

Universidade Brasil  
Campus de São Paulo

DIÉSSICA TALISSA BURDO TIMÓTEO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS ALAGAMENTOS  
DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO  
TEMPORAL AND SPATIAL CHARACTERIZATION OF THE FLOODS OF THE  
MUNICIPALITY OF SÃO PAULO

São Paulo, SP  
2020

Diéssica Talissa Burdo Timóteo da Silva

CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS ALAGAMENTOS DO  
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO EM 2018

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

São Paulo, SP

2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

S578c Silva, Diessica Talissa Burdo Timoteo da.  
Caracterização temporal e espacial dos alagamentos do município de São Paulo/ Diessica Talissa Burdo Timoteo da Silva. São Paulo – SP: [s.n.], 2020.  
55 p.: il.; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela.

1.Resiliência climática. 2.Planejamento urbano.  
3.Precipitação. 4.Mudanças climáticas. I.Título.

CDD 363.3493098



## TERMO DE APROVAÇÃO

**DIESSICA TALISSA BURDO TIMOTEO DA SILVA**

### **“CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS ALAGAMENTOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO EM 2018”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

Prof(a). Dr(a) Luiz Sergio Vanzela (Presidente)

Prof(a). Dr(a). Juliana Heloisa Piné Américo Pinheiro (Universidade

Brasil)

Prof(a). Dr(a). Marcelo Jacomini Moreira da Silva (FAMA)

Fernandópolis, 30 de setembro de 2020.



### Termo de Autorização

#### Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: "CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS ALAGAMENTOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO EM 2018"

Autor(es):

Discente: Diessica Talissa Burdo Timoteo da Silva

Assinatura: DIÉSSICA BURDO

Orientador: Luiz Sergio Vanzela

Assinatura: Luiz Sergio Vanzela

Data: 30/setembro/2020

## DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais, Denair e Genilson por todos os conselhos e por nunca me deixarem desistir, que sempre me incentivaram ao estudo, já que para eles é a melhor herança que os pais podem deixar aos seus filhos.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e pelas bênçãos concebidas nesta jornada.

Aos meus pais, Denair e Genilson, por serem meu combustível diário para vencer todos os dias, pelo apoio e amor em todos os momentos de minha vida. Ao meu irmão Diego e sua esposa Driélle por serem meus pilares de sustentação desde o início deste mestrado e de uma nova jornada. Ao meu irmão Diógenes e sua esposa Juliana por todo o incentivo e companheirismo. Ao meu sobrinho Vinícius por ter o poder de recarregar todas as minhas energias com um simples sorriso.

Ao meu grande orientador, Professor Dr. Luiz Sérgio Vanzela, pelo incentivo para entrada no programa e por todas as oportunidades. Agradeço à sua colaboração e atenção, por todos os ensinamentos desde o meu TCC, pelo apreço na condução da orientação e pela competência na coordenação do programa.

Aos professores e colegas de turma pelas contribuições ao longo da formação.

À todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram e auxiliaram para o desenvolvimento desta pesquisa.

## CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS ALAGAMENTOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

### RESUMO

Com o crescimento populacional simultâneo a expansão urbana, as zonas naturais e rurais foram ocupadas pelo ambiente urbano, surgindo diversos problemas decorrentes da interação da cidade com o ambiente, com destaque para os desastres naturais. Dentre os desastres naturais, os alagamentos são um dos que mais causam impactos ambientais, econômicos e sociais. Por isso, o objetivo neste trabalho foi realizar a caracterização espacial e temporal dos alagamentos no município de São Paulo – SP, durante o ano de 2018, e identificar os fatores de suscetibilidade das bacias hidrográficas aos alagamentos. Para isso, a metodologia do estudo foi desenvolvida de três formas: (a) avaliação da distribuição temporal dos alagamentos, (b) avaliação da distribuição espacial dos alagamentos e (c) identificação de características físicas e fisiográficas relacionadas com a maior ocorrência de alagamentos. A distribuição temporal foi avaliada pela análise da distribuição de frequências relativas da ocorrência de alagamentos ao longo do ano e a distribuição espacial foi realizada a partir do número absoluto de alagamentos por Subprefeitura e curso d'água do município de São Paulo. Foram observados 264 alagamentos, sendo a maior ocorrência no período de maior pluviosidade, compreendendo os meses de janeiro a março e de novembro a dezembro e as subprefeituras da Sé, Lapa, Pinheiros e Santo Amaro. Concluiu-se que bacias hidrográficas sujeitas a precipitações mensais acima de 100 mm, com coeficiente de compactidade acima de 1,70, este índice não se aplica a alagamentos como pode ser aplicado a enchentes, pois é imprescindível que não seja avaliado cada fator de forma individualizada e sim em um conjunto que associados irão influenciar na suscetibilidade de cada bacia, desnível geométrico total acima de 160 m e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) médio inferior a 0,20, possuem alta suscetibilidade a alagamentos.

