LIMA et al, 2010).

Carvalho et al. (2004) analisaram as características espaciais da atividade convectiva da ZCAS e relacionaram com a ocorrência de eventos diários extremos de chuva no Estado de São Paulo no período de 1979 a 1996 e observaram que 65% de todos os eventos extremos de chuva ocorreram quando a atividade convectiva da ZCAS era extensa e intenso. O norte de São Paulo teve 30% dos casos ocasionados por ZCAS intensa com uma atividade convectiva profunda estendida em direção ao Oceano Atlântico (oceânico intenso). Em escala regional foi observado pelos autores que ZCAS intensa no oceano foi importante para o aumento de eventos extremos sobre a Mantiqueira. Os outros 35% do total de eventos extremos em São Paulo ocorreram quando a ZCAS estava com sua atividade convectiva reduzida. Foi observado por Carvalho et al. (2004) que cerca de 13% dos eventos estavam associados a uma circulação anticiclônica anômala próximo ao litoral de São Paulo. Nessa categoria houve um aumento dos eventos extremos de precipitação na parte costeira do estado de São Paulo.

2.3 Vulnerabilidade da cidade de São Paulo aos eventos extremos de chuvas e hidrológicos

O município de São Paulo é o mais populoso do país, sua densidade populacional é de 7.398,26 hab/km², essa alta densidade populacional da cidade e o aumento desenfreado e rápido de áreas urbanas pode gerar consequências prejudiciais.

A vulnerabilidade aos desastres é descrita como o grau de suscetibilidade de um sistema socioeconômico ao impacto de um evento significativo que se torna uma ameaça, como é o caso das chuvas extremas combinado com certos fatores, no qual pode-se citar a falta de preparo das cidades em relação aos desastres, consciência das pessoas e a condição social da população da área afetada, como a pobreza (GONÇALVES, 2012). Segundo Debortoli et al. (2017) os resultados do índice de vulnerabilidade nacional comprovam que o Brasil tem vários locais com alto grau de vulnerabilidade a desastres naturais provenientes de eventos hidrometeorológicos, conforme foi verificado pelos mesmos autores em várias cidades do país, comprovando que são vulneráveis a enchentes.

Uma simulação da área urbana da RMSP em 2030, foi gerado em estudo feito por Nobre et al. (2010), onde puderam identificar as possíveis áreas ocupadas futuramente, caso fosse mantido o padrão de uso e ocupação do solo atual, sem alteração e controle. Foi observado pelos autores que a ocupação será mais intensa na periferia da RMSP, como ocorre atualmente. A tendência observada indica que não haverá modificações da mancha urbana no município de São Paulo, porém as áreas adjacentes serão ocupadas. Se esse processo ocorrer, novas áreas de risco podem surgir e a vulnerabilidade a inundações e deslizamentos se intensifica. As projeções indicam que, caso o padrão de expansão da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) seja mantido conforme registros históricos, a mancha urbana aumentará aproximadamente 38,7% em 2030, aumentando os riscos de enchentes, inundações e deslizamentos, atingindo cada vez mais a população como um todo e, sobretudo, as populações com condições sociais vulneráveis e que vivem em áreas de riscos. Mais de 20 % da área aumentada seria suscetível e poderia ser afetada (NOBRE et al, 2010). As populações mais afetadas pelas inundações e deslizamentos de terra são pessoas ou famílias que vivem em favelas e áreas de risco, onde pelo menos um terço é anualmente atingida pelos eventos de chuvas extremas (NOBRE et al, 2010).

2.4 Alagamentos

Os alagamentos ocorrem devido às fortes precipitações pluviométricas que se acumulam em leitos de ruas e no perímetro urbano em cidades que têm um sistema deficiente de drenagem (CASTRO et al, 2003). Uma drenagem deficiente tem uma influência maior no transbordamento da água do que as precipitações locais, isso se deve a dificuldade da vazão de águas acumuladas (CASTRO et al, 2003). Pode se relacionar isto com a diminuição da infiltração natural nos solos urbanos, que é causada pela compactação e impermeabilização do solo; pela pavimentação de ruas e construção de calçadas (reduzindo a superfície de infiltração); construção adensada de edificações (que contribuem para reduzir o solo exposto e concentrar o escoamento das águas); desmatamento de encostas e assoreamento dos rios que se desenvolvem no espaço urbano; acumulação de detritos em galerias pluviais (canais de drenagem e cursos d'água) e insuficiência da rede de galerias pluviais. (CASTRO et al, 2003).

Os alagamentos causam muitos problemas para uma cidade, no estudo de Teixeira e Haddad (2014) por exemplo foi estimado que os alagamentos contribuem para a redução do crescimento econômico da cidade de São Paulo e o bem-estar da população, além de prejudicar a competitividade nos mercados doméstico e internacional. Observaram que não só a cidade de São Paulo foi afetada economicamente devido aos alagamentos, mas as economias regionais do país também foram prejudicadas.

Segundo Barreto (2012), na região Sudeste os desastres causados por eventos pluviais intensos são mais significativos quando estão associados ao agravamento da percolação de água no solo ocasionado pela impermeabilização da superfície, que é intensa nessa região do País, somado aos fatores de desigualdades sociais e econômicos, alta concentração populacional e ao processo de urbanização.

No município de Jacareí, interior de São Paulo, Barreto (2012) observou que a urbanização é um fator significativo para o aumento no número de alagamentos. Durante os meses mais chuvosos, mesmo sem chuvas intensas e longas, muitas ruas sofreram alagamentos na cidade.

3 PROPOSTA DE PESQUISA

A pesquisa buscou compreender como as chuvas extremas se comportam no município de São Paulo durante os anos de 2005-2019 e observar os tipos de danos e prejuízos causados à população.

O município de São Paulo, foi a área de estudo escolhida neste trabalho, por registrar um grande número de ocorrência de alagamentos. Esses episódios são gerados por diversos fatores, são eles os altos volumes de chuvas em áreas que enfrentam uma densidade populacional desmedida, urbanização desenfreada e ineficiência no sistema de drenagem urbana. A junção do aumento desenfreado da urbanização com o aumento na frequência das chuvas extremas pode influenciar o aumento nos episódios de alagamento da cidade.

Dessa forma, esse trabalho tem como motivação obter conhecimento e informações que possam auxiliar em tomadas de decisões, medidas e cuidados em todos os âmbitos interessados e envolvidos, passando por todos níveis, de governança até a população.

Portanto, a proposta principal deste projeto foi detectar os extremos diários de chuva no município de São Paulo e em seguida associá-los com os pontos de alagamentos registrados no município. O período escolhido para análise são os anos de 2005 a 2019, período em que se tem registros de alagamentos no município de São Paulo. Os impactos sofridos pelos eventos de chuvas extremas e pelos alagamentos e outros extremos hidrológicos também foram inseridos para se ter uma dimensão de como as chuvas extremas podem interferir na vida das pessoas.

As frequências de chuvas extremas sazonais e mensais foram outras das análises feitas na pesquisa para se obter uma melhor análise das chuvas extremas na cidade de São Paulo. A quantificação dos pontos de alagamento mensal e sazonal também foram realizados.

A associação das datas que ocorreram chuvas extremas com os sistemas de ZCAS e frentes frias também foram discutidas neste trabalho, esses sistemas foram escolhidos por identificar melhor nos boletins utilizados como fonte de informação e por serem importantes sistemas que contribuem para formação de chuvas intensas no município de São Paulo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

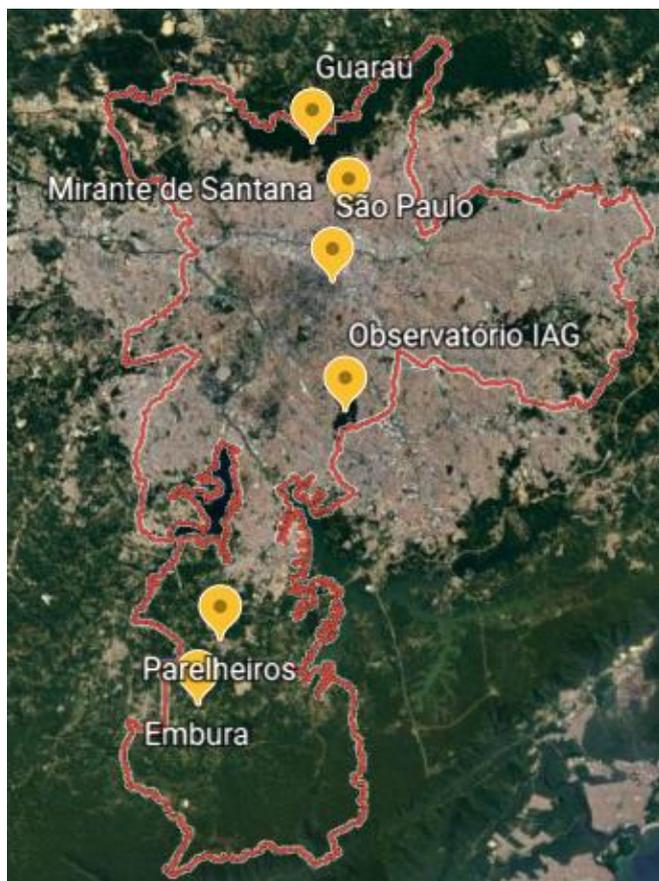
Foram utilizados dados diários de precipitação de postos localizados no município de São Paulo disponibilizados via website pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados correspondem ao período de 1985 a 2019 (35 anos de dados). No total foram usados dados de 5 postos pluviométricos, o mapa com a localização de cada uma é apresentado na Figura 3 e Tabela 1 mostra a latitude, longitude e altitude dos postos. Para avaliar quais sistemas estavam atuando no dia das chuvas extremas, foram analisados os boletins mensais do clima (CLIMANÁLISE) no período de 2005 – 2014, boletins técnicos, Infoclima, casos significativos no período de 2014 – 2019 e síntese sinótica mensal no período de 2014 - 2019, todos publicados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) obtidos nos sites <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0113.shtml#>, <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico>, <http://infoclima1.cptec.inpe.br/>, <https://www.cptec.inpe.br/noticias/quadro/143>, <https://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/127051>. A página via internet do boletim técnico do CPTEC e alguns dos boletins utilizados no trabalho são apresentados no Anexo A.

Os dados dos pontos de alagamento em São Paulo foram obtidos através do Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da prefeitura de São Paulo (CGE), essas informações estão disponíveis no site do CGE, onde começaram a ser publicados no final do ano de 2004. Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se dados de pontos de alagamento entre o período de 2005 e 2019. No Anexo B é mostrado a página via internet onde fica disponível os dados de alagamento.

Os danos e impactos causados à população foram obtidos via internet, por meio do banco de dados de desastres naturais do IPmet/Unesp no site <https://www.ipmetradar.com.br/2desastres.php>, as fontes desses dados são em sua maioria de jornais e da defesa civil do município de São Paulo. Para complementar as informações, foi utilizado outras fontes via internet, como os jornais Folha de São Paulo e G1, através dos endereços eletrônicos <https://www1.folha.uol.com.br/> e <http://g1.globo.com/>. As informações sobre os danos causados pelas chuvas extremas foram obtidas nos dias das ocorrências dessas chuvas, encontrado através da metodologia deste estudo, nos anteriores e posteriores ao dia da

chuva extrema, para se obter mais dados sobre os danos causados. A página via internet onde está disponível os dados de desastres (IPMET/Unesp) e os sites dos jornais utilizados no trabalho também estão presentes no Anexo B.

Figura 3 - Localização dos postos pluviométricos



Fonte: Google Earth (2020).

Tabela 1 - Latitude, longitude e altitude dos postos meteorológicos

| Postos | LAT | LONG | ALT |
|--------------------|-----------|-----------|---------|
| Embura | 23°52'47" | 46°44'5" | 770 (m) |
| Guarau | 23°26'33" | 46°39'01" | 840 (m) |
| Mirante de Santana | 23,5° | 46,61 | 792 (m) |
| Observatório IAG | 23°39'04" | 46°37'21" | 800 (m) |
| Parelheiros | 23°49'45" | 46°43'42" | 800 (m) |

Fonte: elaborado pela autora.

4.2 Métodos

4.2.1 Determinar eventos extremos de precipitação

Para encontrar os extremos de precipitação diária, foi realizado o método estatístico de percentil, na série de precipitação diária para cada uma das cinco estações selecionadas presentes no município de São Paulo. Assim como no artigo realizado por Lima et al (2010) os episódios de precipitação extrema foram definidos como $P \geq p(i)$ em um dia, onde P representa a precipitação diária obtida em uma determinada estação e $p(i)$ é o valor que corresponde ao percentil $(100 \times i)$ em que $0 < i < 1$.

A equação utilizada para o cálculo dos percentis é a seguinte:

$$P_i = l_i + \left(\frac{\frac{i \cdot N}{100} - \sum f_i}{f_{pi}} \right) \cdot h \quad (1)$$

onde:

l_i = limite inferior da classe

N = números de dados

i = é o número do percentil desejado

Σfi = soma das frequências anteriores à classe Pi

h = amplitude da classe

fpi = frequência da classe Pi

Para este estudo foram utilizados como limiares $p(0,99)$ e $p(0,95)$, os percentis 99 e 95, respectivamente. Foi considerado extremo de chuva, quando a precipitação diária esteve dentro da categoria dos maiores de 1% (para o caso de $p(0,99)$) e 5% (para o caso de $p(0,95)$). Como condição, foi considerado um dia com extremo de chuva se houver pelo menos dois postos pluviométricos com dias coincidentes de chuva extrema (P99). O percentil de 99 foi escolhido para selecionar os extremos diários, essa escolha se deve, porque é o percentil que apresenta a menor frequência de precipitação, sendo assim seleciona os eventos mais extremos de uma série de dados.

Para encontrar os limiares de chuvas extremas para cada posto pluviométrico, o cálculo do percentil, considerou 35 anos de dados diários, desses 35 anos 3 postos tiveram dados faltantes, Emburá com 0,88% (113 dias), Guaraú com 0,77% (99 dias) e Parelheiros com 0,22% (28 dias) (Tabela 1), esses dias foram retirados. O número de dias com extremos de precipitação foi contabilizado apenas entre os anos de 2005 e 2019, período em que há registros de pontos de alagamento em São Paulo.

Tabela 2 - Dados faltantes dos postos pluviométricos na cidade de São Paulo entre 1985 - 2019

| Postos | Dados Faltantes (%) |
|--------------------|---------------------|
| Emburá | 0,88 |
| Guaraú | 0,77 |
| Mirante de Santana | 0 |
| Observatório IAG | 0 |
| Parelheiros | 0,22 |

Fonte: elaborado pela autora.

Foi utilizado a mesma metodologia para encontrar os limiares dos extremos de precipitação sazonal e mensal. Para o cálculo do percentil de P99 e P95 sazonal, os dados foram separados por estação, verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON), no período de 1985 - 2019. Os limiares mensais, calculados a partir do percentil de 95 e 99, foram separados por mês no período de 1985 - 2019. Os resultados gerados por esses cálculos mostram como a chuva extrema se comporta sazonalmente e mensalmente no município de São Paulo.

4.2.2 Relacionar eventos extremos de precipitação com fenômenos atmosféricos atuantes

Depois de determinar os dias que houve chuvas extremas no município de São Paulo entre os anos de 2005 - 2019, foi feita a identificação dos sistemas que se formaram nessas datas e tiveram influência sobre o Estado de São Paulo. Para isso, utilizou-se os boletins CLIMANÁLISE, infoclima, boletins técnicos e casos significativos do CPTEC. Apenas os sistemas de ZCAS e frentes frias foram relacionados às chuvas extremas determinadas na seção 4.2.1, em razão de haver descrições nos boletins da área de atuação e data de formação e ocorrência desses sistemas, outro motivo para escolha desses sistemas foi importância desses sistemas na formação de chuvas durante o ano na cidade de São Paulo, com ZCAS ocorrendo e gerando chuvas entre os meses de outubro e março e as frentes frias sendo mais frequentes entre março a maio (AMBRIZZI e FERRAZ, 2015; LIEBMANN et al, 2001;

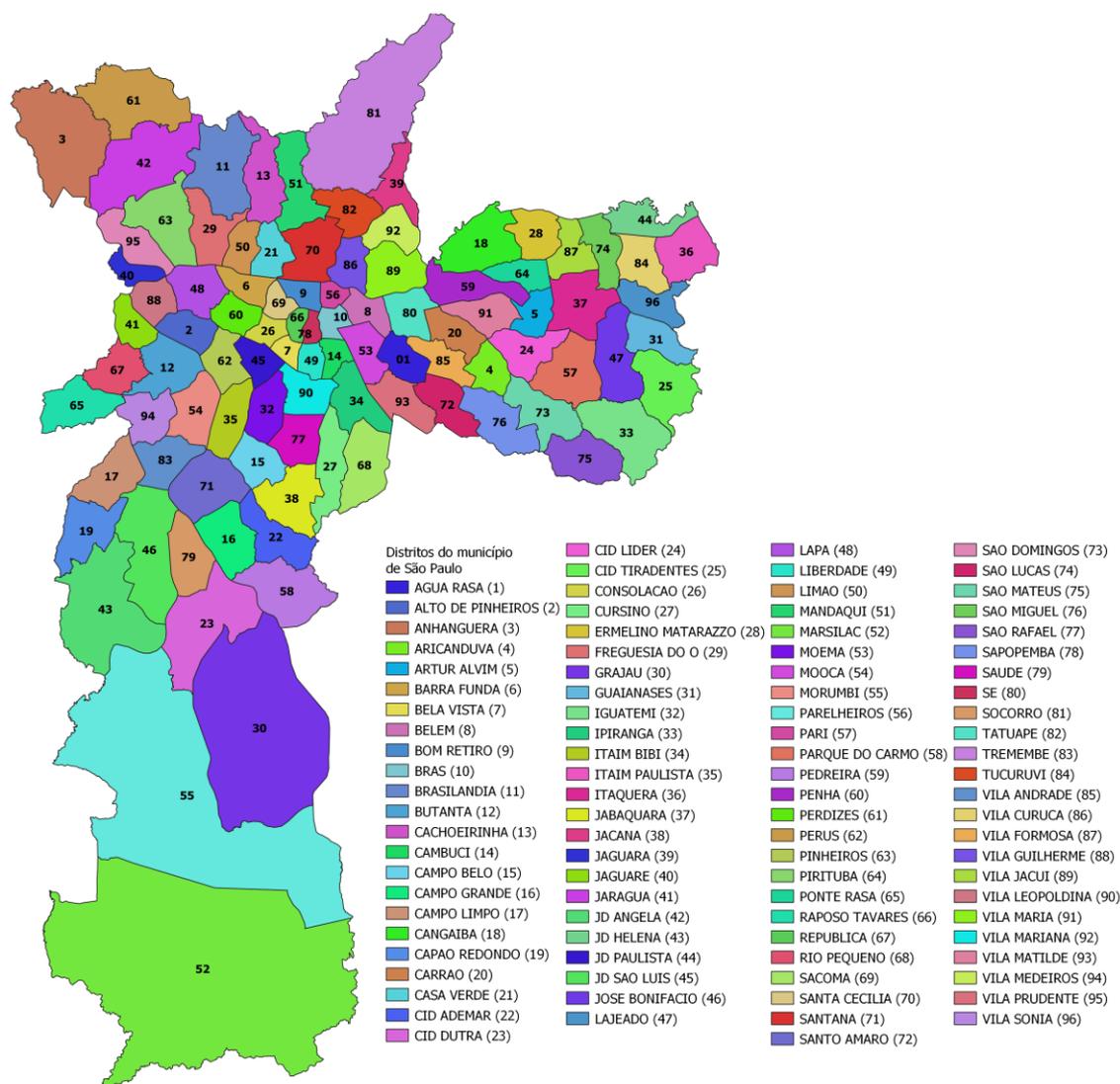
CARVALHO et al, 2002; MORAIS et al, 2010; LIMA et al, 2010).

4.2.3 Relacionar os eventos extremos com episódios de alagamentos em São Paulo

Nesta fase da pesquisa foi realizada a relação dos dias que ocorreram as chuvas extremas com os pontos de alagamento registrados no município. Foram contabilizados os números de pontos de alagamento diário, a partir dos dados disponibilizados pelo CGE período de 2005 - 2019, para confrontar com as datas selecionadas, como foi descrito na seção 4.2.1.

A seguir foram feitos mapas para observação espacial dos pontos de alagamentos na cidade. Para a realização dos mapas, se seguiu a metodologia aplicada no trabalho de Coelho e Ferreira (2016), em que os endereços e o ponto de referência dos alagamentos obtidos por meio do CGE, em forma de planilha, foram transformados em coordenadas geográficas (graus decimais) utilizando Excel do Google Drive. Os dados então foram inseridos nos shape dos distritos do município de São Paulo, representado na Figura 4. Utilizou - se o software QGIS para a realização dos mapas. Foram feitos 6 mapas, 3 deles referentes a todos os pontos de alagamento entre os anos de 2005 - 2019 e os outros 3 mapas considerando apenas os pontos de alagamentos que ocorreram em dias com chuvas extremas, para o mesmo período. Foi feito um mapa com a distribuição espacial dos pontos de alagamento, outro mapa com a quantidade de alagamentos em cada distrito da cidade e por último um mapa de densidade de kernel. Neste último, no cálculo utiliza-se como parâmetro o raio de influência da vizinhança, isto é, uma variável dentro da equação de densidade de probabilidade em que um ponto exerce influência sobre uma região, sendo utilizado um raio de 2000 m neste trabalho (COELHO e FERREIRA, 2016).

Figura 4 - Mapa do município de São Paulo com a divisão dos distritos



Fonte: elaborado pela autora.

Bases geográficas: SMDU (2015).

Além dos mapas e da relação dos pontos de alagamentos com as chuvas extremas, foram feitos gráficos anual, sazonal e mensal para analisar o comportamento dos alagamentos em São Paulo. O gráfico anual considerou o número de pontos de alagamento para cada ano. Os gráficos sazonais somaram o total de alagamentos para cada estação no período de 2005 a 2019 e um boxplot considerando a quantidade de alagamentos de cada uma das estações para cada ano. Os gráficos mensais de boxplot, mostram a quantidade de alagamentos mensais em cada ano do período analisado.

4.2.4 Quantificação dos danos e impactos causados pelas chuvas extremas em São Paulo

Após relacionar os extremos de precipitação diária com os alagamentos ocorridos entre os anos de 2005 e 2019, foi realizado a quantificação dos impactos/danos causados pelas chuvas extremas à população, entre os danos contabilizados estão número de pessoas afetadas (desabrigadas, desalojadas, feridas), número de desabamentos, congestionamento entre outros prejuízos.

5 RESULTADOS

5.1 Climatologia de precipitação

A climatologia de precipitação (1985 – 2019) no município de São Paulo nos cinco postos pluviométricos utilizados neste estudo, é demonstrada na Figura 5, observa-se que a média mensal de chuva entre os cinco postos (Figura 5a) mostrou praticamente o mesmo comportamento, com o mês de janeiro apresentando as maiores médias de precipitação onde o maior média de chuva ocorreu no posto de Guaraú (303,5 mm). O mês de agosto foi o que apresentou menor média de precipitação e o posto de Guaraú foi o posto com a menor média (31,9 mm) em agosto. No posto de Emburá, os meses de março e junho tiveram uma acentuada precipitação em relação aos demais postos, percebe-se que a partir do mês de março, a média de chuva em Emburá foi a maior representada no gráfico. Na Figura 5b), observa-se a climatologia sazonal dos postos presentes em São Paulo. Nota-se que o verão é a estação mais chuvosa, com a média sazonal de mais de 700 mm em 4 postos, apenas o posto de Parelheiros não ultrapassou o volume de 700 mm (654,0 mm). O outono e a primavera tiveram precipitação média aproximada com uma diferença que varia 26,8 mm a 51,2 mm entre cada posto pluviométrico. O inverno foi a estação menos chuvosa, o posto de Mirante de Santana, teve o menor volume de chuva (141,5 mm). A Figura 5c), representa a climatologia anual de cada um dos postos pluviométricos utilizados no estudo. Nota-se que a precipitação em Emburá registrou a maior média (1926,6 mm) e o posto do Observatório IAG apresentou a menor média anual (1554,8 mm).

Figura 5 – Climatologia de precipitação nos cinco postos pluviométricos utilizados no estudo localizados no município de São Paulo (1985-2019)



Legenda: a) Climatologia mensal de precipitação, b) Climatologia sazonal de precipitação e c) Climatologia anual de precipitação.

Fonte: elaborado pela autora.

5.2 Chuvas extremas diárias

A quantidade de dias com chuvas extremas em cada um dos postos pluviométricos selecionados para estudo, foram encontrados através do cálculo de limiars, utilizando os percentis de 99 e 95. Na Tabela 2 observa-se os limiars de precipitação de cada posto. Os maiores limiars encontrados no cálculo do $p(0,99)$ foram o valor de 57,2 mm no posto de Guaraú e 56,3 mm em Emburá, o menor limiar foi de 48,4 mm em Parelheiros. Já para o $p(0,95)$, os maiores limiars foram de 28,3 mm e 27,1 mm, nos postos pluviométricos localizados em Guaraú e em Mirante de Santana respectivamente.

Na Tabela 3 pode-se observar o número de chuvas extremas diárias. O posto pluviométrico que apresentou mais casos de chuvas extremas utilizando o percentil de 99 foi Emburá com 79 eventos, situada na zona sul do município e os postos que apresentaram menos casos de eventos extremos foi Mirante de Santana, situada ao norte do município e Parelheiros, localizada ao sul, com 63 e 64 casos respectivamente. No cálculo com percentil de 95, o posto de Emburá, registrou a ocorrência de 341 eventos e os postos localizados no Observatório IAG e em Parelheiros tiveram a mesma quantidade de dias extremos de chuvas, contabilizando 283 casos.

Tabela 3 – Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de p(0,95) e p(0,99) no período de 1985-2019

| Percentil | Emburá | Guaraú | Mirante de Santana | Observatório IAG | Parelheiros |
|------------------|---------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 95 | 25,7 | 28,3 | 27,1 | 25,4 | 24 |
| 99 | 56,3 | 57,2 | 55,2 | 50,4 | 48,4 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 4 - Quantidade de chuvas extremas diárias no período de 2005-2019 em São Paulo.

| Percentil | Emburá | Guaraú | Mirante de Santana | Observatório IAG | Parelheiros |
|------------------|---------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 95 | 341 | 307 | 295 | 283 | 283 |
| 99 | 79 | 69 | 63 | 74 | 64 |

Fonte: elaborado pela autora.

Os limiares de chuvas sazonais p(0,99), Tabela 4, encontrados mostram que os maiores limiares de precipitação ocorreram nos meses de verão, houve uma variação dos limiares achados nos postos de 62,1 e 75,5 mm, em que o posto de Guaraú apresentou o maior limiar e o posto de Parelheiros o menor. Os meses da estação de inverno apresentaram os menores limiares que variaram entre 31,0 e 37,5 mm. O posto com maior valor de limiar foi Emburá e os dois postos com menores limiares foram Mirante de Santana e Observatório

IAG. A estação de outono apresentou limiars altos que variam entre 48,5 e 59,3 mm, com o posto de Emburá registrando o maior limiar e o Observatório IAG o menor limiar. A primavera teve uma variação dos limiars entre os postos de 39,7 a 46,6 mm. Guaraú foi o que apresentou maior limiar e Mirante de Santana o menor.

Na Tabela 5, os cálculos com percentil de 95, a estação do verão foi encontrada os maiores limiars com valores entre 33,2 e 42,4 mm, os postos pluviométricos que tiveram o maior limiar foram Guaraú e Mirante de Santana e o posto que apresentou menor limiar foi Parelheiros. A estação de inverno teve os menores limiars com valores entre 10,1 e 13,9 mm nos postos localizados no Observatório IAG e Emburá respectivamente. Os limiars de chuvas extremas encontrados nos meses de outono e de primavera tiveram valores próximos que variaram de 23,7 a 27,2 mm e 21,1 a 24,7 mm respectivamente. Emburá no outono e Guaraú na primavera foram os postos que obtiveram maiores limiars e no posto de Parelheiros foram onde tiveram os menores limiars.

Tabela 5 - Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de chuva de $p(0,99)$ sazonal no período de 1985-2019

| Estações do ano | Emburá | Guaraú | Mirante de Santana | Observatório IAG | Parelheiros |
|------------------------|---------------|---------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|
| Verão | 74,8 | 75,5 | 72,8 | 66,5 | 62,1 |
| Outono | 59,3 | 58,6 | 53,5 | 48,5 | 48,6 |
| Inverno | 37,5 | 32,1 | 31,0 | 31,0 | 32,4 |
| Primavera | 46,0 | 46,6 | 39,7 | 45,0 | 43,2 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 6 - Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de chuva de $p(0,95)$ sazonal no período de 1985-2019

| Estações do ano | Emburá | Guaraú | Mirante de Santana | Observatório IAG | Parelheiros |
|------------------------|---------------|---------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|
| Verão | 36,7 | 42,4 | 42,4 | 37,1 | 33,2 |
| Outono | 27,2 | 27,0 | 25,2 | 23,7 | 24,5 |
| Inverno | 13,9 | 10,7 | 10,4 | 10,1 | 10,8 |

Primavera | 22,3 24,7 23,4 21,2 21,1

Fonte: elaborado pela autora.

Os limiares de chuvas extremas mensais calculadas com $p(0,99)$ apresentados na Tabela 6 mostram que os meses que tiveram maiores limiares de chuvas extrema foram janeiro, fevereiro, março e dezembro com valores ultrapassando 70 mm e os meses com os menores limiares observados foram julho e agosto, os únicos meses que não apresentaram limiares maiores que 40 mm. Os maiores limiares encontrados foram 85,9 mm em Emburá no mês de março e 83,1 mm em janeiro no posto em Guaraú. Já os menores limiares de chuvas extremas foram observados no mês de agosto, os valores de 21,9 mm e 22,6 mm no posto de Guaraú e Observatório IAG respectivamente.

Na Tabela 7, pode-se observar os limiares encontrados no cálculo do $p(0,95)$, nele nota-se que os meses que apresentaram maiores limiares foram dezembro, janeiro, fevereiro e março com a maior parte dos postos possuindo valores que ultrapassam os 30 mm. Os meses que obtiveram os menores limiares foram maio, junho, julho, agosto e setembro com limiares que não ultrapassam os 20 mm, desses meses agosto é o que apresenta os limiares mais baixos que variam de 6,3 a 10,5 mm, sendo o único mês que apresentou limiares abaixo de 10 mm. O maior limiar encontrado foi 44,4 mm na estação meteorológica de Mirante de Santana no mês de janeiro e o menor limiar foi de 6,3 mm no mês de agosto nos postos de Mirante de Santana e Observatório IAG.

Tabela 7 - Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de chuva de $p(0,99)$ mensal no período de 1985-2019

| Meses | Mirante | | | | |
|-----------|---------|--------|---------------|---------------------|-------------|
| | Emburá | Guaraú | de Santana | Observatório IAG | Parelheiros |
| Janeiro | 78,7 | 83,1 | 74,3 | 59,8 | 61,2 |
| Fevereiro | 64,5 | 64,5 | 73,4 | 69,6 | 69,7 |
| Março | 85,9 | 81,9 | 72,0 | 59,0 | 54,7 |
| Abril | 59,2 | 47,8 | 40,7 | 38,7 | 44,0 |
| Maio | 40,3 | 42,5 | 40,5 | 39,2 | 36,0 |
| Junho | 58,5 | 42,4 | 40,0 | 34,8 | 32,4 |

| | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|
| Julho | 33,7 | 34,8 | 30,6 | 33,2 | 37,3 |
| Agosto | 25,4 | 21,9 | 25,0 | 22,6 | 23,5 |
| Setembro | 48,6 | 36,7 | 38,3 | 35,7 | 34,7 |
| Outubro | 43,6 | 49,7 | 44,8 | 45,1 | 45,2 |
| Novembro | 47,8 | 51,4 | 39,5 | 47,4 | 44,2 |
| Dezembro | 71,7 | 74,3 | 72,4 | 63,4 | 54,6 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 8 - Limiar (em mm/dia) dos eventos extremos de chuva de $p(0,95)$ mensal no período de 1985-2019.

| Meses | Mirante | | | | |
|-----------|---------|--------|------------|------------------|-------------|
| | Emburá | Guaraú | de Santana | Observatório IAG | Parelheiros |
| Janeiro | 42,9 | 43,3 | 44,4 | 39,9 | 36,7 |
| Fevereiro | 36,7 | 42,5 | 43,1 | 38,3 | 35,0 |
| Março | 36,1 | 39,0 | 36,2 | 34,7 | 33,2 |
| Abril | 23,8 | 19,9 | 18,3 | 19,4 | 19,5 |
| Maió | 18,6 | 18,6 | 15,0 | 13,3 | 15,3 |
| Junho | 18,2 | 13,0 | 13,1 | 12,2 | 14,2 |
| Julho | 16,9 | 12,0 | 10,2 | 11,3 | 13,0 |
| Agosto | 10,5 | 6,7 | 6,3 | 6,3 | 7,1 |
| Setembro | 19,5 | 17,9 | 17,4 | 16,3 | 17,2 |
| Outubro | 22,5 | 25,8 | 22,8 | 21,2 | 20,0 |
| Novembro | 23,4 | 27,9 | 26,4 | 26,7 | 24,1 |
| Dezembro | 31,2 | 40,4 | 38,7 | 31,3 | 29,0 |

Fonte: elaborado pela autora.

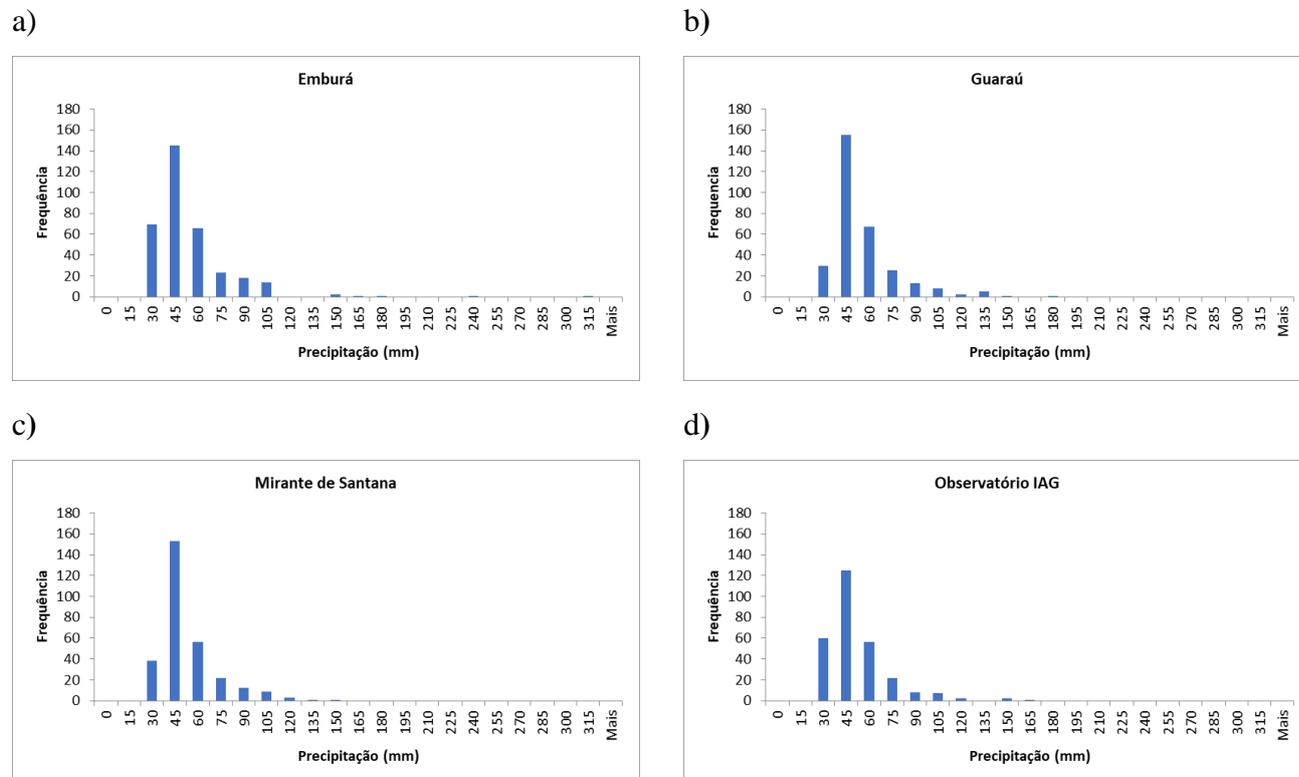
5.3 Frequência de chuvas extremas diárias em São Paulo

5.3.1 Frequência anual de chuvas extremas diárias

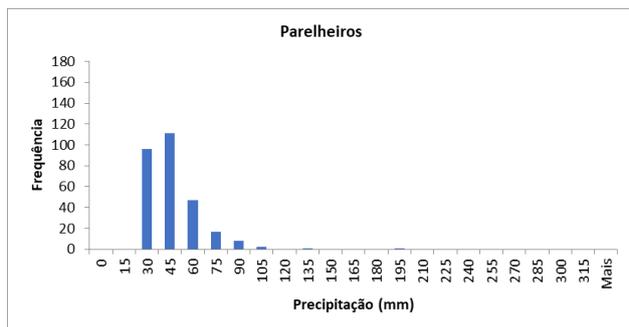
A Figura 6 representa as frequências de chuvas extremas diárias, utilizando o limiar anual de $p(0,95)$, no período de 2005 a 2019. A Figura 6a, representa os dados do posto pluviométrico de Emburá, nota-se que a maior frequência de chuva extrema ocorre entre os

volumes de 30 e 45 mm, com 145 eventos. Observa-se a ocorrência de 5 eventos com mais de 135 mm, as chuvas mais intensas atingiram os valores de 235 e 306,2 mm. Na Figura 6b, o posto pluviométrico em Guaraú, mostrou sua maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 30 e 45 mm com a ocorrência de 155 eventos. Ocorreram 10 eventos extremos com mais de 100 mm com o maior volume registrado de 176,4 mm. Os dados do posto pluviométrico em Mirante de Santana, na Figura 6c, indicaram sua maior frequência de chuva extrema entre os volumes de chuva de 30 e 45 mm (153 eventos). Ocorreram 8 eventos de chuvas com mais de 100 mm de volume, a chuva mais intensa registrada foi de 140,4 mm. Os eventos extremos no posto localizado no Observatório IAG, na Figura 6d, tiveram maior frequência entre os volumes de 30 e 45 mm, com 125 eventos. Ocorreram 5 eventos com mais de 100 mm de chuva e o maior volume registrado foi de 155,2 mm. Na Figura 6e, posto de Parelheiros, a maior frequência registrada foi de 111 eventos entre 30 e 45 mm de chuva. Nota-se a ocorrência de 3 eventos com mais de 100 mm, em que o maior volume registrado atingiu o volume de 190,3 mm.

Figura 6 - Frequência diária de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)



e)



Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

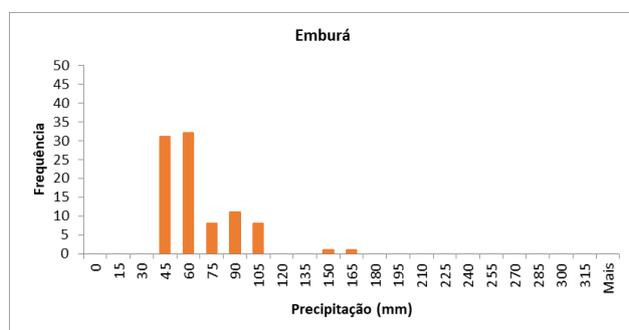
Fonte: elaborado pela autora.

5.3.2 Frequência sazonal de chuvas extremas diárias

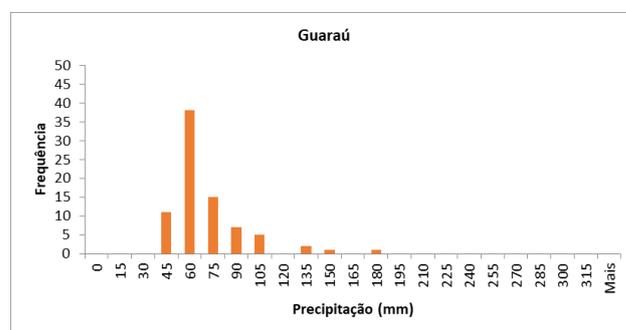
Os gráficos representados a seguir mostram as frequências de chuvas extremas sazonais entre os anos de 2005 e 2019, utilizando o limiar sazonal de $p(0,95)$. A Figura 7 mostra os resultados encontrados na estação de verão (DJF). Na Figura 7a (posto Emburá), nota-se que a maior ocorrência de extremos de chuva foi entre os volumes de 45 e 60 mm com 32 eventos. Observa-se também duas precipitações extremas isoladas em que o maior volume de chuva registrada atingiu 160 mm. A frequência de chuvas extremas no posto de Guaraú (Figura 7b), foi maior entre o volume 45 e 60 mm com 38 eventos. Nota-se 4 eventos acima de 100 mm de precipitação, com o volume máximo de 176,4 mm. O posto de Mirante de Santana (Figura 7c) registrou maior frequência entre 45 e 60 mm de chuva marcando 33 eventos. Ocorreram 3 eventos extremos com mais de 105 mm, a chuva mais intensa teve volume de 115 mm. A Figura 7d representa os dados do posto localizado no Observatório IAG, a maior frequência de eventos é observada entre 30 e 45 mm com a ocorrência de 45 eventos. Dois eventos com mais de 105 mm foram notados, o maior volume registrado foi de 112,9 mm. As chuvas extremas no posto de Parelheiros (Figura 7e) indicaram maior ocorrência entre o volume de 30 e 45 mm com 27 eventos. A maior quantidade de chuva registrada foi de 190,3 mm.