**Palavras-chave:** Resiliência climática. Planejamento urbano. Precipitação. Mudanças climáticas.

## TEMPORAL AND SPATIAL CHARACTERIZATION OF THE FLOODS OF THE MUNICIPALITY OF SÃO PAULO

### ABSTRACT

With the simultaneous population growth and urban expansion, natural and rural areas were occupied by the urban environment, with several problems arising from the interaction of the city with the environment, especially natural disasters. Among the natural disasters, flooding is one of the most common causes of environmental, economic and social impacts. Therefore, the objective of this work was to carry out the spatial and temporal characterization of flooding in the municipality of São Paulo - SP, during 2018, and to identify the factors of susceptibility of watersheds to flooding. For this, the study methodology was developed in three ways: (a) evaluation of the temporal distribution of the floodings, (b) evaluation of the spatial distribution of the floodings and (c) identification of physical and physiographic characteristics related to the highest occurrence of flooding. The temporal distribution was evaluated by the analysis of the relative frequency distribution of the occurrence of flooding throughout the year and the spatial distribution was carried out from the absolute number of floodings per subprefecture and water course in the municipality of São Paulo. A total of 264 floodings were observed, the highest occurrence in the period of greatest rainfall, comprising the months of January to March and November to December and the subprefectures of the Se, Lapa, Pinheiros and Santo Amaro. It was concluded that watersheds subject to monthly rainfall above 100 mm, with a compacity coefficient above 1.70, this index does not apply to flooding as it can be applied to floods, because it is essential that each factor is not evaluated individually but in a set that associated will influence the susceptibility of each basin, total geometric gradient above 160 m and average normalized difference vegetation index (NDVI) below 0.20, have high susceptibility to flooding.

**Keywords:** Climatic resilience. Urban planning. Precipitation. Climatic changes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Percentual de afetados por desastres naturais no Brasil, por tipo de evento, entre 1991 e 2012 (BRASIL, 2013).....	20
Figura 2. Esquema ilustrativo do ambiente rural, em que ET é a evapotranspiração, Ev é a evaporação e Rs é a radiação solar. ....	22
Figura 3. Esquema ilustrativo do ambiente rural, em que Rs é a radiação solar.....	23
Figura 4. Localização do Estado de São Paulo (A) e do Município de São Paulo Capital (B).....	29
Figura 5. Subprefeituras (a) e bacias hidrográficas (b) que abrangem o município de São Paulo. ....	30
Figura 6. Distribuição da precipitação média mensal no município de São Paulo. Fonte: Elaborado a partir de dados de 1996 a 2014 do CIIAGRO (2020). ....	31
Figura 7. Localização das estações meteorológicas utilizadas na compilação da precipitação mensal em 2018. ....	33
Figura 8. União espacial entre a localização dos alagamentos e os limites das subprefeituras e a hidrográfica drenagem. ....	34
Figura 9. União espacial entre a localização dos alagamentos e os limites das bacias hidrográficas do município de São Paulo. ....	35
Figura 10. Camada das isolinhas altimétricas (a) utilizadas na geração do modelo digital do terreno e o modelo digital de declividades (b). ....	36
Figura 11. Imagem NDVli do município de São Paulo em 30 de agosto de 2018.....	37
Figura 12. Distribuição da precipitação mensal em 2018 no município de São Paulo (expresso em milímetros), obtida da média das estações meteorológicas do Mirante de Santa e Interlagos.....	39
Figura 13. Distribuição percentual dos alagamentos ao longo do ano de 2018 em São Paulo - SP. ....	40
Figura 14. Resposta da frequência mensal de alagamentos em função da precipitação mensal.....	41
Figura 15. Distribuição espacial dos alagamentos do ano de 2018 nas Subprefeituras de São Paulo – SP, sendo 01-Perus, 02-Pirituba, 03-Freguesia/Brasilândia, 04-Casa Verde/Cachoeirinha, 05-Santana/Tucuruvi, 06-Jaçanã/Tremembé, 07-Vila Maria/ Vila Guilherme, 08-Lapa, 09-Sé, 10-Butantã, 11-Pinheiros, 12-	