Figura 7 - Frequência sazonal (DJF) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

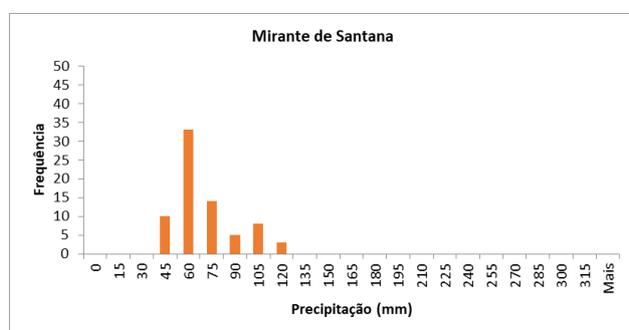
a)



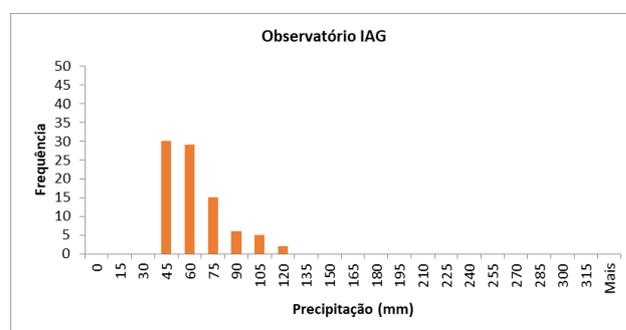
b)



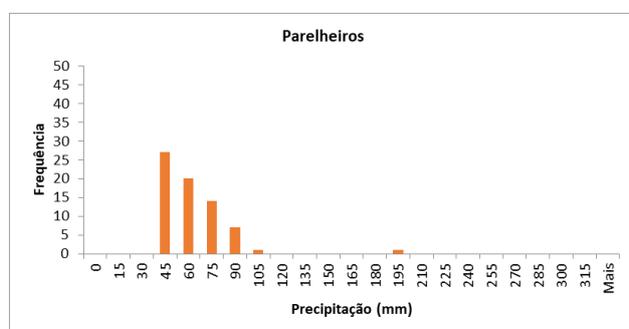
c)



d)



e)



Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guarauá, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

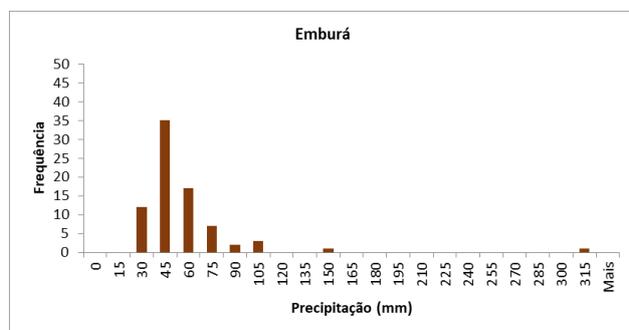
Fonte: elaborado pela autora.

As chuvas extremas registradas nos meses de MAM (outono) entre os anos de 2005 e 2019 estão representadas Figura 8. O posto em Emburá (Figura 8a), teve maior frequência entre os volumes de chuva 30 e 45 mm com 35 ocorrências. Nota-se dois eventos com mais de 105 mm, a precipitação com maior volume registrada nesse período foi de 306,2 mm. Observa-se na Figura 8b, posto pluviométrico de Guarauá, que a maior frequência de eventos extremos teve volume entre 30 e 45 mm contabilizando 32 eventos. Nota-se a presença de 4

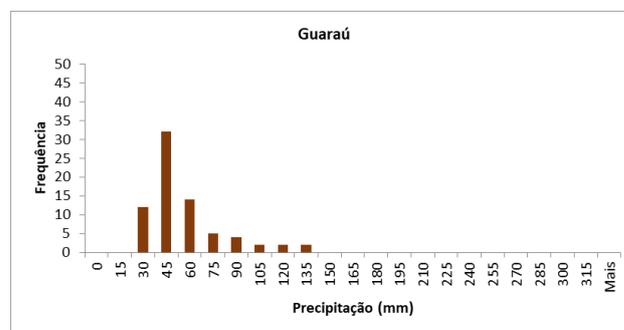
eventos com mais de 105 mm, o maior volume de chuva registrado foi de 127,8 mm. Nota-se na Figura 8c, estação Mirante de Santana, que a maior ocorrência de chuvas extremas foi 38 eventos entre 30 e 45 mm. A chuva mais intensa observada nesse período foi de 140,4 mm. As chuvas extremas no posto do Observatório IAG (Figura 8d) foram mais frequentes entre os volumes de chuva de 30 e 45 mm representando 25 eventos. O maior volume de chuva encontrado 155,2 mm. Em Parelheiros (Figura 8e), as chuvas extremas foram mais frequentes entre os volumes de chuva de 30 e 45 mm com a ocorrência de 33 eventos. A chuva mais extrema registrada foi de 123,3 mm.

Figura 8 - Frequência sazonal (MAM) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

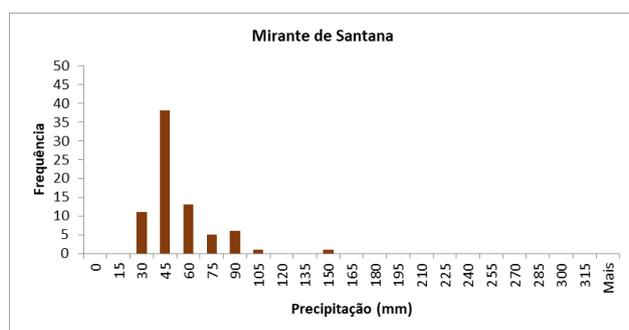
a)



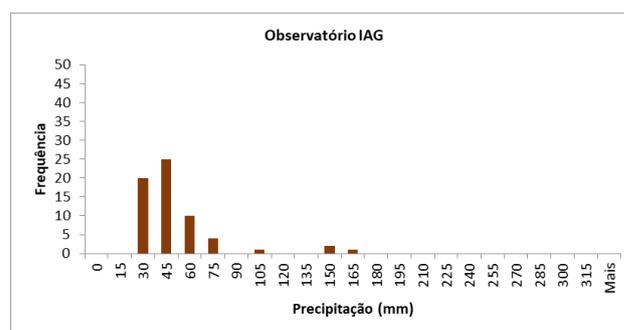
b)



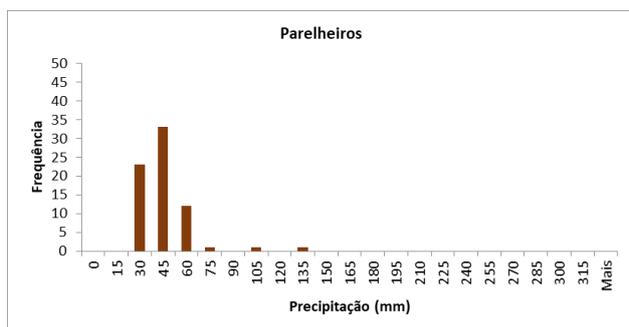
c)



d)



e)

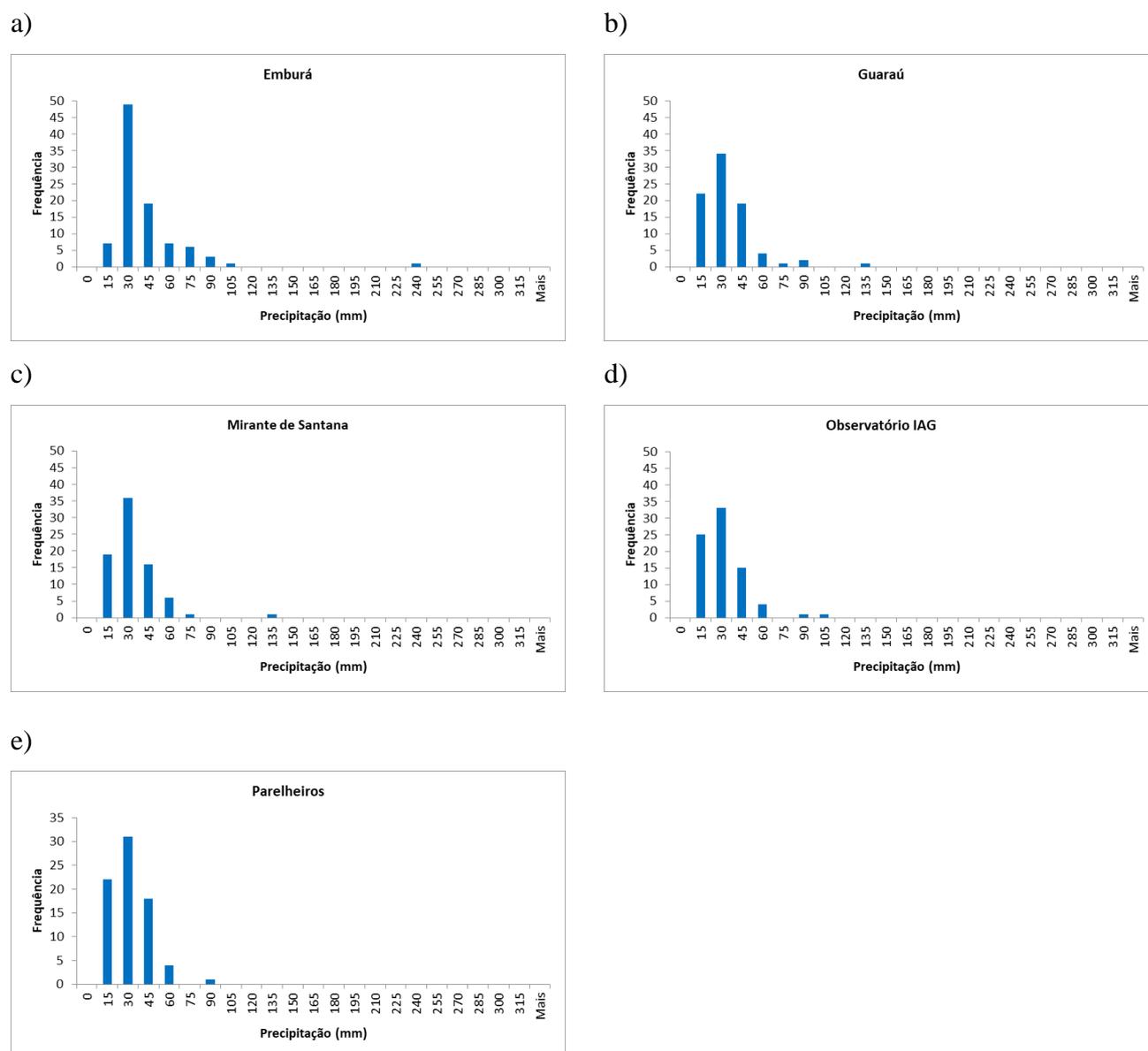


Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

As chuvas extremas nos meses de JJA (inverno) no período de 2005-2019 estão representados na Figura 9. O posto de Emburá (Figura 9a) apresentou maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm, representando 49 ocorrências. A precipitação máxima registrada neste período foi de 235 mm. Na Figura 9b, observa-se que a maior frequência de eventos extremos em Guaraú foi de 34 eventos entre os volumes de 15 e 30 mm. A chuva mais intensa teve um volume de 129,1 mm. Os dados da estação meteorológica de Mirante de Santana (Figura 9c) apresentaram 36 eventos entre os volumes de 15 e 35 mm. O volume de chuva mais extremo foi de 123,3 mm. Os dados de precipitação, apontaram no posto do Observatório IAG (Figura 9d), maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm com 33 ocorrências. O maior volume de chuva foi de 91 mm. Em Parelheiros (Figura 9e), os resultados indicaram maior frequência de chuvas extremas entre o volume de 15 e 30 mm contabilizando 31 eventos. O maior volume de chuva foi de 75,2 mm.

Figura 9 - Frequência sazonal (JJA) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)



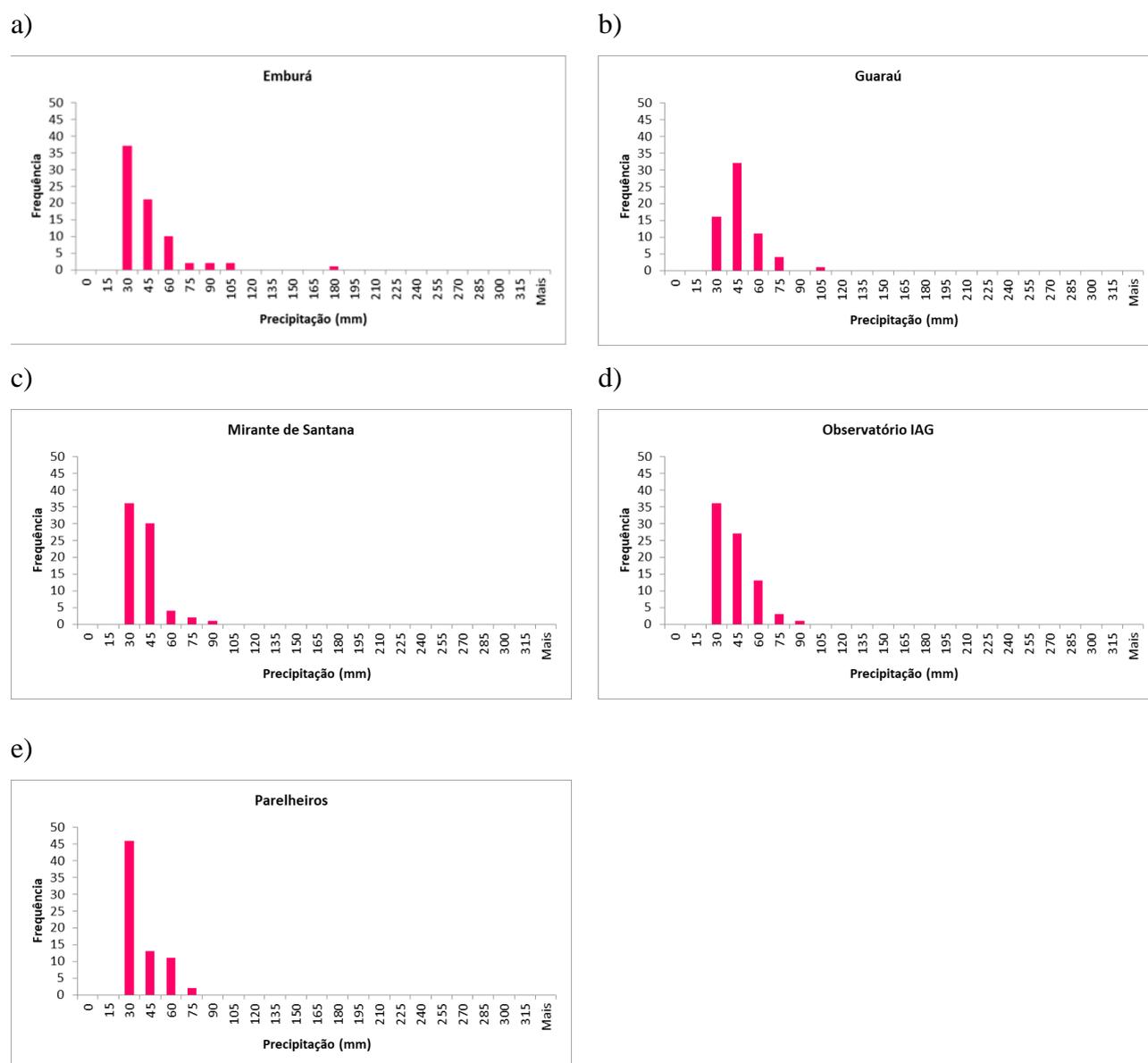
Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

Os meses de SON (primavera) entre 2005-2019 tiveram seus resultados exibidos nas Figuras 10. Na Figura 10a, posto de Emburá, observa-se a maior frequência de eventos extremos entre os volumes de 15 e 30 mm com ocorrência de 37 eventos. O maior volume de chuva encontrado para o período neste posto foi de 178,5 mm. A frequência das chuvas extremas no posto de Guaraú (Figura 10b), apresentou maior ocorrência entre os volumes de 30 e 45 mm de precipitação com 32 eventos. O maior volume de chuva encontrado foi de 93 mm. Na estação meteorológica de Mirante de Santana (Figura 10c) a maior frequência foi

registrada entre os volumes de 15 e 30 mm, marcando 36 eventos. O maior volume de chuva foi 78,1 mm. No posto do Observatório IAG (Figura 10d) a maior frequência de chuva extrema foi de 36 eventos entre os volumes de 15 e 30 mm. O maior volume de chuva registrado foi de 84,7 mm. A ocorrência de chuvas extremas no posto pluviométrico de Parelheiros (Figura 10e), registrou maior frequência de extremos entre os volumes de 15 e 30 mm contabilizando 46 eventos. A chuva mais forte ocorrida no período foi de 66,2 mm.

Figura 10 - Frequência sazonal (SON) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

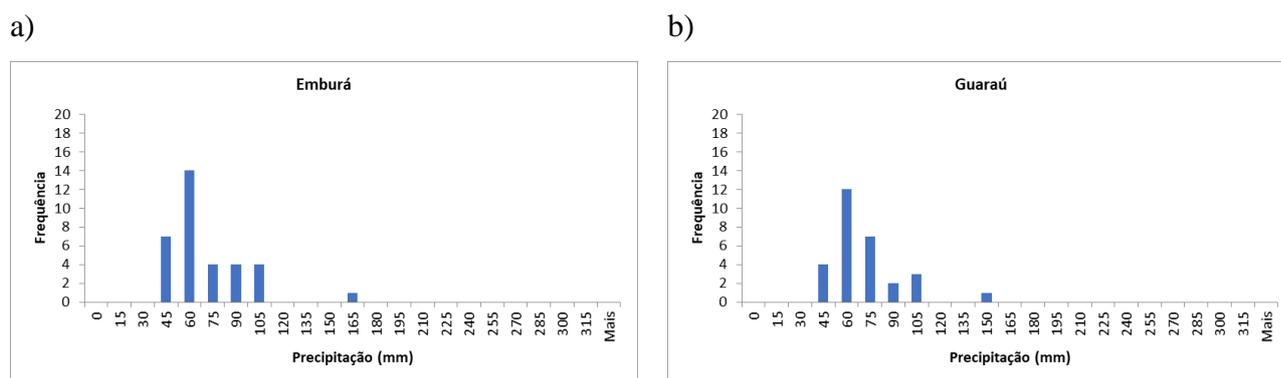


Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guarauá, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.
Fonte: elaborado pela autora.

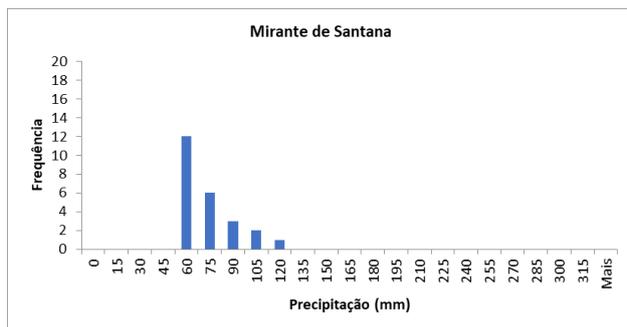
5.3.3 Frequência mensal de chuvas extremas diárias

Os gráficos representados na Figura 11, mostram as frequências mensais de chuvas extremas, utilizando o limiar mensal de $p(0,95)$ para os cinco postos pluviométricos localizados no município de São Paulo entre os anos de 2005 a 2019. No mês de janeiro, observa-se que a maior ocorrência de eventos de chuva extrema no posto Emburá (Figura 11a) foi entre os volumes de 45 e 60 mm com 14 eventos. A precipitação máxima encontrada nesse ponto foi de 160 mm. No posto pluviométrico presente em Guaraú (Figura 11b), nota-se que a maior frequência de chuva extrema ocorreu entre os volumes de 45 e 60 mm contabilizando 12 eventos. A chuva máxima em Guaraú foi de 139,4 mm. Na estação localizada em Mirante de Santana (Figura 11c) nota-se a maior frequência entre 45 e 60 mm com a ocorrência de 12 eventos. O volume de chuva máximo atingido nesse ponto foi de 115 mm. O posto localizado no Observatório IAG (Figura 11d) apresentou a maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 45 e 60 mm (16 eventos). A precipitação máxima foi de 97,8 mm. Em Parelheiros (Figura 11e) foi registrado a maior frequência de chuvas extremas entre 30 e 45 mm de volume com 11 eventos. O volume de chuva máximo encontrado foi de 84,4 mm.

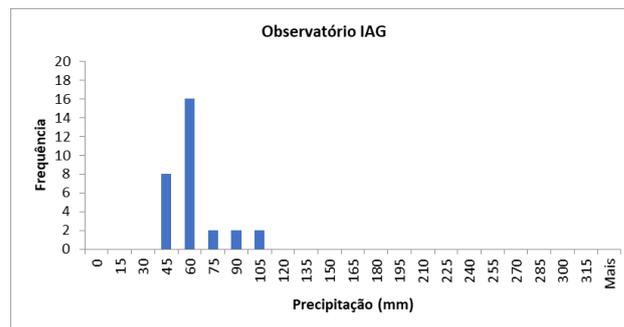
Figura 11 - Frequência mensal (janeiro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)



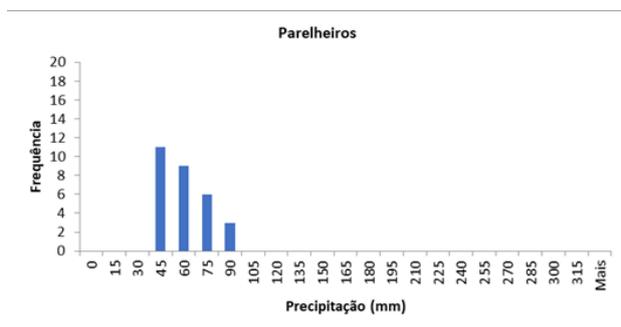
c)



d)



e)



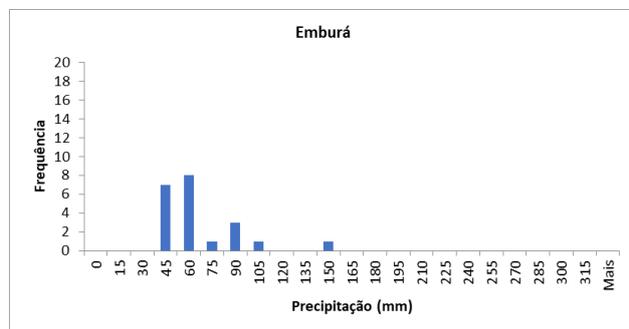
Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

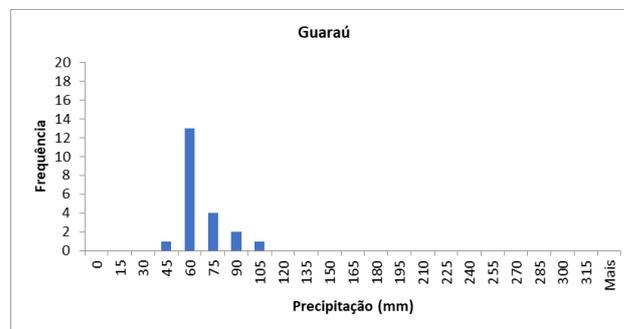
No mês de fevereiro as chuvas extremas tiveram maior frequência entre o volume de 45 e 60 mm no posto de Emburá (Figura 12a), contabilizando 8 ocorrências. O volume de chuva máxima encontrado foi de 138,9 mm. No posto de Guaraú (Figura 12b), a maior frequência de chuva extrema registrada foi encontrada entre os volumes de 45 e 60 mm com 13 eventos. A chuva mais intensa chegou a 98,8 mm de chuva. No posto de Mirante de Santana (Figura 12c) a maior frequência de chuva extrema ocorreu entre os volumes de 45 e 60 mm (9 eventos). A precipitação máxima atingiu 109,5 mm. Já os dados do Observatório IAG (Figura 12d), indicaram uma maior frequência chuva extrema entre os volumes de 30 e 45 mm, o evento mais extremo foi de 112,9 mm. O posto de Parelheiros (Figura 12e) apresentou maior ocorrência de chuvas extremas entre os volumes de 45 e 60 mm (6 eventos). O volume máximo de chuva encontrado foi de 190,3 mm.

Figura 12 - Frequência mensal (fevereiro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

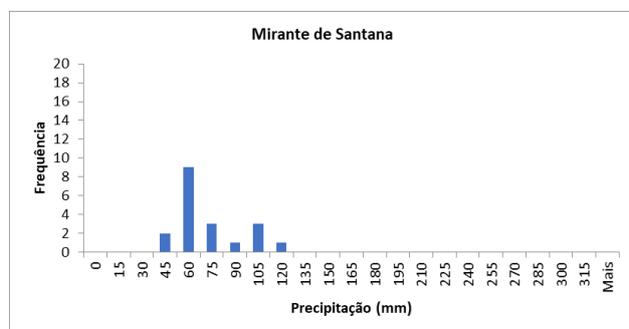
a)



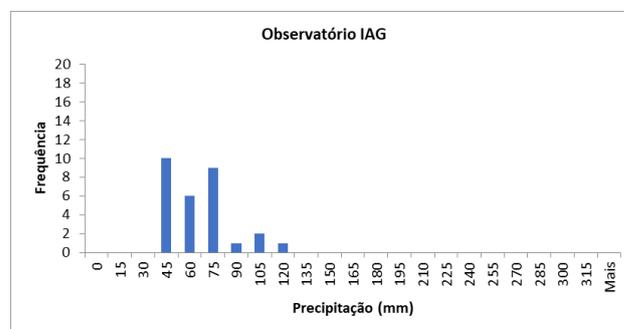
b)



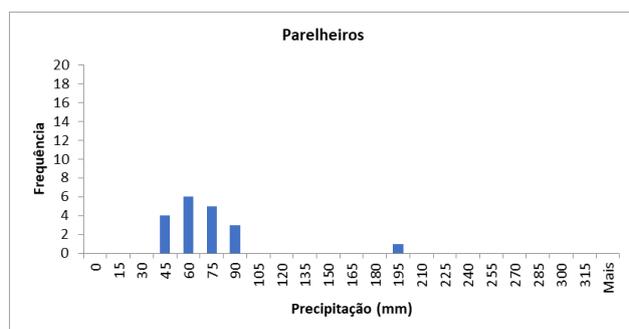
c)



d)



e)



Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

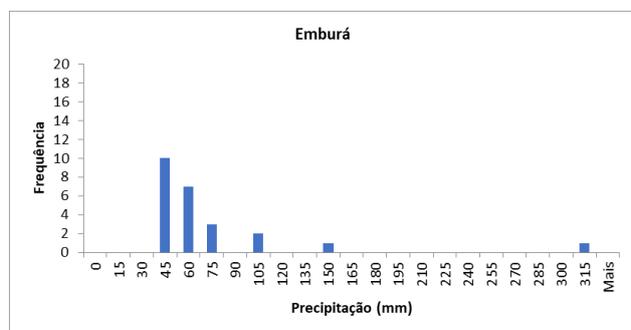
Fonte: elaborado pela autora.

No posto pluviométrico de Emburá (Figura 13a), o mês de março apresentou maior frequência de chuva extrema entre o volume de 30 e 45 mm com a ocorrência de 10 eventos. A chuva máxima encontrada em março foi de 306,2 mm (maior chuva registrada entre o período de 2005-2019). Os dados do posto de Guaraú (Figura 13b), apresentaram uma maior frequência de chuvas extremas entre o volume de 45 e 60 mm. Ocorreram 3 eventos com mais

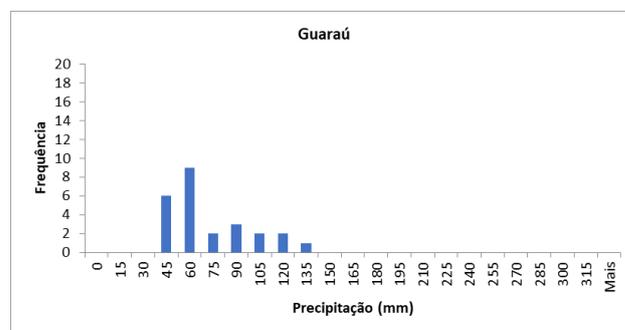
de 105 mm, a chuva máxima registrada foi de 122,5 mm. Já no posto pluviométrico localizado em Mirante de Santana (Figura 13c), a maior frequência de chuva extrema foi registrada entre o volume de 30 e 45 mm (12 eventos). A precipitação mais intensa atingida neste posto foi de 95,4 mm. No posto localizado no Observatório IAG (Figura 13d) a maior ocorrência de chuva extrema foi entre o volume de 30 e 45 mm (8 eventos). A chuva máxima registrada foi de 155,2 mm. Em Parelheiros (Figura 13e) a maior frequência de chuva extrema foi registrada entre o volume de 30 e 45 mm. A chuva máxima encontrada foi de 105 mm.

Figura 13 - Frequência mensal (março) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

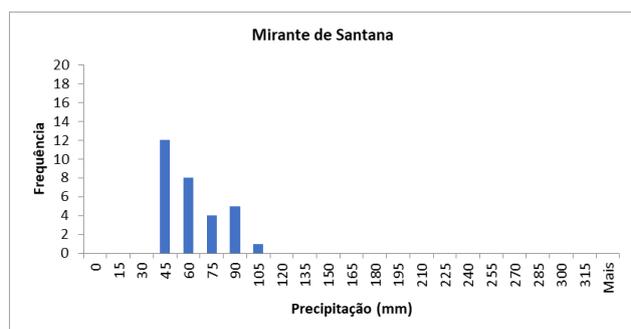
a)



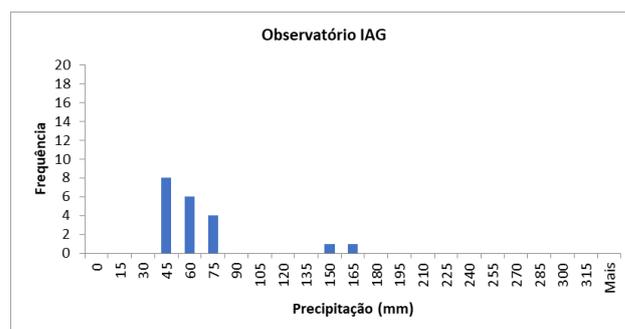
b)



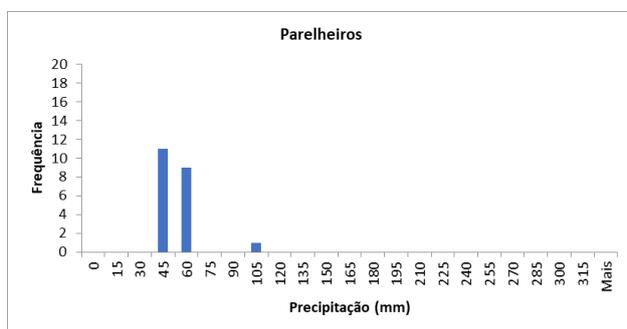
c)



d)



e)

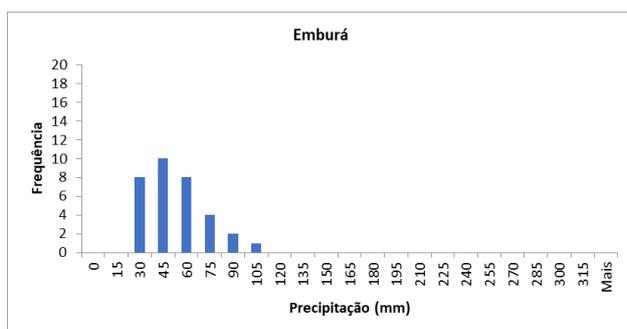


Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.
Fonte: elaborado pela autora.

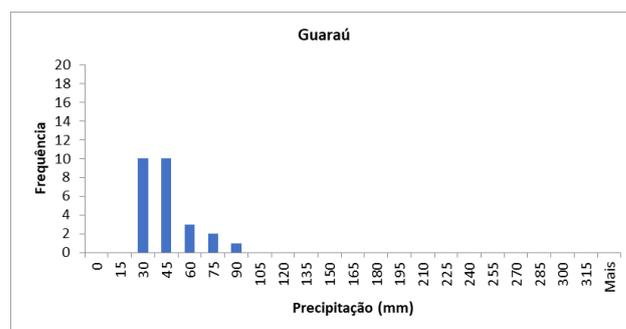
O posto de Emburá (Figura 14a) no mês de abril, apresentou maior frequência de chuva extrema entre volume de 30 e 45 mm (10 eventos). O valor de chuva máxima foi de 91,7 mm. No posto pluviométrico presente em Guaraú (Figura 14b) ocorreram um total de 20 chuvas extremas com volume entre 15 e 60 mm. A chuva máxima atingida neste posto pluviométrico foi de 88,5 mm. Em Mirante de Santana (Figura 14c) os resultados apontam uma maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm (12 eventos) . A chuva máxima no posto de Mirante de Santana foi de 82,1 mm. Já no Observatório IAG (Figura 14d) os eventos extremos tiveram maior frequência entre 15 e 30 mm (14 eventos). O volume de chuva máximo atingiu 96,1 mm. O posto de Parelheiros (Figura 14e) registrou um total de 24 eventos de chuva extrema entre os volumes de 15 e 60 mm. A chuva mais intensa em Parelheiros foi de 67,9 mm.

Figura 14 - Frequência mensal (abril) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

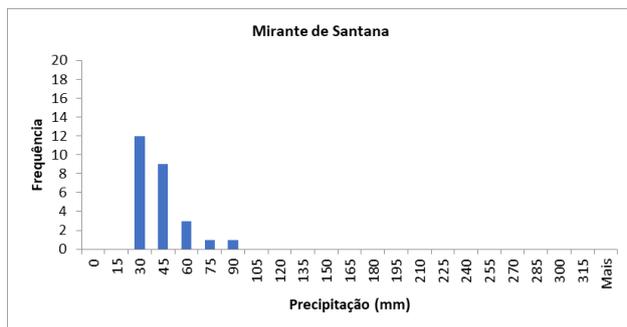
a)



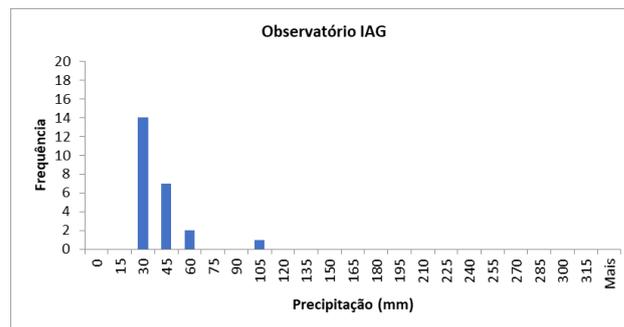
b)



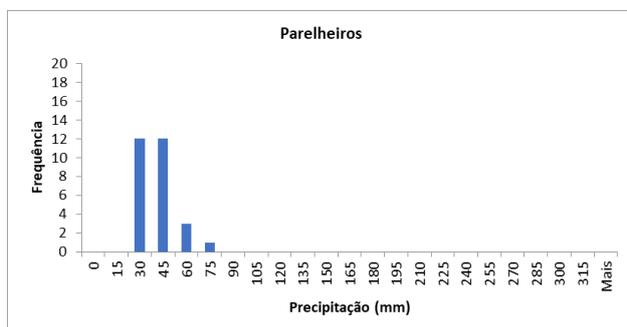
c)



d)



e)

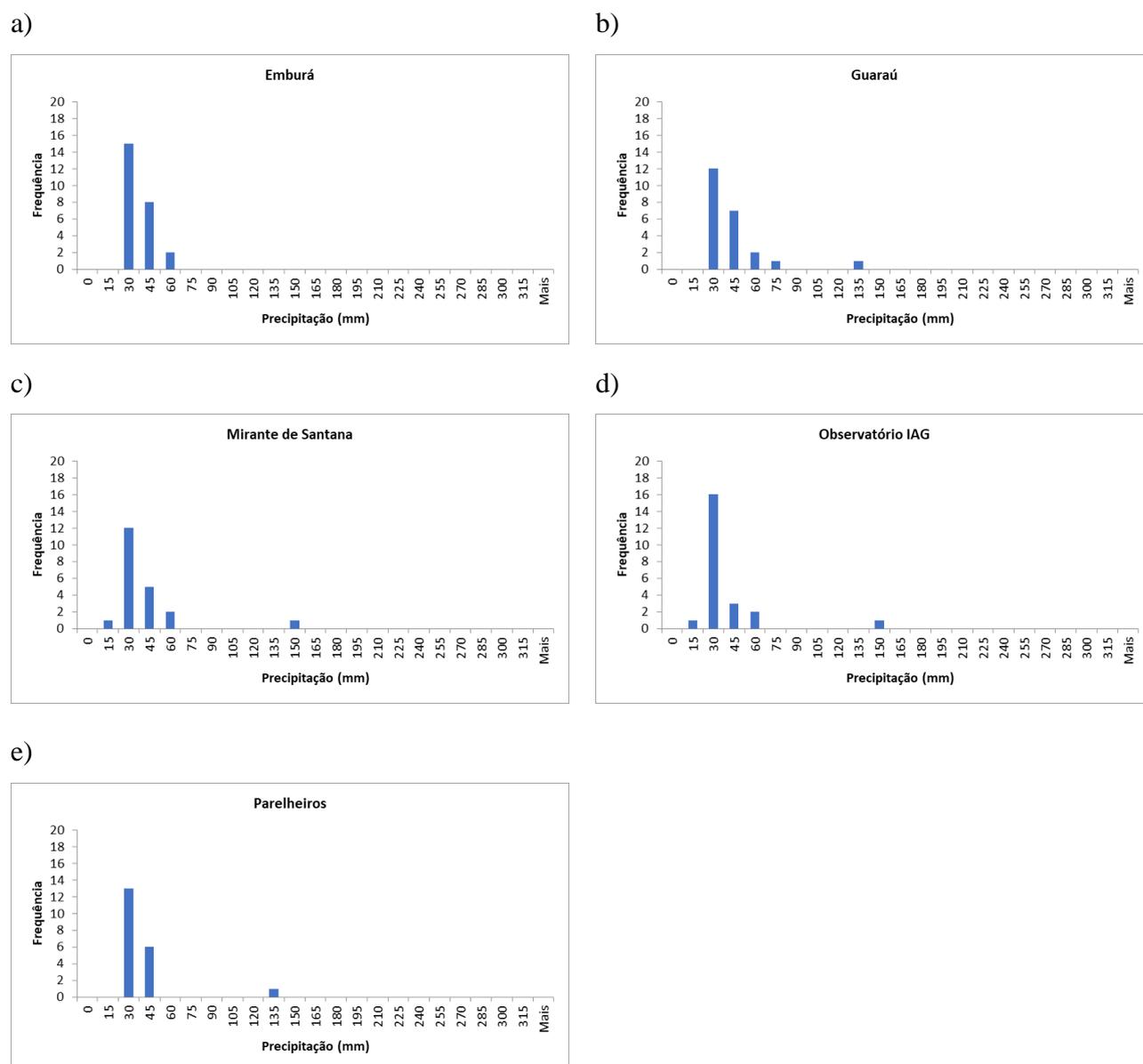


Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

O mês de maio no período de 2005 a 2019, no posto Emburá (Figura 15a), houve maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm (15 eventos). A chuva máxima encontrada foi de 49,3 mm. Em Guaraú (Figura 15b) a maior frequência de chuva extrema ocorreu entre 15 e 30 mm (12 eventos). A chuva máxima atingida foi de 127,8 mm. No posto de Mirante de Santana (Figura 15c) houve maior ocorrência de chuvas extremas entre 15 e 30 mm (12 eventos). A chuva máxima encontrada foi de 140,4 mm. O Observatório IAG (Figura 15d) apresentou a maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm (16 eventos). A chuva mais extrema registrada foi de 136,3 mm. O posto localizado em Parelheiros (Figura 15e), registrou mais eventos extremos entre o volume de chuva de 15 e 30 mm com 13 eventos. A chuva máxima neste posto atingiu os 123,3 mm.

Figura 15 - Frequência mensal (maio) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)



Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

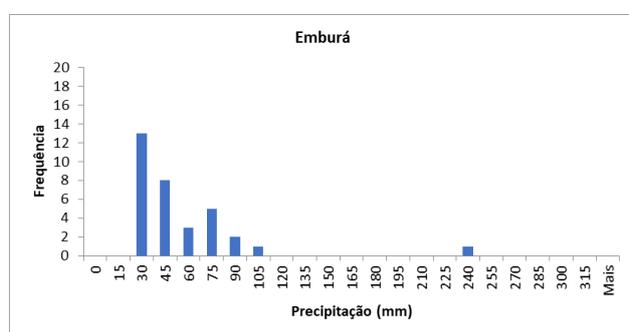
Fonte: elaborado pela autora.

No mês de junho, o posto pluviométrico de Emburá (Figura 16a) registrou mais ocorrências de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm (13 eventos). O volume de chuva máximo foi de 235 mm. No posto de Guaraú (Figura 16b) a maior frequência de chuva extrema é observada entre 15 e 30 mm (14 eventos). A chuva máxima encontrada neste posto foi de 86,8 mm. As chuvas extremas registradas na estação Mirante de Santana (Figura 16c) tiveram maior ocorrência entre os volumes de 15 e 30 mm (13 eventos). O volume de chuva

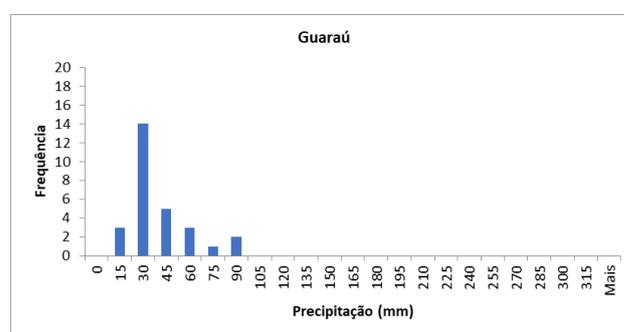
máxima encontrado foi de 73,4 mm. No posto do Observatório IAG (Figura 16d), os resultados mostram uma maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm (14 eventos). A chuva máxima registrada foi de 76 mm. No posto de Parelheiros (Figura 16e) a maior frequência encontrada foi entre o volume de 15 e 30 mm (12 eventos). A chuva máxima em Parelheiros atingiu 57,1 mm.