Vila Mariana, 13-Ipiranga, 14-Santo Amaro, 15-Jabaquara, 16-Cidade Ademar, 17-Campo Limpo, 18-M'boi Mirim, 19-Capela do Socorro, 20-Parelheiros, 21-Penha, 22-Ermelino Matarazzo, 23-São Miguel, 24-Itaim Paulista, 25-Mooca, 26-Aricanduva/Formosa/Carrão, 27-Itaquera, 28-Guaianases, 29-Vila Prudente, 30-São Mateus, 31-Cidade Tiradentes e 32-Sapopemba. ....42

Figura 16. Distribuição espacial dos alagamentos do ano de 2018 nos cursos d'água de São Paulo - SP. ....43

Figura 17. Comparação entre as médias de coeficiente de compacidade -  $K_c$  (a), densidade de drenagem -  $D_d$  (b), desnível geométrico total -  $\Delta H$  (c), declividade -  $D$  (d) e índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI das bacias hidrográficas sem ocorrência de alagamentos (SOA), com 1 a 4 alagamentos (14A) e com 5 ou mais alagamentos (M5A) em 2018. ....45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Municípios brasileiros com mais de 1 milhão de habitantes (a) e com mais de 500 mil habitantes, exceto capitais (b).....	19
Tabela 2. Conceitos de eventos hidrometeorológicos causadores de desastres naturais no Brasil.....	27
Tabela 3. Equações/metodologias empregadas na determinação de características físicas fisiográficas das bacias hidrográficas do município de São Paulo. .	35
Tabela 4. Característica das imagens do Sentinel 2A para resolução de 10 metros.	37

## SIGLAS E ABREVIATURAS

**14A** - 1 a 4 Alagamentos

**ANA** - Agencia Nacional de Águas

**BNDES** - Banco Nacional do Desenvolvimento

**CEMADEN** - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

**COBRADE** - Sistema de Codificação Brasileira de Desastres

**Dd** - Densidade de Drenagem

**Dec** - Declividade Média

**ET** - Evotranspiração

**EV** - Evaporação

**FA** - Frequência de Alagamentos

**GEOSAMPA** - Sistema de Consultoria do Mapa Digital da Cidade de São Paulo

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia

**Kc** - Coeficiente de Compacidade

**M5A** - 5 ou Mais Alagamentos

**MDC** - Mapa Digital da Cidade

**NDVI** - índice de vegetação por diferença normalizada

**PMAT** - Programa de Modernização da Administração Tributária

**Re** - Resolução Espacial

**Rr** - resolução Radiométrica

**RS** - Radiação Solar

**Rt** - Resolução Temporal

**SIG-SP** - Sistema de Informação Geográficas do Município de São Paulo

**SOA** - Sem Ocorrência de Alagamentos

**$\Delta H$**  - Amplitude Altimétrica

$\lambda_c$  - Comprimento de onda central da banda

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVOS .....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
3.1. Desastres naturais.....	18
3.2. Ambiente urbano .....	21
3.3. Desastres naturais por eventos hidrometeorológicos.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	29
4.1. Localização e caracterização da área de estudo .....	29
4.2. Caracterização dos alagamentos .....	31
4.2.1. Distribuição temporal.....	31
4.2.2. Distribuição espacial.....	33
4.2.3. Relação com as características das bacias hidrográficas .....	34
4.3. Metodologia estatística.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1. Precipitação.....	39
5.1. Distribuição temporal dos alagamentos.....	40
5.2. Distribuição espacial dos alagamentos .....	42
5.3. Relação com as características das bacias.....	45
6. CONCLUSÕES .....	48
7. REFERÊNCIAS .....	49

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil e o mundo vêm sofrendo impactos por desastres naturais, causando enormes perdas humanas e materiais, que com o grande aumento de episódios torna-se um assunto de preocupação global. Com o avanço do crescimento populacional nas áreas urbanas e suas demandas, cidades de todo o Brasil e, principalmente capitais como a cidade de São Paulo, tornam-se vulneráveis a grande diversidade de desastres naturais. As consequências são os impactos socioambientais que se constituem em problemas desafiadores para a gestão pública e organização do território, devido a forma com a qual foi ocupada, afetando assim milhares de pessoas, além disso, esse crescimento populacional segundo Vasconcelos et al (2020), resulta em alterações nos recursos hídricos tanto para a qualidade quanto para a quantidade.

O processo de urbanização atingiu, no final do século XX e início do XXI, índices bastante elevados, resultando que na atualidade a população do planeta é, majoritariamente, urbana. Esta condição engendra uma série de novos e complexos problemas para a compreensão e gestão do espaço e da sociedade urbana, sendo que aqueles de ordem socioambiental encontram-se destacados no contexto das cidades, particularmente daquelas de países em condições socioeconômicas de alta complexidade, como é o caso do Brasil (MENDONÇA, 2004).