Figura 16 - Frequência mensal (junho) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

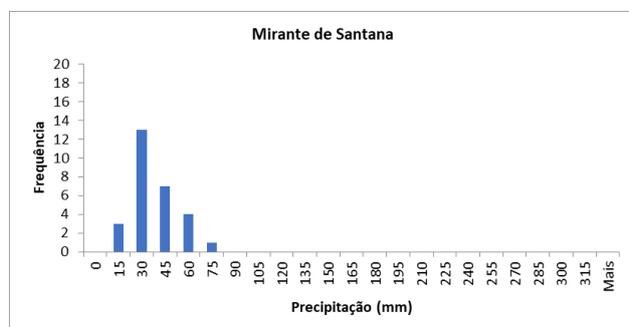
a)



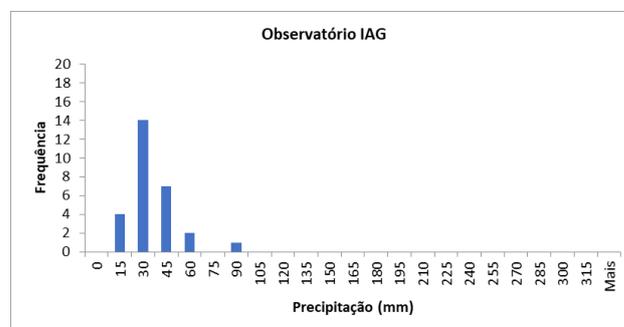
b)



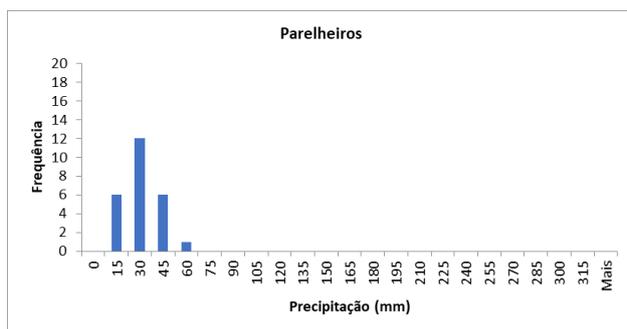
c)



d)



e)



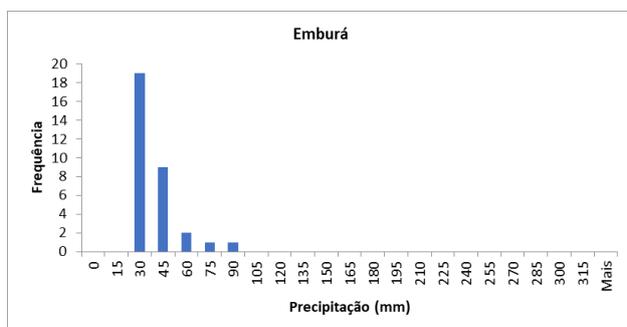
Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

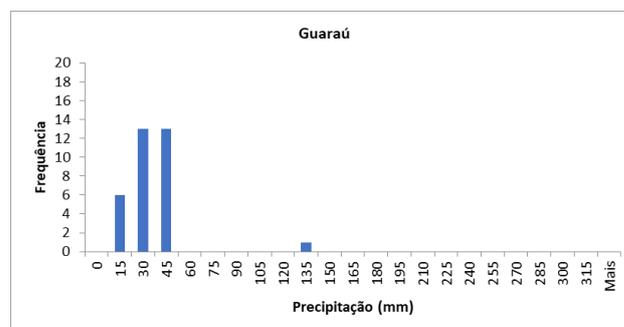
As frequências de chuva extrema no mês de julho no período de 2005-2019 foram realizadas e podem ser observadas na Figura 17. No posto localizado em Emburá (Figura 17a) foram contabilizadas mais ocorrências de chuva extrema entre os volumes de chuva de 15 e 30 mm (19 eventos). A chuva máxima encontrada no posto foi de 80,3 mm. O posto de Guaraú (Figura 17b) registrou 23 eventos extremos de chuva entre os volumes de 15 e 60 mm. A chuva mais intensa chegou à 129,1 mm. Em Mirante de Santana (Figura 17c) a maior frequência de chuva extrema foi de 17 eventos com volume entre 15 e 30 mm. A chuva máxima encontrada neste posto foi de 123,6 mm. Verificou-se no Observatório IAG (Figura 17d), que a maior frequência de chuva extrema ocorreu entre os volumes de 15 e 30 mm. A chuva máxima desse local foi de 91 mm. Em Parelheiros (Figura 17e) a maior frequência de chuva extrema ocorreu entre os volumes de 15 e 30 mm. O valor máximo de chuva registrada foi de 75,2 mm.

Figura 17 - Frequência mensal (julho) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

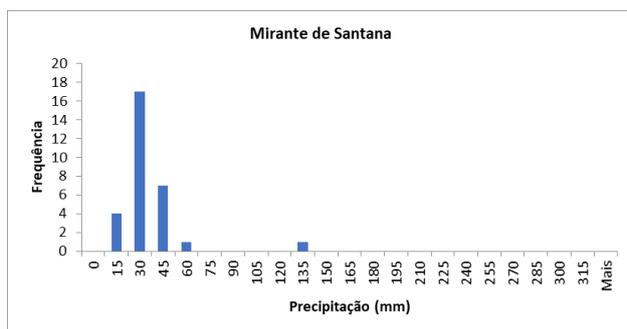
a)



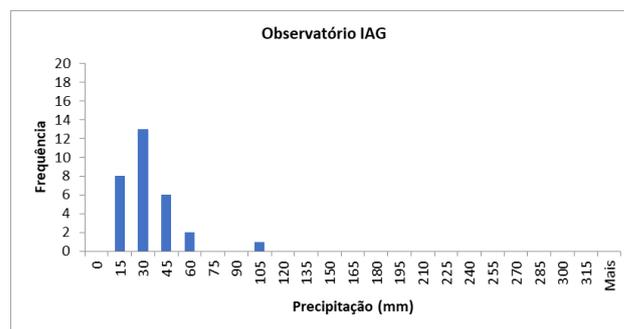
b)



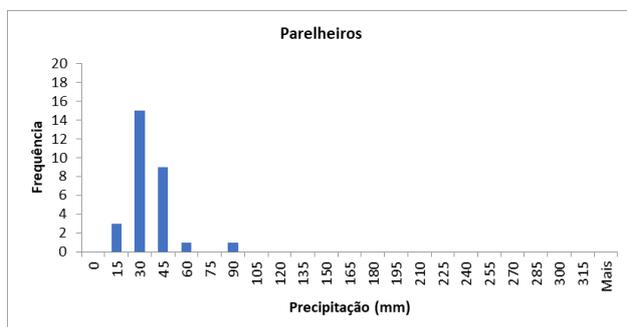
c)



d)



e)

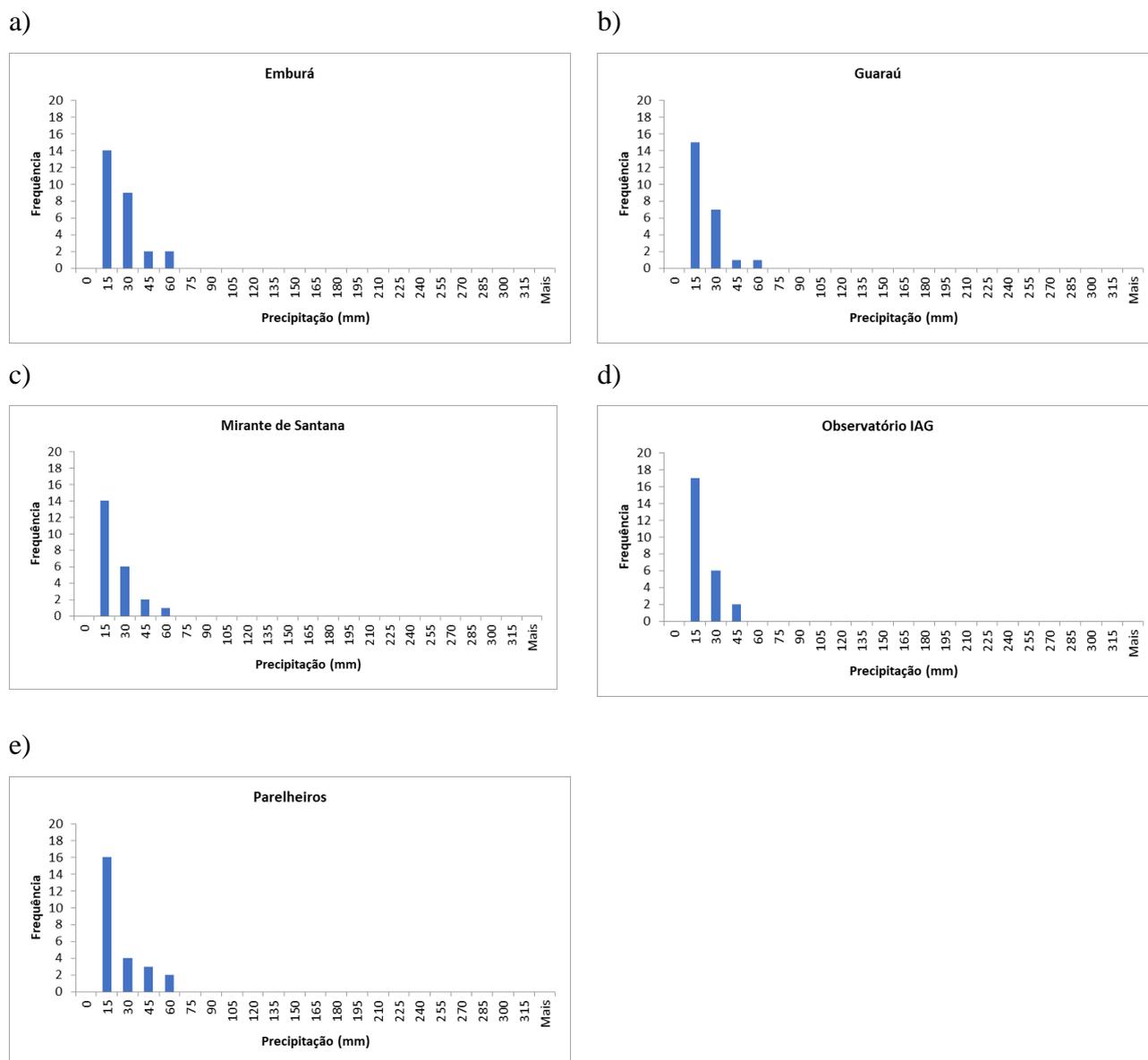


Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

No mês de agosto (2005-2019), o posto presente em Emburá (Figura 18a), registrou a maior frequência de chuva extrema com volumes entre 0 e 15 mm (14 eventos). A chuva mais intensa chegou a 51,8 mm. Já o posto de Guaraú (Figura 18b) teve a maior ocorrência de chuva extrema entre 0 e 15 mm (15 eventos). A máxima quantidade de chuva ocorrida em Guaraú foi de 47,2 mm. No posto de Mirante de Santana (Figura 18c) ocorreram 14 eventos de chuva extrema entre os volumes de 0 e 15 mm, período de precipitação com maior frequência apresentado no histograma. A chuva mais intensa atingiu os 46 mm. Os cálculos de chuvas extremas gerados pelos dados de precipitação obtidos pelo posto presente no Observatório IAG (Figura 18d) indicaram que a maior frequência de chuva extrema ocorreu entre a precipitação de 0 e 15 mm (14 eventos). A chuva máxima encontrada foi de 39 mm. Em Parelheiros (Figura 18e) foram registrados a maior quantidade de chuva extrema entre o volume de 0 e 15 mm (17 eventos). A chuva máxima registrou 46,3 mm.

Figura 18 - Frequência mensal (agosto) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)



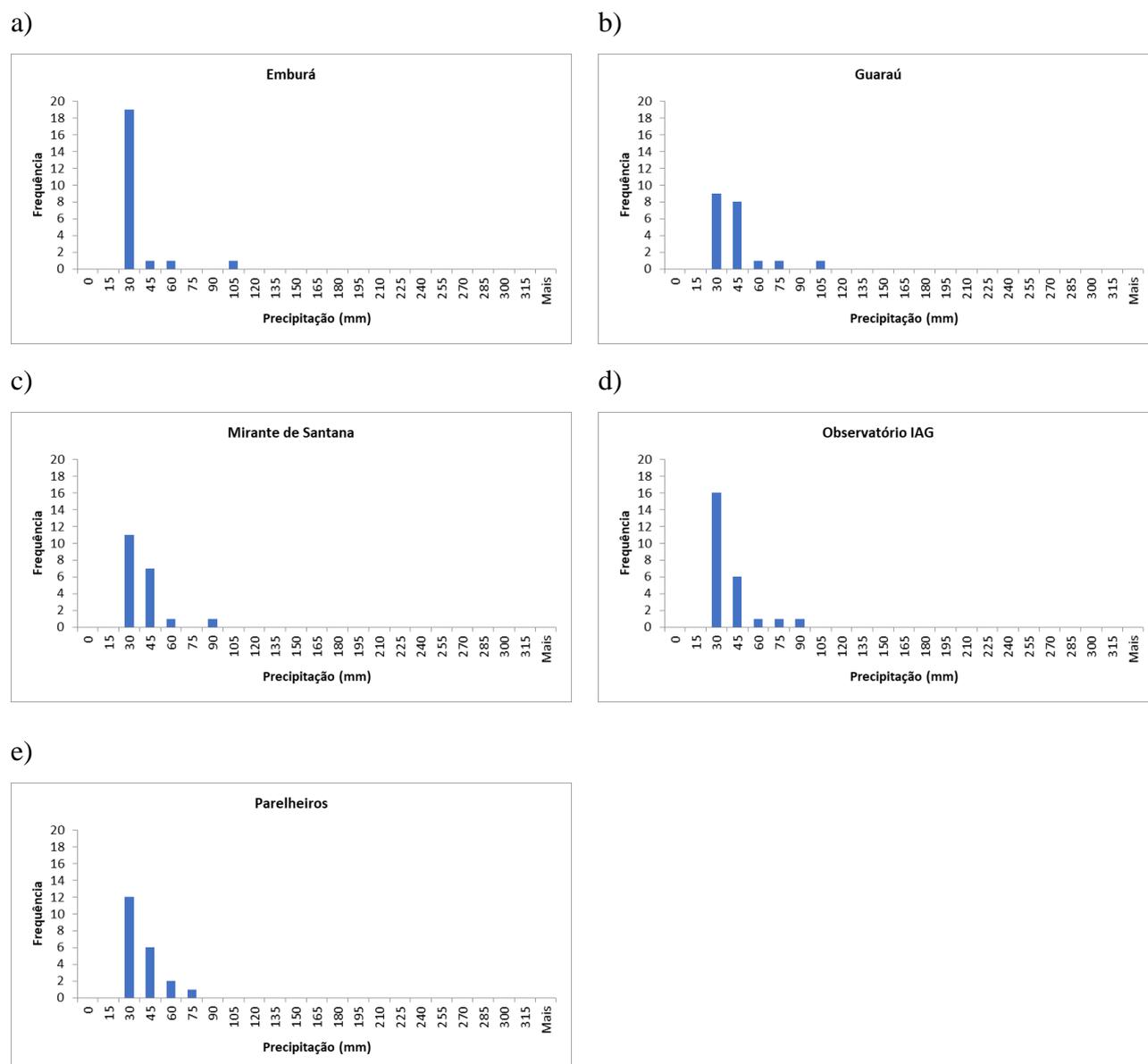
Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guarau, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

A frequência de chuva extrema no mês de setembro (2005 – 2019), observado no posto de Emburá (Figura 19a), mostra uma maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm (19 eventos). A chuva máxima encontrada foi de 95,9 mm. Em Guarau (Figura 19b) a maior ocorrência de chuva extrema aconteceu entre os volumes de 15 e 30 mm (9 eventos). A chuva máxima registrada neste posto foi de 93 mm. O posto de Mirante de Santana (Figura 19c) apresentou maior frequência de chuva extrema entre os volumes de

15 e 30 mm, totalizando 11 eventos. A chuva máxima chegou a 78,1 mm. A maior frequência de eventos extremos foi registrada entre 15 e 30 mm (16 eventos) no posto do Observatório IAG (Figura 19d). A chuva mais intensa foi de 84,7 mm. Em Parelheiros (Figura 19e) a maior frequência registrada ocorreu entre os volumes de 15 e 30 mm (12 eventos). O máximo volume de chuva ocorrido no posto foi de 60,1 mm.

Figura 19 - Frequência mensal (setembro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

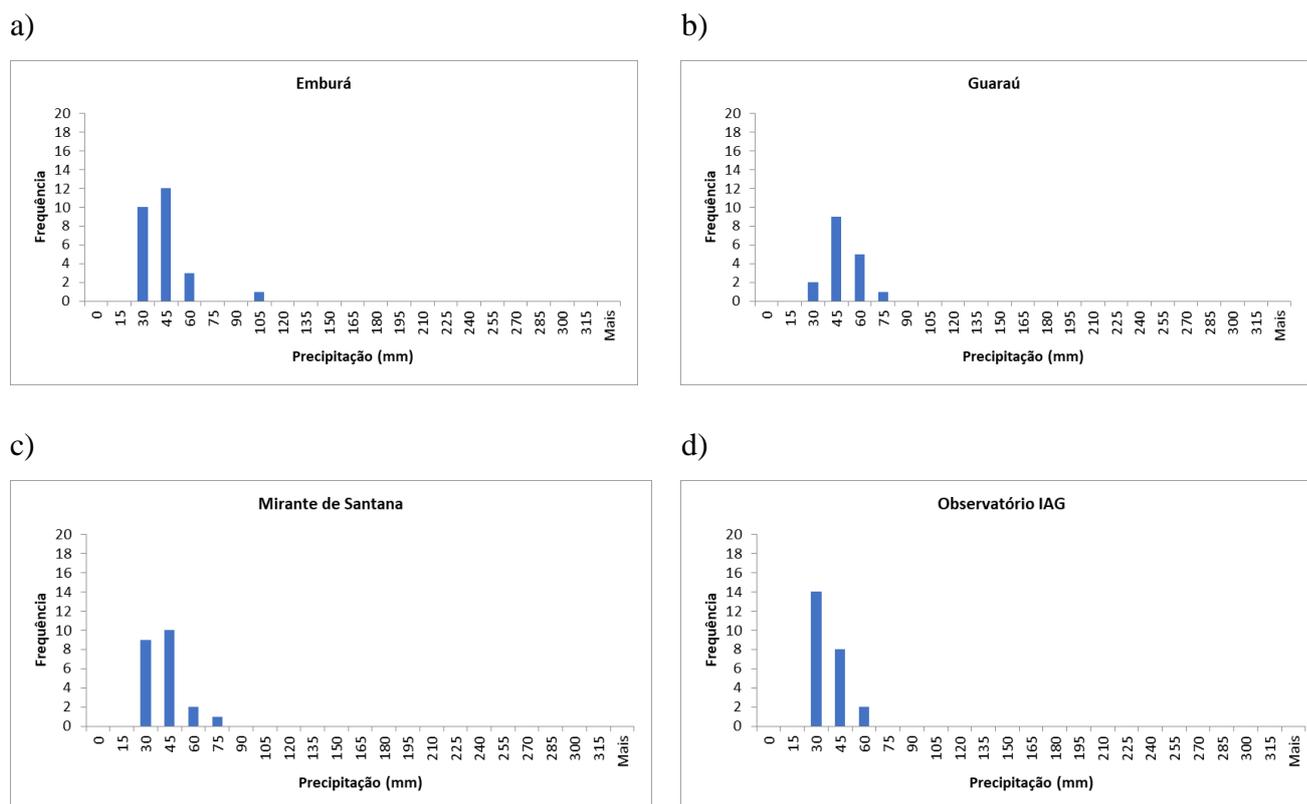


Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

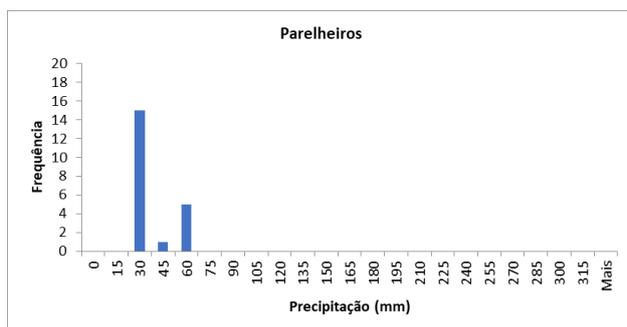
Fonte: elaborado pela autora.

No mês de outubro (2005 - 2019), o posto de Emburá (Figura 20a) apresentou maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 30 e 45 mm contabilizando 12 eventos. A chuva máxima registrada foi de 92,3 mm. Em Guaraú (Figura 20b) houve maior ocorrência de chuva extrema entre volumes de 30 e 45 mm (9 eventos). A chuva máxima registrada foi de 63,2 mm. No posto localizado em Mirante de Santana (Figura 20c) a maior frequência de chuva extrema registrada ocorreu entre os volumes de 30 e 45 mm (10 eventos). A chuva máxima encontrada foi de 63,2 mm. O posto do Observatório IAG (Figura 20d) registrou maior frequência de chuva extrema entre volumes de 15 e 30 mm (14 eventos). A chuva máxima medida neste posto foi de 57,9 mm. Em Parelheiros (Figura 20e) foi registrada a maior frequência de chuva extrema entre os volumes de chuva de 15 e 30 mm (15 eventos). A chuva máxima encontrada foi de 53,2.

Figura 20 - Frequência mensal (outubro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)



e)



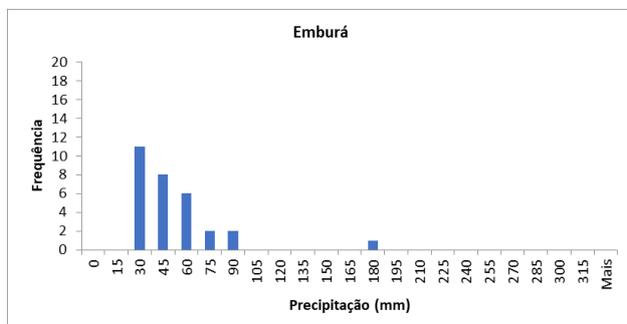
Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

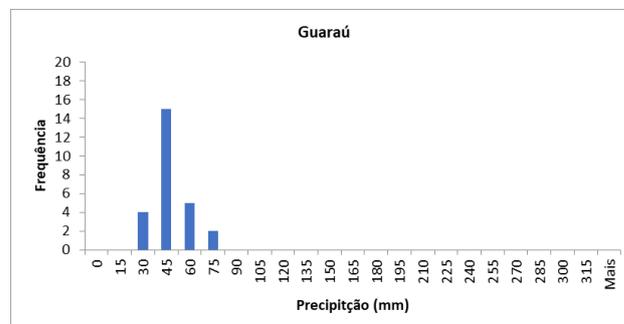
As chuvas extremas no mês de novembro no período entre 2005 e 2019, indicaram no posto de Emburá (Figura 21a) uma maior frequência entre os volumes de 15 e 30 mm (11 eventos). A chuva máxima chegou aos 178,5 mm. No posto de Guaraú (Figura 21b) ocorreu a maior frequência de chuva extrema entre a precipitação de 30 e 45 mm (15 eventos). O maior volume de chuva ocorrido neste posto foi de 72 mm. No posto pluviométrico de Mirante de Santana (Figura 21c) houve maior frequência de chuva extrema entre precipitação 30 e 45 mm (13 eventos). A chuva máxima teve um volume de 69 mm. No Observatório IAG (Figura 21d) a maior frequência de chuva extrema ocorreu entre os volumes de 30 e 45 mm contabilizando 13 eventos. A chuva máxima registrou 62,5 mm. Em Parelheiros (Figura 21e) ocorreram mais eventos extremos entre os volumes de 15 e 30 mm (14 eventos). A chuva máxima ocorrida no neste posto foi de 66,2 mm.