O processo de urbanização apresenta grande interferência nos ciclos naturais hidrológicos alterando ocorrências, intensidades e localização dos processos de precipitação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial. O aumento das áreas impermeáveis em ambientes urbanos reduz drasticamente esses processos, conduzindo ao aumento do escoamento superficial e redução do tempo de concentração das bacias (BARBOSA, 2006).

A análise dos cenários urbanos brasileiros revela a forma desordenada de apropriação, norteados pela ausência de planejamento que considere o disciplinamento do uso e ocupação do solo como prerrogativa básica de seu ordenamento. Essa desordenação traz como consequência, níveis abusivos de degradação ambiental evidentes no cotidiano urbano (OLIVEIRA, 1998).

Dentre as inúmeras possibilidades de desastres naturais que afetam o país, destaca-se inundações e movimentos de massa. De acordo com o Atlas Brasileiro

de Desastres Naturais (2011), 50% das ocorrências entre 1991 e 2010 corresponderam a inundações graduais (enchentes) e bruscas (enxurradas). São muitas as variáveis antrópicas e naturais que contribuem para episódios de inundações e enchentes na cidade.

Todos os problemas decorrentes do ambiente urbano devem ser solucionados por gestão ambiental municipal eficiente, a partir do diagnóstico de problemas e, posterior propostas de soluções.

No que se refere aos desastres naturais provocados por eventos hidrometeorológicos, um diagnóstico importante é a caracterização dos eventos que resultem em desastres naturais, dentre os quais as precipitações e inundações.

As enchentes e inundações são fenômenos naturais eventualmente ocorridos numa bacia hidrográfica, em decorrência do escoamento proveniente de intensos eventos de precipitação. As inundações ocorrem quando a água do rio, localizado na calha principal, sofre transbordo ocupando as planícies marginais. Nessas condições, quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, a maior parte do volume de água escoar para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento, ocupando as áreas de várzea com o transbordo do curso do rio (TUCCI; BERTONI, 2003).

Outro problema decorrente do escoamento superficial são os alagamentos, que segundo Gomes et al. (2015), se refere ao acúmulo momentâneo da água em determinados locais por deficiência do sistema de drenagem. Segundo Carneiro et al (2020), é difícil estimar os danos causados e o número de pessoas afetadas pelas inundações, incluindo por exemplo, interrupções no trânsito, comércios na via ou próximos a áreas inundadas por se tornarem inacessíveis. Para Carbone et al (2020) a tomada de decisões para as regiões metropolitanas devem partir em conjunto e não de forma isolada, já que os problemas ambientais e recursos não se limitam a unidades administrativas. Ainda para Ogashawara et al (2014), no que diz respeito ao planejamento e análise ambiental o estudo desta região geográfica específica é uma tarefa crítica e se apresenta como um campo aberto para novas experimentações, realçando estudos climatológicos.

Portanto, é imprescindível o desenvolvimento de estudos e pesquisas relacionadas ao monitoramento e caracterização das precipitações e alagamentos, como contribuição para o planejamento e gestão em áreas urbanas de grande porte.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo neste trabalho foi a caracterização espacial e temporal dos alagamentos no município de São Paulo – SP durante o ano de 2018 e identificação dos fatores de suscetibilidade das bacias hidrográficas aos alagamentos.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Desastres naturais

Segundo a Defesa Civil (2012), desastre natural é definido como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

Em áreas não habitadas, por exemplo, as inundações são apenas processos físicos, porém, quando os fenômenos naturais atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem e causam danos passam a se chamar desastres naturais. Alguns tipos de inundação não representam um fenômeno natural, como nas situações de colapso de barragens. Dentre os principais fatores responsáveis pelo aumento das incidências dos desastres naturais em todo o mundo estão, o crescimento populacional, o crescimento das favelas e bolsões de pobreza, a ocupação das áreas de risco, a ocupação da zona costeira e as mudanças climáticas globais (CEMADEN, 2012).

Portanto, um evento normalmente natural tem potencial para um desastre natural especialmente nos centros urbanos e, qual maior a concentração urbana associada a má gestão e planejamento, maior tende ser os impactos desses eventos.

A partir de dados do IBGE (2019), estima-se que o Brasil tenha 210,1 milhões de habitantes, sendo que pouco mais da metade da população brasileira (57,4% ou 120,7 milhões de habitantes) está concentrada em apenas 5,8% dos municípios (324 municípios), que são aqueles com mais de 100 mil habitantes. Em 2015, 84,74% da população brasileira vivia em áreas urbanas (IBGE, 2015).