Figura 21 - Frequência mensal (novembro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

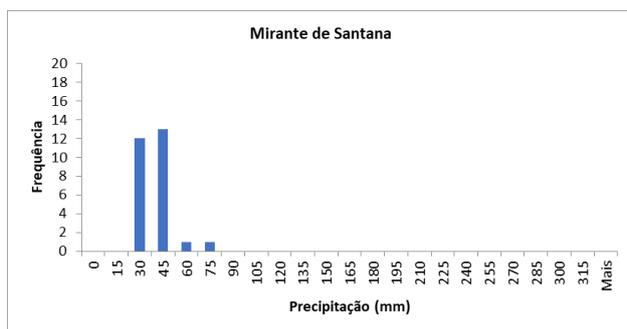
a)



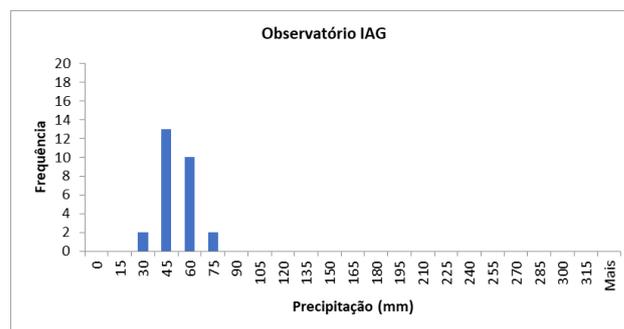
b)



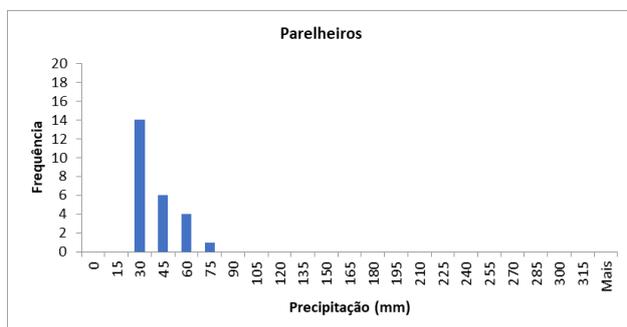
c)



d)



e)



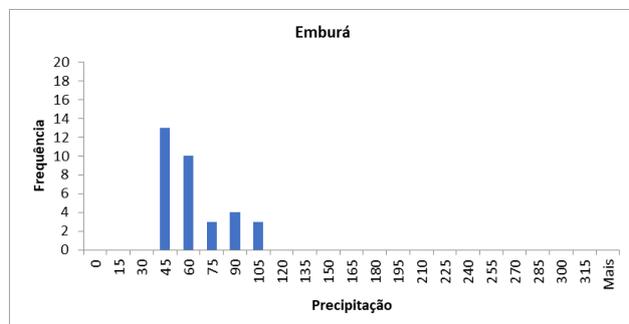
Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

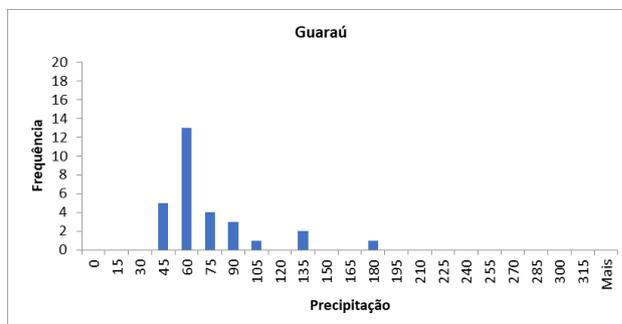
No mês de dezembro (2005 – 2019), no posto de Emburá (Figura 22a), observa-se maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 30 e 45 mm (13 eventos). A chuva máxima encontrada foi de 102,7 mm. No posto localizado em Guaraú (Figura 22b) a frequência de chuva extrema registrou a maioria dos eventos entre as precipitações de 45 e 60 mm (13 eventos). O maior volume de chuva encontrado foi de 176,4 mm. As chuvas extremas na estação meteorológica localizada em Mirante de Santana (Figura 22c) tiveram maior frequência entre os volumes de 45 e 60 mm com a ocorrência de 12 eventos, enquanto o máximo valor de chuva diária atingiu os 114,3 mm. No posto do Observatório IAG (Figura 22d) a frequência de chuva extrema foi maior entre os volumes de 30 e 45 mm. A chuva máxima foi de 109,5 mm. O posto de Parelheiros (Figura 22e) apresentou maior frequência de eventos extremos entre 30 e 45 mm (11 eventos). A chuva máxima diária neste posto foi de 93 mm.

Figura 22 - Frequência mensal (dezembro) de chuvas extremas no município de São Paulo (2005-2019)

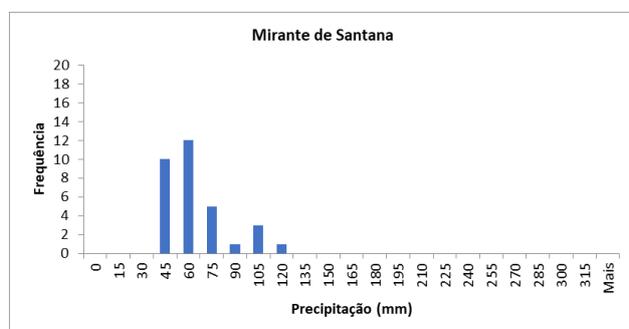
a)



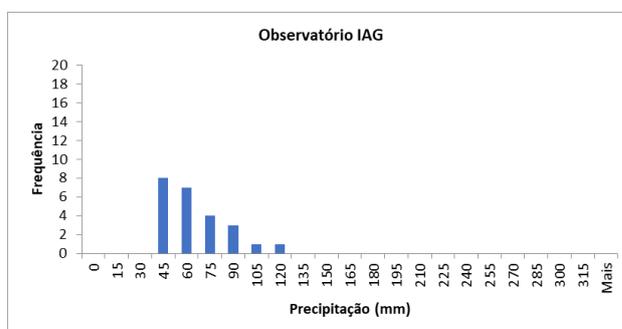
b)



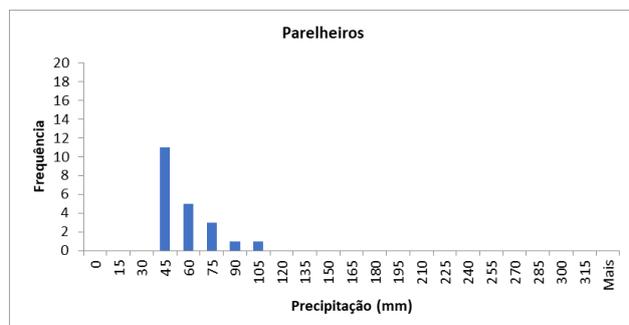
c)



d)



e)



Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guarauá, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e e) Posto pluviométrico Parelheiros.

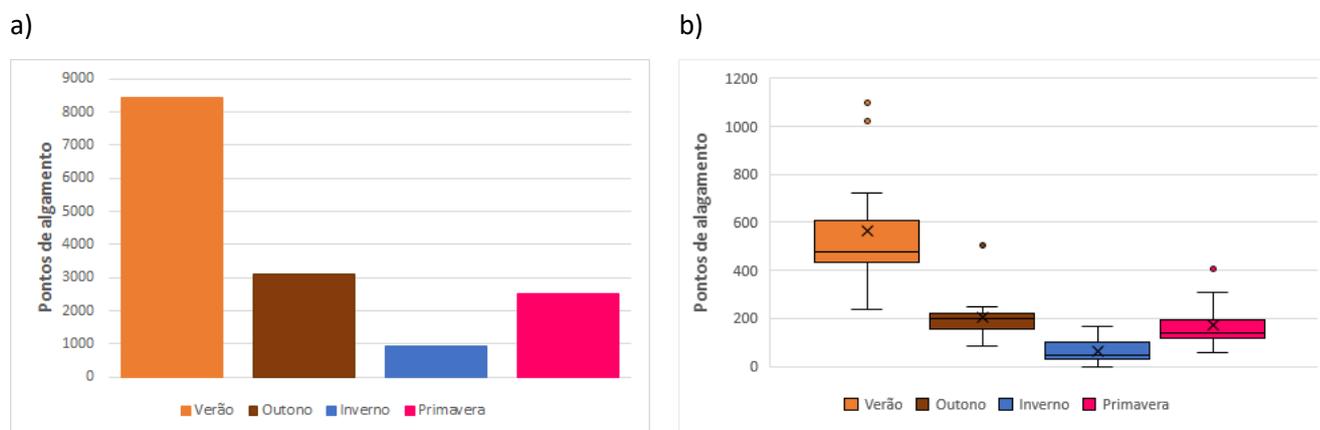
Fonte: elaborado pela autora.

5.4 Pontos de alagamento no município de São Paulo

O total de alagamentos registrado para todo o período de 2005-2019 no município de São Paulo foi de 15000 pontos. Na Figura 23a pode-se observar que entre esses anos os pontos de alagamento sazonal tiveram maior ocorrência no verão (DJF), com 8429 alagamentos, coincidindo com a estação chuvosa do município (Figura 2). A estação que apresentou menos episódios de alagamento foi o inverno (JJA) com 941 pontos de alagamento, período mais seco do ano na cidade (Figura 2). O outono (MAM) e a primavera (SON), tiveram uma pequena diferença entre os números de alagamentos, a menor observada na Figura 89, a diferença foi de 512 pontos de alagamento, com uma ocorrência de 3096 no outono e 2534 na primavera.

Na Figura 23b, observa-se o gráfico de boxplot sazonal dos pontos de alagamentos em São Paulo no período de 2005 - 2019. O x no gráfico representa a média dos alagamentos sazonais e os pontos são os dados sazonais de alagamento no período de 2005 - 2019. Nota-se no boxplot que o verão teve a maior amplitude de dados, o valor mínimo foi de 239 pontos de alagamento e o valor máximo de 724 pontos, observa-se também dois outliers com valores de 1019 (no ano de 2011) e 1097 (no ano de 2010). A mediana observada na estação foi de 477 pontos. Nos meses de outono, notou-se que o valor máximo de alagamentos atingiu os 249 pontos e o mínimo foi de 85 pontos. A mediana encontrada foi de 201 pontos. Percebe-se também um outlier com valor de 505 pontos (no ano de 2005). Observa-se na estação de inverno o menor valor mínimo entre as outras estações, com nenhum ponto de alagamento, o valor máximo atingiu 167 pontos e a mediana foi de 46 pontos. A primavera apresentou o valor mínimo de 58 pontos de alagamento e o máximo atingiu 310 pontos, a mediana dessa série de dados foi de 138 pontos. Um outlier foi identificado com valor de 405 pontos (no ano de 2009).

Figura 23 – Gráficos dos alagamentos no município de São Paulo entre os anos de 2005 e 2019



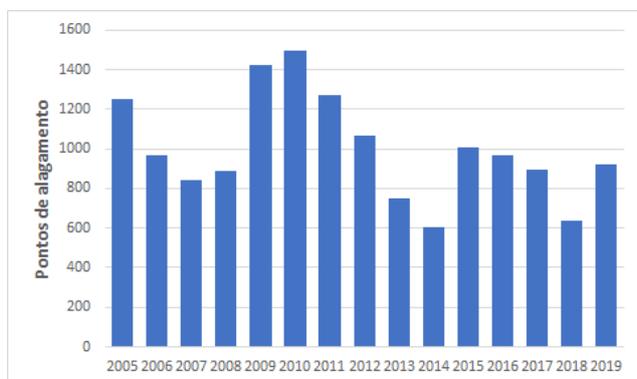
Legenda: a) Acumulados de pontos de alagamento sazonal, b) Boxplot Sazonal.
Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 24a, representa o total de alagamentos anuais no período de 2005 e 2019. O ano que apresentou mais episódios de alagamento foi o ano de 2010, com a quantidade de 1498 pontos de alagamento, seguido dos anos de 2009 (1423 pontos), 2011 (1273 pontos) e 2005 (1254 pontos). O ano em que ocorreu o menor número de alagamentos no município de São Paulo foi 2014, com a ocorrência de 604 pontos de alagamento, seguido pelos anos de 2018 (638 pontos) e 2013 (751).

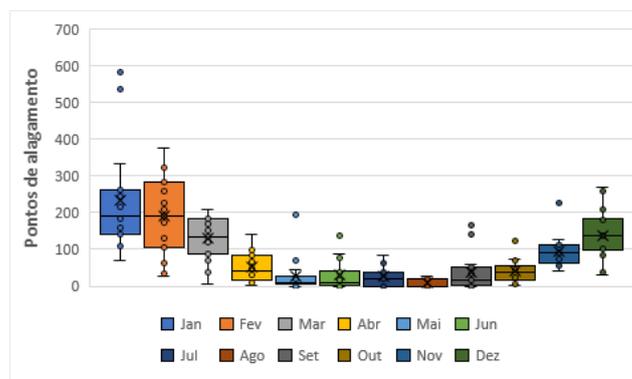
O boxplot mensal de alagamento no período de 2005 a 2019 é retratado na Figura 24b, nele pode-se notar que os meses que tiveram os maiores valores máximos foram dezembro (260 pontos de alagamento), janeiro (333 pontos), fevereiro (377 pontos) e março (209 pontos). O mês que se notou a menor amplitude entre os dados de alagamento foi agosto com uma variação de 0 a 27 pontos de alagamento. Alguns meses apresentaram valores extremos, esses valores são representados pelos pontos de outliers, os meses que tiveram ocorrência de outliers foram janeiro com 2 casos um deles no valor de 537 (no anos de 2010) e outro com 581 pontos de alagamento (no ano de 2011), maio com um outlier de número de alagamentos foi de 196 (no ano de 2005), junho com um outlier de 139 alagamentos (no ano de 2012), setembro observou-se dois outliers com valor de 140 (no ano de 2015) e 167 (no ano de 2009), outubro com outlier de 124 pontos de alagamento (no ano de 2009) e novembro com um valor de outlier de 225 alagamentos (no ano de 2006).

Figura 24 – Gráficos de alagamentos no município de São Paulo entre os anos de 2005 e 2019

a)



b)



Legenda: a) Pontos de alagamento anual, b) Boxplot mensal dos pontos de alagamento.

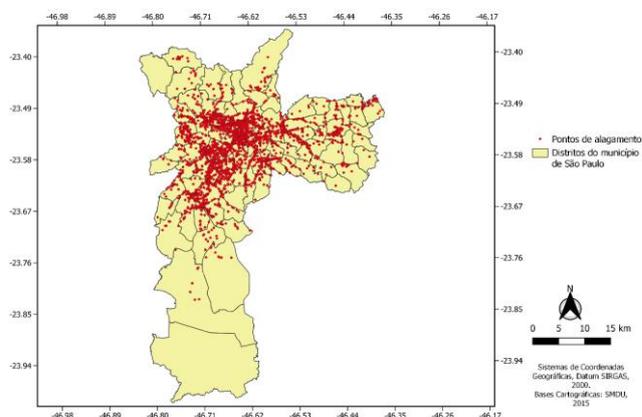
Fonte: elaborado pela autora.

A distribuição espacial dos pontos de alagamento representada na Figura 25a, mostra que o maior registro de alagamentos entre os anos de 2005 e 2019, foram na parte central do município de São Paulo. Na região sul os pontos começam a ficar mais dispersos, o mesmo ocorre a leste e ao norte da cidade. A quantidade de pontos de alagamentos por distrito no período de 2005 a 2019, pode ser observado na Figura 25b, percebe-se 12 distritos com mais de 367 pontos de alagamentos, a maioria deles estão localizados na parte central e oeste do município. Os distritos que tiveram mais pontos de alagamentos foram a região do Morumbi com 799 pontos de alagamento, Bom Retiro com 657 pontos, Santo Amaro com 655 e Pinheiros com 654 pontos.

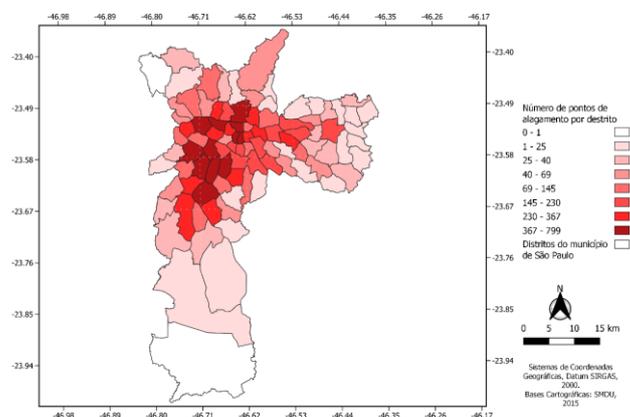
Na Figura 25c, pode ser observado a densidade de ocorrência de alagamentos no município de São Paulo no período de 2005 a 2019, estimado pelo método de Kernel. Percebe-se uma alta densidade na região central e oeste da cidade. Essa densidade significativa atinge os distritos da República e da Sé no centro e na parte oeste pode ser visto nos distritos do Butantã, Pinheiros, Itaim Bibi e Morumbi.

Figura 25 - Mapa dos pontos de alagamento entre os anos de 2005 e 2019 no município de São Paulo

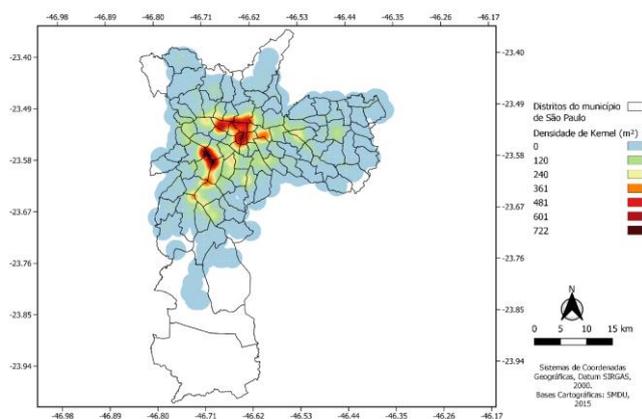
a)



b)



c)



Legenda: a) Distribuição espacial dos pontos de alagamento, b) Quantidade de alagamentos por distrito, c) Densidade na ocorrência de alagamentos, estimado pelo método de kernel.

Fonte: elaborado pela autora.

5.5 Sistemas meteorológicos associados a ocorrência de chuvas extremas (limiar $p(0,99)$) município de São Paulo

Na Tabela 8, pode-se notar a relação dos dias de chuvas extremas com os sistemas de frentes frias e ZCAS que atuaram nessas datas, favorecendo a ocorrência dessas chuvas em São Paulo. Apenas nos eventos extremos do ano de 2015 não se encontrou informações nos boletins do CPTEC. Nos 60 dias em que ocorreram chuvas extremas, encontradas através do $p(0,99)$ em pelo menos dois postos pluviométricos localizados no município de São Paulo, notou-se que 35% dos dias houve a presença de frentes frias e 33,3 % teve a atuação da ZCAS na contribuição para ocorrência dessas chuvas. Observa-se que os dois sistemas tiveram importante papel na formação das chuvas extremas na cidade de São Paulo, contribuindo para um total de 68,3% dos eventos extremos de chuva diária, observa-se também que os dois sistemas tiveram quase o mesmo número de ocorrência nas datas de chuvas extremas encontradas no estudo, com 21 episódios de frentes frias e 20 episódios de ZCAS.

A quantidade de eventos extremos por estação pode ser observada na Tabela 9, onde notou-se uma maior ocorrência desses eventos na estação de verão, (37 eventos), o outono foi a segunda estação com mais eventos de chuvas extremas (13 eventos), o inverno e a primavera registraram 6 e 4 dias com eventos extremos, respectivamente. As chuvas extremas associadas aos sistemas, indicou que a ZCAS atuou em sua maioria no verão (17 episódios). As frentes frias foram mais frequentes, na contribuição dos eventos extremos no outono e no inverno (6 ocorrências cada). A primavera apresentou 1 caso de ZCAS e 1 caso de frente fria nos dias de chuva extrema.