Embora os desastres naturais possam afetar centros urbanos de diferentes dimensões, as grandes cidades tendem a ser as de maior recorrência. No Brasil existe 17 municípios com mais de 1 milhão de habitantes e 25 municípios com mais de 500 mil habitantes (IBGE, 2019), ou seja, com significativo potencial de ocorrência de desastres naturais (Tabela 1).

Tabela 1. Municípios brasileiros com mais de 1 milhão de habitantes (a) e com mais de 500 mil habitantes, exceto capitais (b).

(a)			
Ordem	UF	Município	População
1º	SP	São Paulo	12.252.023
2º	RJ	Rio de Janeiro	6.718.903
3º	DF	Brasília	3.015.268
4º	BA	Salvador	2.872.347
5º	CE	Fortaleza	2.669.342
6º	MG	Belo Horizonte	2.512.070
7º	AM	Manaus	2.182.763
8º	PR	Curitiba	1.933.105
9º	PE	Recife	1.645.727
10º	GO	Goiânia	1.516.113
11º	PA	Belém	1.492.745
12º	RS	Porto Alegre	1.483.771
13º	SP	Guarulhos	1.379.182
14º	SP	Campinas	1.204.073
15º	MA	São Luís	1.101.884
16º	RJ	São Gonçalo	1.084.839
17º	AL	Maceió	1.018.948
Total			46.083.103 (21,9% do Brasil)
(b)			
Ordem	UF	Município	População
1º	SP	Guarulhos	1.379.182
2º	SP	Campinas	1.204.073
3º	RJ	São Gonçalo	1.084.839
4º	RJ	Duque de Caxias	919.596
5º	SP	São Bernardo do Campo	838.936
6º	RJ	Nova Iguaçu	821.128
7º	SP	São José dos Campos	721.944
8º	SP	Santo André	718.773
9º	SP	Ribeirão Preto	703.293
10º	PE	Jaboatão dos Guararapes	702.298
11º	SP	Osasco	698.418
12º	MG	Uberlândia	691.305
13º	SP	Sorocaba	679.378
14º	MG	Contagem	663.855
15º	BA	Feira de Santana	614.872
16º	SC	Joinville	590.466
17º	GO	Aparecida de Goiânia	578.179
18º	PR	Londrina	569.733
19º	MG	Juiz de Fora	568.873
20º	PA	Ananindeua	530.598
21º	ES	Serra	517.510
22º	RJ	Niterói	513.584
23º	RJ	Belford Roxo	510.906
24º	RS	Caxias do Sul	510.906
25º	RJ	Campos dos Goytacazes	507.548
Total			17.840.193 (8,5% do Brasil)

Fonte: IBGE (2019).

De acordo com Brasil (2013), de 1991 a 2012, os desastres naturais afetaram um total de 126.926.656 de brasileiros, dos quais o maior percentual foi devido a

seca/estiagem (51,31%), seguido de enxurrada (20,66%) e inundação (12,04%) (Figura 1).

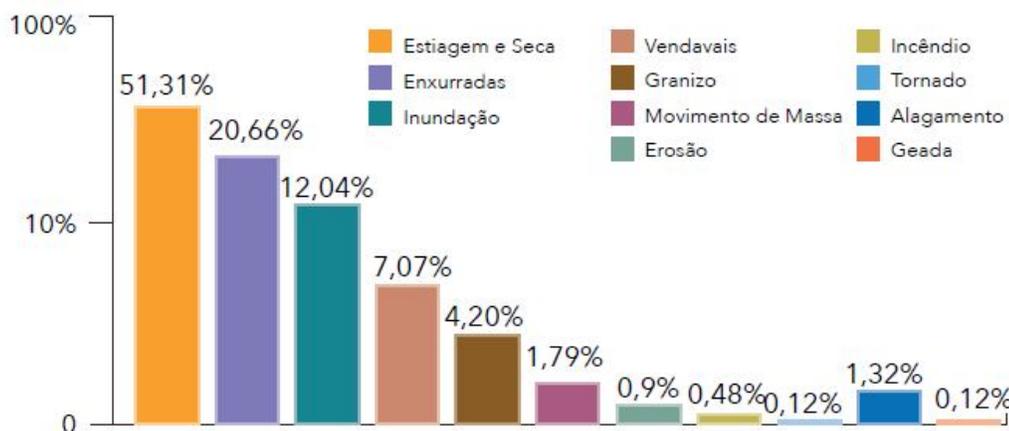


Figura 1. Percentual de afetados por desastres naturais no Brasil, por tipo de evento, entre 1991 e 2012 (BRASIL, 2013).

O total de mortes no Brasil de 1991 a 2012 por desastres naturais foi de 3.448 habitantes, sendo a maior parte ocasionada por eventos relacionados as chuvas, como enxurradas (58,15%), movimentos de massa (15,60%) e inundações (13,40). Um significativo percentual foi devido a estiagem (7,57%) e os demais (5,28%) são devido a vendavais, alagamento, erosão, incêndio, granizo e tornado (BRASIL, 2013).

Frente ao cenário de baixa vulnerabilidade e a mudança do clima como fator do aumento dos riscos de desastres, o Adapta Clima (2020) recomenda as seguintes medidas de adaptação e iniciativas de gestão de risco de desastre:

- a) Planejamento urbano e de grandes infraestruturas que leve em conta os cenários climáticos futuros;
  - b) Utilização de medidas de Adaptação baseadas em Ecossistemas para áreas de gestão de riscos de desastres;
  - c) Obras de infraestrutura para evitar ou reduzir inundações;
  - d) Manejo sustentável do uso da água e do solo, e desenvolvimento e implementação de novas tecnologias (captação de água, manutenção de água no solo, controle de pragas, entre outros) para evitar ou reduzir o risco de secas;
- Financiamento de projetos sustentáveis e mecanismos de seguros ou de transferência de riscos;
- e) Consolidação de um sistema de alerta precoce de desastres naturais;

- f) Desenvolvimento econômico e social com o objetivo de diminuir a vulnerabilidade das populações;
- g) Monitoramento do clima e de eventos extremos e fornecimento de previsões meteorológicas e climáticas de qualidade;
- h) Monitoramento de variáveis precursoras de desastres naturais e previsão do risco de desastres;
- i) Incentivo a pesquisas focadas na compreensão do risco aos desastres e diminuição das incertezas a fim de identificar hotspots de vulnerabilidade que são determinantes para a ocorrência de desastres.

### **3.2 Ambiente urbano**

As cidades estão em processos contínuos de construção, influenciadas por desordens em torno do uso e da ocupação do solo urbano, conflitos socioambientais, injustiças e exclusões. Se por um lado existem interesses, pressões e disputas da população quanto ao uso e apropriação do solo e dos recursos disponíveis, paralelamente pode viver em duas situações: baixos padrões de vida, conflitos e ocupações em áreas vulneráveis ou em altos padrões de vida e desperdícios no consumo. Representando assim diversos desejos e interesses em um único ambiente, as políticas ambientais surgem decorrentes das pressões e tensões pelo meio existente entre a sociedade e os gestores públicos (COSTA; BRAGA, 2002).

Segundo Nucci (2008), desde a década de 70 as propostas de planejamento urbano para o Município de São Paulo colocam o adensamento como resposta às demandas sociais. O adensamento proposto, que significa uma intensificação do uso e da ocupação do solo, aparece vinculado à disponibilidade de infraestrutura e às condições do meio físico. Então, a área que se apresentasse com uma infraestrutura subutilizada e sem impedimentos do meio físico seria considerada como passível de adensamento, entendendo-se como infraestrutura as redes de água, luz, esgoto, telefone e gás encanado. O diagnóstico e o prognóstico realizados em escalas espaciais menores do que 1:50.000 foi um procedimento escolhido na elaboração das propostas de planos diretores que deveriam conter, em um primeiro momento, diretrizes gerais, e que os problemas específicos deveriam ser posteriormente analisados em uma escala local. Constatou-se, também, que não se

encontram normas, critérios e padrões suficientes para se assegurar um meio ambiente humanizado, sadio e ecologicamente equilibrado, como propõe, por exemplo, a Lei Orgânica do MSP de 1991, e que, portanto, os impedimentos do meio físico, ou ambiental, não são considerados no momento das decisões.

Neste ambiente urbano antrópico repleto de variáveis e inter-relações sociais e econômicas que definem o perfil de desenvolvimento, ainda possui a relação com ambiente natural. Desenvolvidas sobre as bacias hidrográficas, na interface com o solo, água e atmosfera, interfere diretamente nos ciclos e processos naturais (Figura 2).