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

| Data | Sistemas Atuentes | Data | Sistemas Atuentes | Data | Sistemas Atuentes |
|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|
| 12/01/2005 | Frente fria | 09/09/2009 | Frente Fria | 08/03/2015 | |
| 25/05/2005 | Frente Fria | 08/12/2009 | ZCAS | 09/09/2015 | |
| 04/01/2006 | ZCAS | 20/01/2010 | ZCAS | 02/11/2015 | |
| 29/03/2006 | Frente Fria | 21/01/2010 | ZCAS | 20/12/2015 | |

| | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
| 10/07/2006 | Frente Fria | 18/02/2010 | Frente Fria | 28/01/2016 | Frente Fria |
| 26/11/2006 | ZCAS | 11/01/2011 | ZCAS | 16/02/2016 | |
| 05/12/2006 | | 12/01/2011 | ZCAS | 21/02/2016 | |
| 05/01/2007 | ZCAS | 01/03/2011 | ZCAS | 11/03/2016 | Frente Fria |
| 08/02/2007 | ZCAS | 09/12/2011 | ZCAS | 05/06/2016 | Frente Fria |
| 09/02/2007 | ZCAS | 11/02/2012 | ZCAS | 12/12/2016 | |
| 17/03/2007 | | 13/02/2012 | ZCAS | 07/04/2017 | |
| 07/12/2007 | Frente Fria | 06/06/2012 | Frente Fria | 22/05/2017 | |
| 20/12/2007 | | 15/12/2012 | ZCAS | 06/06/2017 | Frente Fria |
| 13/01/2008 | Frente Fria | 16/12/2012 | ZCAS | 01/12/2018 | |
| 15/01/2008 | | 30/12/2012 | ZCAS | 05/01/2019 | Frente Fria |
| 30/01/2008 | ZCAS | 23/02/2013 | Frente Fria | 04/02/2019 | Frente Fria |
| 03/05/2008 | Frente Fria | 15/02/2014 | ZCAS | 16/02/2019 | |
| 26/01/2009 | | 08/03/2014 | ZCAS | 11/03/2019 | Frente Fria |
| 18/03/2009 | | 24/12/2014 | ZCOU | 09/04/2019 | Frente Fria |
| 12/07/2009 | Frente Fria | 23/01/2015 | | 05/07/2019 | Frente Fria |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 10 – Quantidade de eventos extremos e sistemas atuantes por estação.

| Estações | Quantidade de dias com eventos extremos | Frente Fria | ZCAS |
|-----------------|--|--------------------|-------------|
| Verão | 37 | 8 | 17 |
| Outono | 13 | 6 | 2 |
| Inverno | 6 | 6 | 0 |
| Primavera | 4 | 1 | 1 |

Fonte: elaborado pela autora.

5.6 Chuvas extremas diárias e a relação com episódios de alagamento no município de São Paulo

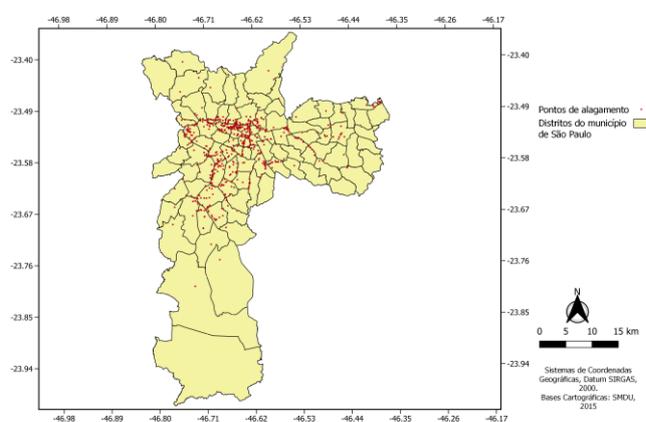
Através dos cálculos dos $p(0,99)$, encontrou-se 60 eventos de chuvas extremas diárias no município de São Paulo no período de 2005 – 2019. Nos 60 dias que ocorreram as chuvas extremas no município foram contabilizados 1324 pontos de alagamento. Na Figura 26a, pode-se observar a distribuição espacial dos alagamentos que ocorreram nas datas de chuvas extremas. Observa-se o mesmo padrão da Figura 25a, com os pontos mais concentrados no centro e mais dispersos quando se afastam do centro, principalmente ao sul, norte e leste da cidade. No próximo mapa (Figura 26b), vemos a quantidade de alagamentos por distrito nos dias em que ocorreram chuvas extremas no município. Nota-se 10 distritos com mais de 38 pontos de alagamento. Os distritos que tiveram maior ocorrência de alagamentos associados às chuvas extremas foram Bom Retiro com 123 pontos, Barra Funda com 74 pontos, República com 71 pontos, Lapa com 54 pontos, Santana com 52 pontos, Vila Leopoldina com 49 pontos. No mapa da Figura 26c, a densidade dos alagamentos nos dias de chuvas intensas foi mais alta na região central do município, principalmente nos distritos do Bom Retiro, Barra Funda, Santana, Santa Cecília e Casa Verde.

A Figura 27 apresenta a quantidade de alagamentos nos dias de chuvas extremas. O dia 8 de dezembro de 2009 foi o dia com maior número de alagamentos (123 pontos). Outros dias com extremo de precipitação que tiveram considerável quantidade de alagamentos foi o dia 25 de maio de 2005 (100 pontos), 8 de fevereiro de 2007 (81 pontos), 21 de janeiro de 2010 (110 pontos), 11 de janeiro 2011 (68 pontos), 11 de março de 2016 (93 pontos) 07 de abril de 2017 (66 pontos). No total 11 dias não registraram pontos de alagamento na cidade, 6 desses dias tiveram alagamentos no dia anterior ao evento extremo. Na Figura 28, mostra a distribuição da chuva nos 49 dias que tiveram alagamentos, considerando os dias de chuvas extremas ($p(0,99)$). Nota-se que o posto pluviométrico de Emburá (Figura 28a) teve os menores volumes de chuvas diárias se comparado com os demais postos pluviométricos, sem apresentar volumes de chuva com mais de 100 mm. O comportamento da chuva foi parecido em todos os postos. Os volumes de precipitação em mm nos 60 dias de eventos extremos e os pontos de alagamento nessas datas estão apresentados no Apêndice A.

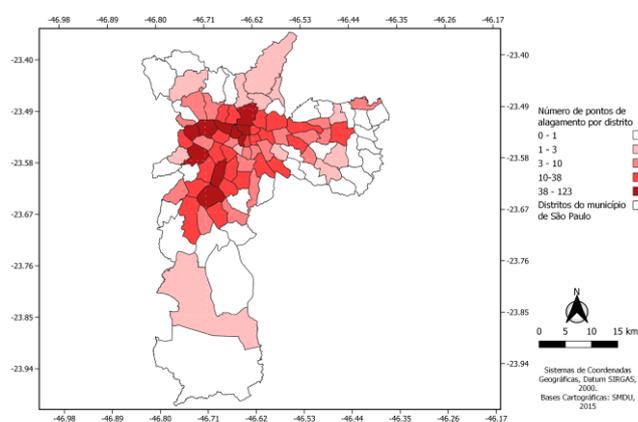
Entre os anos de 2005-2019 houve 1357 dias que apresentaram pontos de alagamento em São Paulo, 3,6% desses dias ocorreram eventos extremos de chuva, nota-se então que os alagamentos nem sempre estão relacionados com as chuvas mais extremas.

Figura 26 – Mapas dos pontos de alagamento em dias de chuvas extremas entre os anos de 2005 e 2019 no município de São Paulo

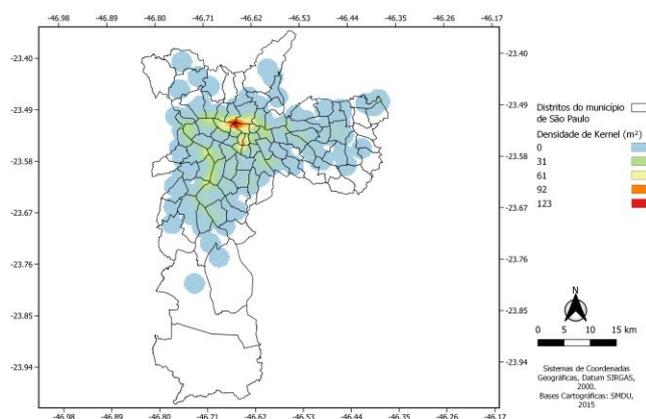
a)



b)



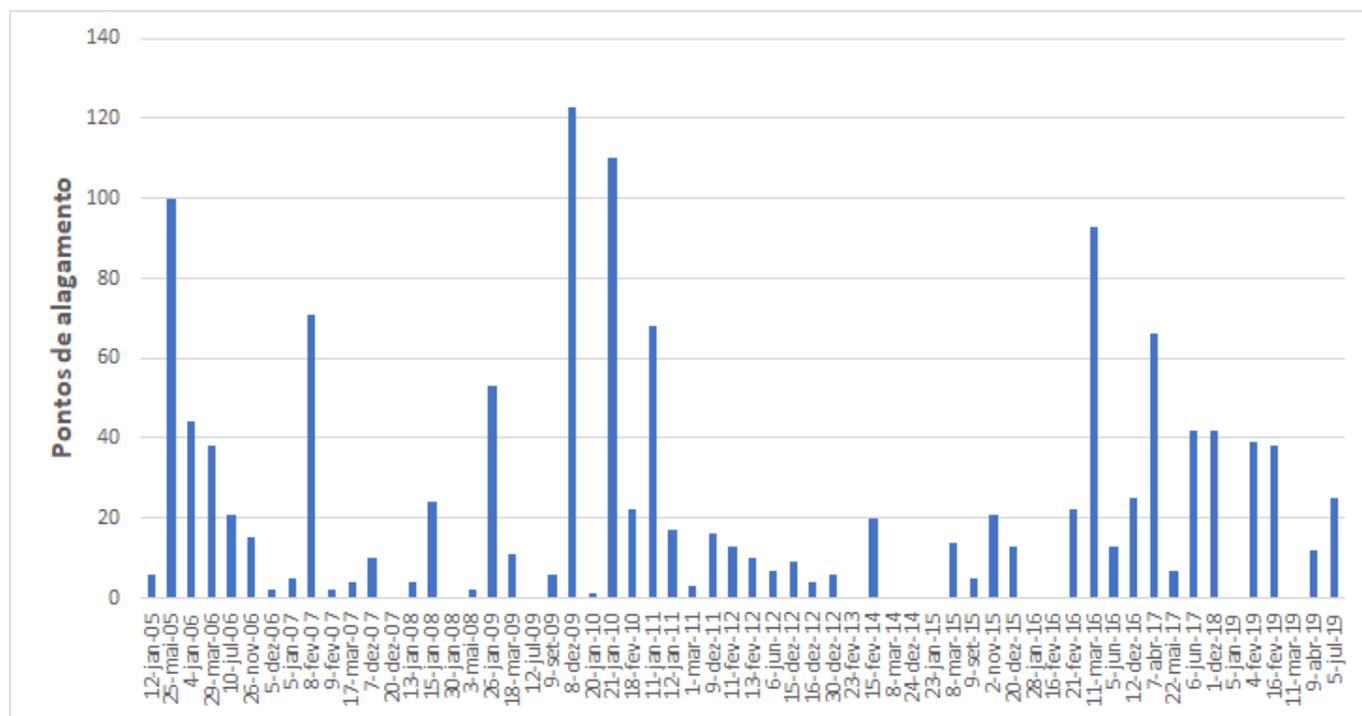
c)



Legenda: a) Distribuição espacial dos pontos de alagamento, b) Quantidade de alagamentos por distrito e c) Densidade na ocorrência de alagamentos, estimado pelo método de kernel.

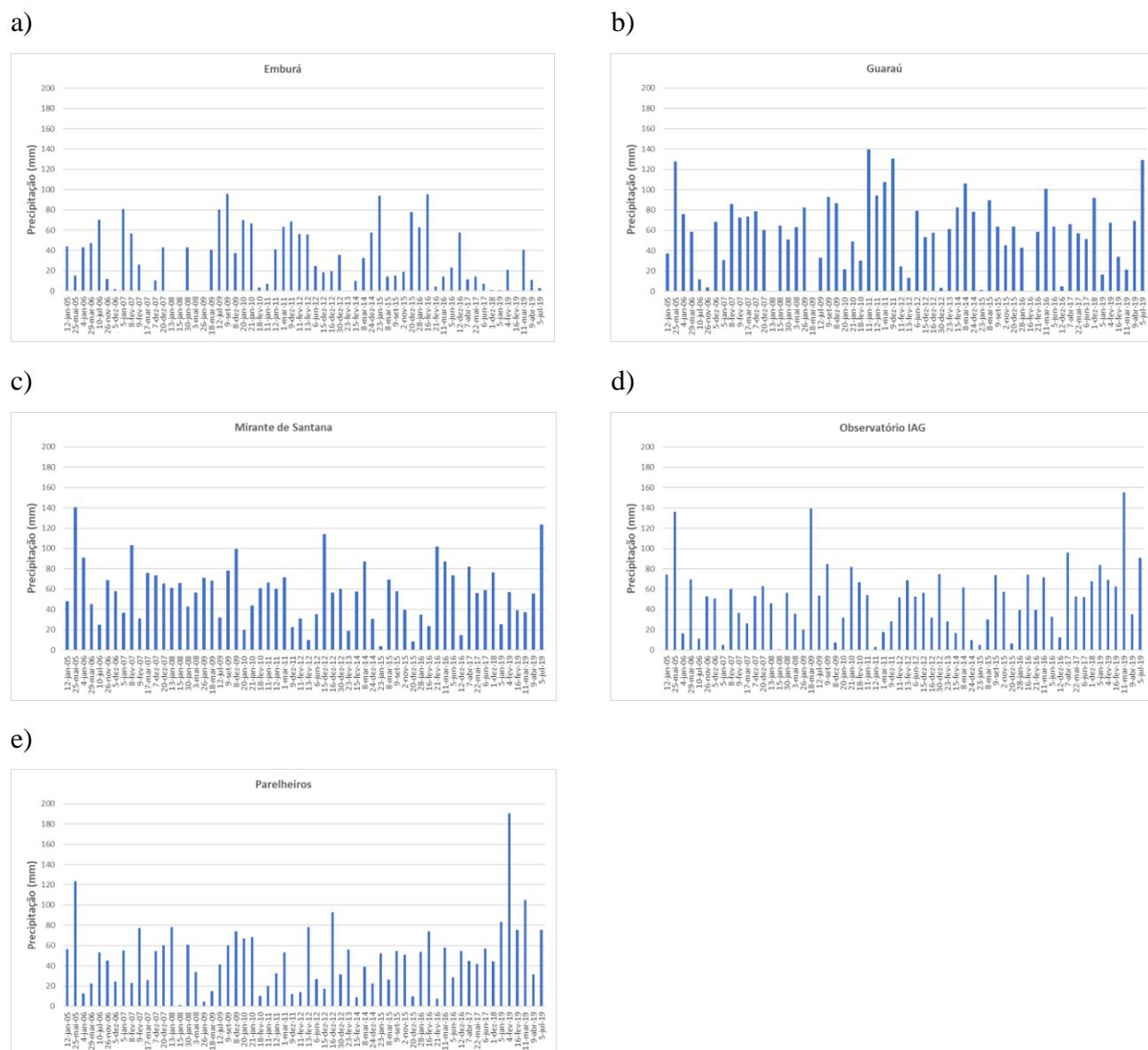
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 27 - Número de pontos de alagamentos nos dias de ocorrência de chuva extrema (limiar de $p(0,99)$).



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 28 - Distribuição da precipitação (mm) nos dias que tiveram pontos de alagamento em dia de chuvas extremas $p(0,99)$



Legenda: a) Posto pluviométrico Emburá, b) Posto pluviométrico Guaraú, c) Posto pluviométrico Mirante de Santana, d) Posto pluviométrico Observatório IAG e) Posto pluviométrico Parelheiros.

Fonte: elaborado pela autora.

5.7 Danos causados pelas chuvas extremas no município de São Paulo

As chuvas extremas no município de São Paulo contribuíram para episódios de inundações, enxurradas, deslizamentos de terras, alagamentos entre outros tipos de eventos, todos eles causaram transtornos e problemas para a cidade. Na Tabela 10, observa-se os principais danos sofridos pelo município de São Paulo entre os anos de 2005 e 2019, devido

às chuvas mais intensas ocorridas neste período. As pessoas afetadas pelos 60 eventos de chuvas extremas foram contabilizadas em 21 pessoas feridas, 20 pessoas desalojadas, 19 pessoas ilhadas, 15 vítimas fatais, 7 desabrigadas, 6 pessoas arrastadas pelas enxurradas e 1 afogamento dentro de residência. Os danos materiais mais frequentes causados pelas chuvas intensas na cidade (60 eventos) foram a ocorrência de 63 desabamento/rachadura/danos em imóveis, 21 queda de muro, 21 danos em veículos

Os principais danos/impactos causados pelos alagamentos na cidade foram congestionamentos e interdições de vias (90 casos) e os danos carros, pessoas ilhadas (19 casos). Dos registros de vítimas fatais obtidos via jornal na internet, não houve vítimas fatais relacionadas a episódios de alagamento. Os alagamentos também podem ter causado buracos e erosões e danificação na pavimentação.

Tabela 11 - Quantificação dos danos e impactos causados pelas chuvas extremas (p(0,99)) no município de São Paulo (2005-2019)

| Danos/Impactos | total |
|---|--------------|
| Congestionamento/ interdição | 90 |
| Desabamento/rachadura/danos em imóveis | 63 |
| Feridos | 21 |
| Queda de muro | 21 |
| Danos em veículos | 21 |
| Desalojados | 20 |
| Pessoas ilhadas | 19 |
| Transbordamento de rios e córregos | 19 |
| Corte no fornecimento de energia e água | 18 |
| Vítimas fatais | 15 |
| Acidente com Aeronave/Aeroporto Fechado | 12 |
| Desabrigados | 7 |
| Pessoa arrastada pela enxurrada | 6 |
| Acidente com Trem\Trens Parados | 3 |
| Destelhamento | 2 |
| Danificação em Pavimentação | 2 |
| Erosão Buraco | 2 |
| Desbarrancamento da Margem do Rio | 1 |
| Escorregamento de Encosta | 1 |
| Afogamento dentro da residência | 1 |
| Queda de barreira | 1 |
| Queda de poste | 1 |
| Rompimento da Rede de Água e Esgoto | 1 |

Fonte: elaborado pela autora.

6 DISCUSSÕES

Os resultados expostos mostram que a climatologia de precipitação (1985-2019) no município de São Paulo foi semelhante nos cinco postos pluviométricos utilizados neste estudo. Observou-se que o posto localizado em Emburá foi o que apresentou maior diferença de precipitação mensal entre os demais postos, onde verificou-se uma precipitação média superior entre os meses de março a novembro. Essa diferença observada no posto de Emburá pode estar relacionado a localização do posto que está situado na zona rural do município, sendo o posto mais austral utilizado no estudo. Outra possibilidade é que essa diferença pode estar relacionada à falta de calibração do instrumento meteorológico (pluviômetro), o qual pode influenciar nas medidas altas de precipitação. Nota-se que os meses mais chuvosos em São Paulo, em todos os postos, foram dezembro, janeiro, fevereiro e março, esses meses fazem parte da estação chuvosa da região no Estado de São Paulo, concordando com estudos sobre período chuvosa na região Sudeste do Brasil feitos por Alves et al. (2005) e Minuzzi et al. (2006), e pode-se observar também na normal climatologia realizada INMET (Figura 1). Nota – se que climatologia sazonal do município de São Paulo apresenta maiores médias na estação de verão, com volumes que variam entre 654 mm (Parelheiros) a 769,9 mm (Mirante de Santana) e as menores médias foram encontradas no inverno, com volumes que variam entre 141,5 mm (Mirante de Santana) e 258,0 mm (Emburá). A climatologia anual apresentou maior média no posto de Emburá (1926,5 mm) e o Observatório IAG apresentou a menor média anual de chuva (1554,8 mm).

Os limiares encontrados nos cálculos com percentil de 95 e 99 entre os anos de 1985 - 2019, mostraram que os maior limiar anual (P95) foi de 28,3 mm no posto de Guaraú, em que se contabilizou 307 eventos de chuvas extremas entre os anos de 2005 – 2019 e o menor limiar foi registrado em Parelheiros (24 mm) conferindo 283 eventos extremos para o mesmo período. O cálculo do percentil mais extremo (P99), indicaram os mesmos postos com maior e menor limiar encontrado, maior limiar 57,2 mm (Guaraú) e o menor limiar foi encontrado 48,4 mm (Parelheiros), contabilizando 69 e 64 eventos extremos, respectivamente. No cálculo dos limiares sazonais (1985-2019), foi observado os maiores limiares na estação de verão, portanto isto pode indicar que essa estação é a que apresenta os maiores volumes de chuvas extremas e maior frequência na ocorrência desses eventos. No cálculo do percentil de 95 o limiar entre os postos variou entre 33,2 mm (Parelheiros) e 42,4 mm (Guaraú e Mirante de Santana), no percentil de 99 o verão teve limiares entre 62,5 mm (Parelheiros) e 75,5 mm

(Guaraú). O inverno apresentou os menores limiares, dito isso pode se dizer que essa estação tem os volumes de chuvas mais baixos durante o ano e uma frequência menor de eventos extremos, entre as estações do ano, com menor limiar de P95 variando entre 10,1 mm (Observatório IAG) e 13,9 mm (Emburá), já o limiar calculado através do P99, apresentou variação entre 31 mm (Mirante de Santana e Observatório IAG) e 37,5 mm (Emburá). A estação de outono foi a segunda estação com maiores limiares, com o posto de Emburá apresentando os maiores limiares 27,2 mm (P95) e 59,3 (P99). A primavera teve seus maiores limiares no posto de Guaraú, com 24,7 mm no cálculo de P95 e 46,6 mm (P99). Os limiares de chuvas extremas mensais também foram apresentados e indicaram tanto para o cálculo de P95 como para P99 que os meses com maiores limiares estão entre dezembro e março, dando destaque ao maior limiar (P99) encontrado no mês de março no posto pluviométrico de Emburá, que apresentou limite de precipitação de 85,5 mm esse alto valor de limiar pode ser explicado pela ocorrência de uma chuva extrema no dia 20/03/2018 onde se registrou 306,2 mm de precipitação, já no cálculo do limiar de P95, o maior limiar foi encontrado no mês de janeiro no posto localizado em Mirante de Santana (44,4 mm). Os meses que apresentaram menores limiares foram maio, junho, julho, agosto e setembro, período que pertencem à estação seca.