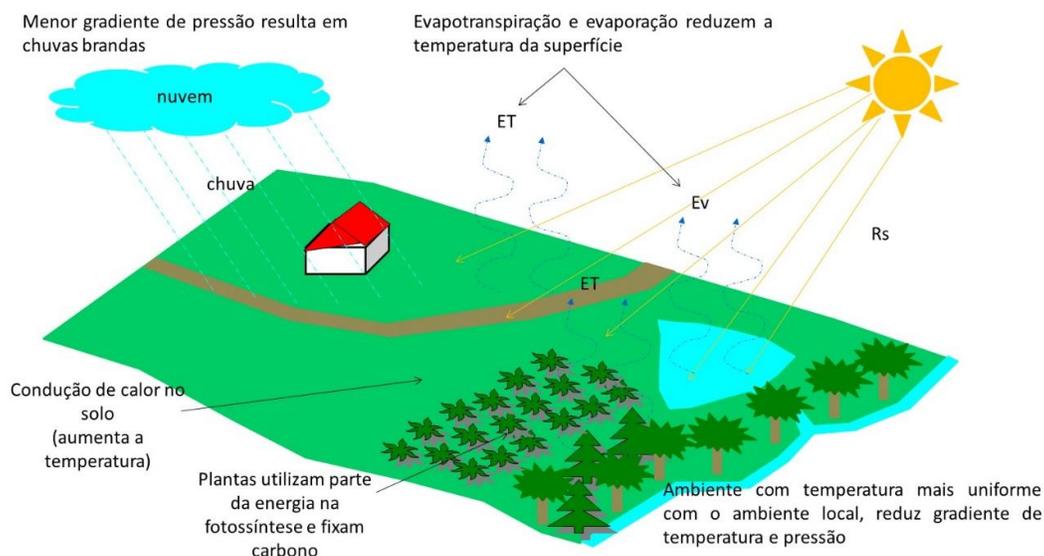


Figura 2. Esquema ilustrativo do ambiente rural, em que ET é a evapotranspiração, Ev é a evaporação e Rs é a radiação solar.  
Fonte: Autoria Própria (2020).

Na sequência normal de antropização, o ambiente natural é ocupado pelo rural e, em seguida, pelo urbano. Mas mesmo no ambiente rural, a maior parte do solo é coberta por vegetação cultivada ou nativa (Figura 2) permitindo que significativo percentual da radiação solar seja utilizado para fotossíntese e o ambiente seja resfriado pela evapotranspiração das plantas. Isso reduz o gradiente de temperatura da superfície e o de pressão atmosférica, proporcionando eventos meteorológicos mais brandos. Também permite maior infiltração da água das precipitações reduzindo as ondas de cheias e a possibilidade de inundações.

Com a urbanização intensa (Figura 3), temos o aumento dos materiais de construção civil que fazem com que ocorra o aumento e redução mais rapidamente da temperatura com menos energia da radiação solar. Isso provoca maior gradiente

de temperatura da superfície entre o ambiente urbano e o rural no seu entorno, resultando em maior gradiente de pressão atmosférica e eventos meteorológicos mais intensos. Nas precipitações, pouca água infiltra no solo e a maior parcela escoar diretamente pela superfície ocasionando maiores ondas de cheias e inundações.

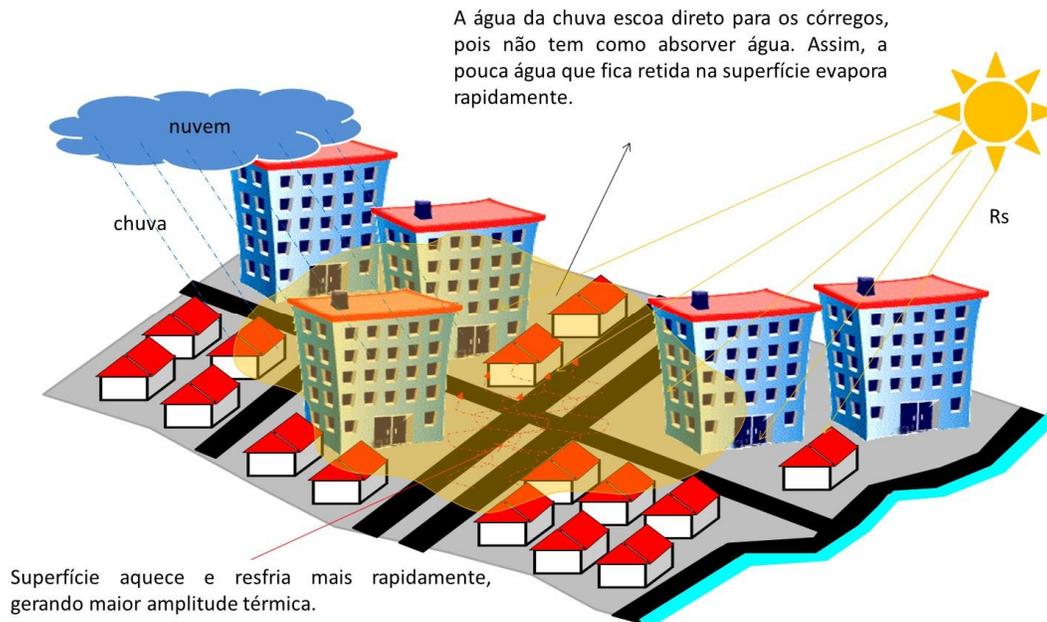


Figura 3. Esquema ilustrativo do ambiente rural, em que  $R_s$  é a radiação solar.  
Fonte: Autoria Própria (2020).