As chuvas extremas diárias utilizando limiar de anual (P95), mostram que as chuvas mais frequentes em todos os postos estavam entre os volumes de 30 e 45 mm contabilizando no mínimo 111 eventos (Parelheiros) e o máximo 155 eventos (Guaraú). Os volumes mais extremos foram registrados no posto de Emburá (235 e 306,2 mm).

As frequências sazonais de chuvas extremas mostraram que verão foi a estação que teve frequência de chuva extrema com os maiores volumes (entre 45 e 60 mm) observado em três dos postos pluviométricos, o outono foi a segunda estação que apresentou frequência maior com volumes de chuva entre 30 e 45 mm. O inverno e a primavera tiveram maior frequência de chuva extrema entre os volumes de 15 e 30 mm, com inverno apresentando também uma grande quantidade de eventos entre 0 e 15 mm de chuva.

Os resultados demonstraram que as frequências mensais de chuvas extremas (P95), foram mais intensas nos meses janeiro, fevereiro e dezembro, esses, tiveram maior frequência de eventos extremos com volumes entre 45 e 60 mm. O mês de agosto foi o único mês que apresentou uma frequência maior de extremos com volume entre 0 e 15 mm.

As datas de eventos extremos de precipitação foram selecionadas utilizando o limiar anual de P99 e com a condição de haver no mínimo dois postos pluviométricos apresentando

valores acima desses limiares, os resultados revelaram a ocorrência de 60 eventos extremos de chuva entre 2005 e 2019. A partir disso, investigou-se a ocorrência de frentes frias e ZCAS para estas datas, podendo assim contabilizar qual desses fenômenos meteorológicos teve mais influência sobre a ocorrência das chuvas extremas. Os resultados mostraram que os dois sistemas contribuíram para a formação dessas chuvas, com 35% destas datas associadas às frentes frias e 33,3% associadas ao sistema de ZCAS. Esses resultados corroboram com os estudos de Carvalho et al (2004) e Lima et al (2010) que mostraram a contribuição desses sistemas na ocorrência de chuvas extremas. Os eventos extremos foram mais frequentes no verão (37 eventos), onde houve maior influência da ZCAS (17 episódios) na ocorrência dessas chuvas, o outono apresentou 13 eventos extremos com a atuação de 6 episódios de frentes frias, já no inverno todos os eventos extremos foram associados às frentes frias (6 eventos) e a primavera apresentou 4 eventos extremos com um evento associado à ZCAS e outro associado a uma frente fria.

Ao todo o município de São Paulo registrou 15000 pontos de alagamento no período de 2005-2019. Os pontos de alagamentos representados nos resultados, indicaram maior ocorrência no verão (8429 pontos) entre os anos de 2005 e 2019, estação que também apresentou o maior limiar de chuva extrema, notou-se o mesmo resultado para as outras estações, em que os limiares (P95 e P99) foram proporcionais ao número de alagamentos, com outono sendo a segunda estação com maior quantidade de pontos de alagamento (3096 pontos) e a segunda com maior limiar sazonal (P95 e P99). A primavera registrou 2584 pontos de alagamento e apresentou o terceiro maior limiar sazonal (P95 e P99). O inverno foi a estação que teve menor quantidade de alagamentos no período contabilizando 941 pontos, correspondendo com o menor limiar sazonal (P95 e P99) de chuva extrema sazonal.

O total anual dos pontos de alagamento mostrou maior ocorrência no ano de 2010 (1498 pontos) e menor ocorrência no ano de 2014, com registro de 604 pontos, seguido pelos anos de 2018 (638 pontos) e 2013 (751). Essa quantidade inferior de pontos de alagamento no ano de 2013 e 2014, pode ser explicada pela seca que atingiu a região, segundo Marengo et al. (2015) parte da estação chuvosa do Sudeste do país teve chuvas inferiores à média histórica, a fonte desse baixo índice de chuva foi a atuação de um sistema de alta pressão que persistiu e afetou o transporte de umidade que vem da Amazônia, resultando na falta dos principais sistemas causadores de chuva, como a ZCAS e as frentes frias (MARENGO et al. 2015). Nesses dois anos houve 4 eventos extremos de chuva.

Foi verificado que os distritos com maior ocorrência de alagamentos no período de

2005 - 2019 foram Morumbi (799 pontos), Bom Retiro (657 pontos), Santo Amaro (655 pontos) e Pinheiros (654 pontos). Os alagamentos foram mais concentrados no centro nos distritos da República e Sé e na parte oeste nos distritos do Butantã, Pinheiros, Itaim Bibi e Morumbi.

Os episódios de alagamentos que ocorreram nos 60 dias de eventos de chuva extrema entre 2005 e 2019 no município de São Paulo, foram mais frequentes no centro e no oeste da cidade nos distritos do Bom Retiro (123 pontos), Barra Funda (74 pontos), República (71 pontos), observou-se uma alta densidade de alagamentos na região central do município, como foi verificado no estudo de Coelho e Ferreira (2016), utilizando os mesmo dados (CGE), onde notaram que os pontos de alagamento ocorreram em vias bastante movimentadas, especialmente nas vias marginais aos rios Pinheiros e Tietê, contribuindo para a dificuldade na mobilidade urbana.

A quantidade de alagamentos nos dias de chuva extrema teve maior ocorrência no dia 8 de dezembro de 2009 (123 pontos). Outras datas em que ocorrem um número de alagamentos significativo foram o dia 25 de maio de 2005 (100 pontos), 8 de fevereiro de 2007 (81 pontos), 21 de janeiro de 2010 (110 pontos), 11 de janeiro 2011 (68 pontos), 11 de março de 2016 (93 pontos) 07 de abril de 2017 (66 pontos). Três dessas datas foram associadas às ZCAS e outras três associadas a frente fria. Dos 60 dias em que houve evento extremo, 11 dias não tiveram episódios de alagamento, porém foi observado que em alguns desses dias houve alagamentos na data anterior e posterior ao evento.

Neste trabalho foi verificado os tipos de danos e impactos causados pelas chuvas extremas no município de São Paulo. A quantificação dos danos considerou os 60 dias definidos a partir do P99 em duas os mais postos pluviométricos entre os anos de 2005 - 2019. Os dados de desastres naturais do IPMet e as fontes de jornais via internet, revelaram que as chuvas extremas geraram episódios de inundações, enxurradas, deslizamentos de terra e alagamentos. Esses eventos causaram transtornos e problemas para cidade, os principais danos enfrentados pela população em dias de chuvas extremas no período do estudo, foram congestionamentos e interdições de vias (90 casos), Desabamento/rachadura/danos em imóveis (63 casos) os danos veículos (21 casos) e queda de muro (21 casos) e pessoas afetadas foram contabilizadas em 21 pessoas feridas, 20 pessoas desalojadas, 19 pessoas ilhadas, 15 vítimas fatais, 7 desabrigadas, 6 pessoas arrastadas pelas enxurradas e 1 afogamento dentro de residência.

Os danos ocasionados pelos episódios de alagamentos verificados em notícias de

jornais, foram congestionamento e interdições de vias, pessoas ilhadas, danificação em pavimentação.

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.

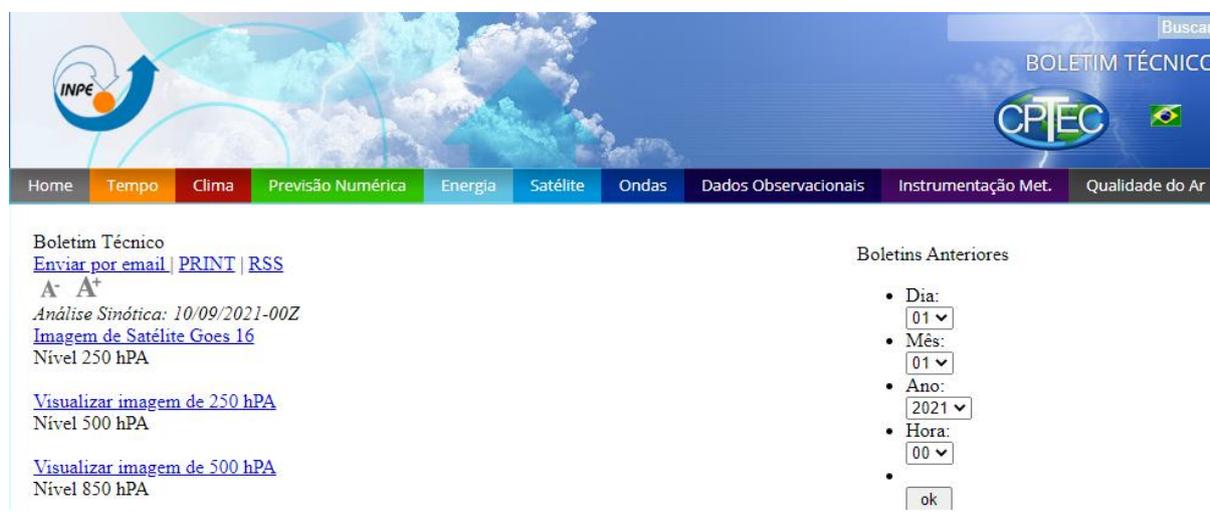
APÊNDICE A – Tabela com os dias de ocorrência de eventos extremos com a precipitação (mm) em cada posto pluviométrico e o número de pontos de alagamento

| Data | Emburá Prec (mm) | Guaraú Prec (mm) | Mirante de Santana Prec (mm) | Observatório IAG Prec (mm) | Parelheiros Prec (mm) | Pontos de alagamento |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---|---|----------------------------------|---------------------------------|
| 12/01/2005 | 43,9 | 37,5 | 48,2 | 74,2 | 56,6 | 6 |
| 25/05/2005 | 15,3 | 127,8 | 140,4 | 136,3 | 123,3 | 100 |
| 04/01/2006 | 42,9 | 75,9 | 91 | 16,2 | 12,8 | 44 |
| 29/03/2006 | 47,3 | 58,7 | 45,4 | 69,6 | 22,4 | 38 |
| 10/07/2006 | 70,4 | 11,7 | 25 | 11,2 | 53,4 | 21 |
| 26/11/2006 | 11,8 | 3,6 | 69 | 52,5 | 45,3 | 15 |
| 05/12/2006 | 1,8 | 68,3 | 58 | 50,8 | 24,3 | 2 |
| 05/01/2007 | 80,9 | 30,5 | 36,7 | 4,8 | 55,2 | 5 |
| 08/02/2007 | 56,5 | 86 | 103,3 | 60,1 | 23 | 71 |
| 09/02/2007 | 25,9 | 72,7 | 30,9 | 36,5 | 77,3 | 2 |
| 17/03/2007 | 0,7 | 73,5 | 76 | 26,3 | 25,8 | 4 |
| 07/12/2007 | 10,3 | 78,8 | 73,4 | 53,3 | 54,5 | 10 |
| 20/12/2007 | 43,1 | 60,4 | 65,7 | 63 | 60,5 | 0 |
| 13/01/2008 | 0,2 | 0 | 61,4 | 46,1 | 78,4 | 4 |
| 15/01/2008 | 0,7 | 64,6 | 65,8 | 1 | 1,6 | 24 |
| 30/01/2008 | 43,1 | 51 | 43 | 56,4 | 60,9 | 0 |
| 03/05/2008 | 0,6 | 63,4 | 56,5 | 35,5 | 33,7 | 2 |
| 26/01/2009 | 0,8 | 82,7 | 71,4 | 20,1 | 4,5 | 53 |
| 18/03/2009 | 40,8 | 0 | 68,4 | 139,4 | 14,9 | 11 |
| 12/07/2009 | 80,3 | 33 | 32,2 | 53,6 | 41,7 | 0 |
| 09/09/2009 | 95,9 | 93 | 78,1 | 84,7 | 60,1 | 6 |
| 08/12/2009 | 37,5 | 86,9 | 99,7 | 7,5 | 74,1 | 123 |

| | | | | | | |
|------------|------|-------|-------|------|------|-----|
| 20/01/2010 | 70 | 21,5 | 19,9 | 31,7 | 66,7 | 1 |
| 21/01/2010 | 66,5 | 49,3 | 44 | 81,7 | 68,4 | 110 |
| 18/02/2010 | 3,5 | 30,3 | 60,8 | 66,7 | 10,4 | 22 |
| 11/01/2011 | 7,3 | 139,4 | 66,6 | 53,9 | 20,3 | 68 |
| 12/01/2011 | 41,3 | 94,2 | 60,3 | 3 | 32,5 | 17 |
| 01/03/2011 | 63,5 | 107,6 | 71,8 | 17,7 | 53,2 | 3 |
| 09/12/2011 | 68,4 | 130,5 | 22,7 | 28,3 | 12,1 | 16 |
| 11/02/2012 | 56,3 | 24,5 | 30,9 | 51,7 | 14,3 | 13 |
| 13/02/2012 | 55,9 | 13,4 | 10 | 68,5 | 78,4 | 10 |
| 06/06/2012 | 24,9 | 79,4 | 35,4 | 52,8 | 27 | 7 |
| 15/12/2012 | 18,7 | 53,5 | 114,3 | 56,4 | 17,6 | 9 |
| 16/12/2012 | 19,4 | 57,5 | 56,4 | 31,9 | 93 | 4 |
| 30/12/2012 | 35,4 | 3,5 | 60,2 | 75 | 31,5 | 6 |
| 23/02/2013 | 0,8 | 61,5 | 18,8 | 28 | 56,1 | 0 |
| 15/02/2014 | 10,2 | 82,5 | 57,4 | 16,6 | 8,8 | 20 |
| 08/03/2014 | 32,9 | 106,3 | 87,1 | 61,6 | 38,9 | 0 |
| 24/12/2014 | 57,6 | 78,5 | 30,8 | 9,7 | 22,8 | 0 |
| 23/01/2015 | 94,2 | 1,4 | 3,6 | 4,8 | 52,5 | 0 |
| 08/03/2015 | 14,3 | 89,4 | 69,2 | 30,1 | 26,6 | 14 |
| 09/09/2015 | 15,4 | 63,9 | 58 | 73,9 | 54,7 | 5 |
| 02/11/2015 | 19,1 | 45,3 | 39,6 | 57,3 | 51,1 | 21 |
| 20/12/2015 | 78,1 | 63,9 | 8,4 | 6,6 | 9,7 | 13 |
| 28/01/2016 | 63 | 43,1 | 35 | 39,3 | 53,6 | 0 |
| 16/02/2016 | 95,4 | 0 | 23,4 | 74,2 | 73,8 | 0 |
| 21/02/2016 | 4,5 | 58,3 | 102 | 39,3 | 7,4 | 22 |
| 11/03/2016 | 14,3 | 101 | 87,2 | 71,6 | 57,9 | 93 |
| 05/06/2016 | 23,1 | 63,8 | 73,4 | 33 | 28,7 | 13 |

| | | | | | | |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|----|
| 12/12/2016 | 57,8 | 4,6 | 14,6 | 12,7 | 54,5 | 25 |
| 07/04/2017 | 11,5 | 66,2 | 82,1 | 96,1 | 44,6 | 66 |
| 22/05/2017 | 14,2 | 56,9 | 56 | 52,7 | 42,1 | 7 |
| 06/06/2017 | 7,4 | 51,5 | 58,8 | 52 | 57,1 | 42 |
| 01/12/2018 | 0,9 | 91,8 | 76,6 | 67,9 | 44,3 | 42 |
| 05/01/2019 | 0,9 | 16,4 | 25,6 | 83,9 | 83,6 | 0 |
| 04/02/2019 | 20,8 | 67,5 | 57 | 69,1 | 190,3 | 39 |
| 16/02/2019 | 0,4 | 34,2 | 39,2 | 62,7 | 75,2 | 38 |
| 11/03/2019 | 40,8 | 21,2 | 37,2 | 155,2 | 105 | 0 |
| 09/04/2019 | 10,8 | 69,5 | 55,8 | 35,4 | 31,4 | 12 |
| 05/07/2019 | 3,2 | 129,1 | 123,6 | 91 | 75,2 | 25 |

ANEXO A – Imagens dos boletins e utilizados para identificar os sistemas meteorológicos



Boletim Técnico
[Enviar por email](#) | [PRINT](#) | [RSS](#)
 A- A+
 Análise Sinótica: 10/09/2021-00Z
[Imagem de Satélite Goes 16](#)
 Nível 250 hPA
[Visualizar imagem de 250 hPA](#)
 Nível 500 hPA
[Visualizar imagem de 500 hPA](#)
 Nível 850 hPA

Boletins Anteriores

- Dia:
- Mês:
- Ano:
- Hora:
-

| CASOS SIGNIFICATIVOS DO MÊS DE JANEIRO DE 2019 | | | | | |
|--|-------------|--|---------------|--|-------|
| FENÔMENO | DATA | CAUSA | REGIÃO ESTADO | IMPACTO | AVISO |
| Chuva forte | 05 | Frente fria no oceano, convergência em baixos níveis e divergência em altitude | PR | Ao menos dois deslizamentos de terra foram registrados após as chuvas que atingiram Londrina no sábado (5). Fonte:www.bonde.com.br | EA |
| Chuva forte | 06 | VCAN | Nordeste | Choveu em pelo menos 33 municípios cearenses das 7h do sábado (5) até às 7h do domingo (6), segundo dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme). No município de Iracema, na região do Jaguaribe, foi registrada a maior chuva, com 126 milímetros. Seguido por Pedra Branca e Mombaça, que registraram 86 e 52 mm, respectivamente. | - |
| Chuva forte | 05, 06 e 07 | Divergência em altitude (VCAN e AB) e termodinâmica | SP | A chuva que atinge São Paulo na noite deste domingo (6) deixou toda a cidade em estado de atenção para alagamento. Fonte:g1.globo.com; Pelo menos dez cidades do interior de São Paulo pediram apoio à Defesa Civil estadual, depois de serem atingidas por chuvas intensas, entre sábado, 5, e a madrugada desta segunda-feira, 7. As enchentes destruíram três pontes, um aterro e deixaram bairros isolados. Estradas rurais e rodovias | EA |

INFOCLIMA

BOLETIM DE INFORMAÇÕES CLIMÁTICAS DO INPE/CPTEC

Ano 25

26 de junho de 2018

Número 06

Elaboração: Anna Bárbara Coutinho de Melo, Raffi Agop Sismanoglu
Revisão Científica: Paulo Nobre, Marcelo Seluchi

OUTONO TERMINA COM CHUVAS ABAIXO DA MÉDIA NA MAIOR PARTE DO BRASIL

Apesar da ocorrência de chuvas acima da média em algumas áreas do centro-norte do País, os meses de outono foram marcados por predominância de déficit pluviométrico nas Regiões Norte, Nordeste e Sul do Brasil. Ressalta-se a passagem de um pulso de variabilidade intrassazonal, desfavorável à ocorrência de chuvas sobre a América do Sul, entre o final de maio e início de junho corrente.

SUMÁRIO

Maio apresentou ocorrência de chuvas abaixo da média histórica na maior parte do Brasil. Dentre os principais mecanismos responsáveis pela redução das precipitações, destacaram-se o escoamento anticiclônico anômalo em baixos níveis da atmosfera, que se estendeu sobre o interior do País, e a passagem de um pulso de variabilidade intrassazonal. Este



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SÍNTESE SINÓTICA JANEIRO DE 2015

Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar
Grupo de Previsão de Tempo
CPTEC/INPE

ANEXO B – Imagens das fontes de dados de alagamentos e danos causados pelas chuvas extremas



Alagamentos

Não há registros de alagamentos para essa data.

01/01/2005

 Transitáveis = 0 pts

 Intransitáveis = 0 pts

} Ativos

Banco de Dados de Desastres Naturais

SIMPAT - SINAL - SOS / FINEP / IPMET

Sistema Integrado de Monitoramento, Previsão e Alerta de Tempestades para as Regiões Sul-Sudeste do Brasil

Data Início:

Data Fim:

Evento*:

Dano:

Estado:

Cidade:

* Evento informado pela fonte, sem análise de um meteorologista.



ASSINE A FOLHA
ATENDIMENTO

FOLHA DE S.PAULO

Site OK

★ ★ ★ UM JORNAL A SERVIÇO DO BRASIL

DOMINGO, 12 DE SETEMBRO DE 2021 09H39

Opinião - Política - Mundo - Economia - Cotidiano - Esporte - Cultura - F5 - Tec - Classificados - Blogs - +SEÇÕES -

ÚLTIMAS NOTÍCIAS

EN ES

cotidiano

AA Maior | Menor Enviar por e-mail Comunicar erros Link [Twitter](#) [Facebook](#) [RSS](#) [+](#)

Siga a Folha de S.Paulo no Twitter [Seguir](#)

12/01/2005 - 08h33

Chuva passa, mas SP ainda registra um ponto de alagamento

da Folha Online

São Paulo ainda registra um ponto de alagamento em consequência da forte chuva que atingiu a cidade na tarde de terça-feira. Ele está na avenida do Estado, sob o viaduto Fepasa, no sentido Santana.

Segundo o CGE (Centro de Gerenciamento de Emergências), o local é transitável.

[envie sua notícia](#)

Folha de S.Paulo no [G+](#)

MENU

G1

SÃO PAULO

28/01/2016 09h17 - Atualizado em 28/01/2016 09h17

SP recebe 16% da chuva esperada para janeiro na tarde de quarta-feira

Foi o dia mais chuvoso do ano, em que foram registrados 43,3mm de chuva. Não há previsão para novo temporal nesta quinta-feira (28).

Do G1 São Paulo

[FACEBOOK](#)