Segundo Wright et al. (2012), a compactação dos solos em áreas urbanas resulta em menores taxas de infiltração de água e menor volume de estoque no solo em relação aos solos naturais. Além disso, a retificação de canais, superfícies impermeáveis e a elaboração de redes de drenagem tendem a diminuir o tempo de resposta hidrológica das bacias urbanas e reduzir a infiltração levando a maiores picos de enchente. Estes processos alteram significativamente os regimes de escoamento nas bacias hidrográficas.

Segundo Tucci e Mendes (2006), com o processo de urbanização surgem impactos como:

- O aumento das vazões máximas em até 7 vezes e da sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento pelos condutos e canais e impermeabilização das superfícies;

- A deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial;
- Devido à forma desorganizada como a infraestrutura urbana é implantada, tais como: pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento, redução de seção do escoamento por aterros de pontes e para construções em geral, deposição de obstrução de rios, canais e condutos por resíduos sólidos e sedimentos, projetos e obras de drenagem inadequadas, como diâmetros que diminuem para jusante, drenagem ineficiente, entre outros.

Um fator que potencializa ainda mais os impactos no ciclo hidrológico do ambiente urbano são as ocupações irregulares, que aumentam a frequência e magnitude das enchentes devido à impermeabilização do solo e à construção da rede de condutos pluviais não planejados, o que produz acréscimo na velocidade de escoamento, bem como diminuição dos tempos de concentração e de recessão. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas, intervenções ao escoamento junto a condutos e assoreamento (TUCCI; BERTONI; 2003; TUCCI; MENDES, 2006).

Outros problemas secundários como o déficit de saneamento básico e de conservação do solo, associados as enchentes, aumentam os impactos negativos. De acordo com Santos (2012), o uso inapropriado do solo e construções inadequadas em encostas ou às margens de rios expõem amplas áreas aos processos erosivos. Na região metropolitana de São Paulo, a perda média de solo por erosão é estimada em 13,5 m<sup>3</sup> de solo durante um ano, o que significa um grande aporte de sedimentos em sistemas de drenagem naturais e construídos, piorando o impacto das inundações.

A poluição difusa é um exemplo de perigo que envolve a combinação de recursos hídricos e questões ambientais e sociais, segundo Londe et al. (2014). Para os autores esse processo tem início com o depósito de resíduos sólidos em locais inadequados e o bloqueio de bueiros. Com este bloqueio, a água proveniente de precipitações atmosféricas não é drenada satisfatoriamente, ocasionando ou piorando inundações nos ambientes urbanos, onde grande parte da superfície do solo está coberta por concreto ou asfalto. A água proveniente das inundações se mistura a detritos, fezes e urina de animais, animais mortos, chorume e outros

poluentes e toda esta mistura é transportada através do escoamento superficial para casas, rios, lagos, reservatórios e pode também atingir aquíferos e unidades de tratamento de água. Os problemas decorrentes deste processo incluem os setores de saúde (aumento na incidência de doenças), ambiente (piora da qualidade da água) e econômico (aumento nos custos de tratamento de serviços de suprimento de água potável e de limpeza de espaços públicos).

Tucci (1997) também relata que o problema das inundações em ambiente urbano é intensificado pelos resíduos sólidos, que causam entupimento no sistema de drenagem pluvial, transformam rios em áreas degradadas, além do limitado serviço de esgotamento sanitário. Desta forma, enchentes e inundações urbanas são um dos mais importantes impactos sobre a sociedade devido às modificações do processo de urbanização.

Muitas doenças estão diretamente ligadas à qualidade da água, mesmo na ausência de outros desastres, caracterizando um desastre biológico. Após a ocorrência de desastres naturais, como as inundações, algumas destas doenças podem caracterizar um desastre secundário. Especificamente para leptospirose esta relação é conhecida e preocupante. Um exemplo disto é a nota técnica expedida pela Coordenação Geral de Doenças Transmissíveis (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011), com orientações e recomendações para as vigilâncias epidemiológicas das Secretarias Estaduais e Municipais de Saúde, em que todos os anos, nos meses de verão, uma das principais ocorrências epidemiológicas após as inundações é o aumento do número de casos de leptospirose. E, por isso, em caso de enchentes, os indivíduos ou grupos de pessoas que entraram em contato com lama ou água, por elas contaminadas, podem se infectar e manifestar sintomas da doença.

A leptospirose, que é uma zoonose causada por uma bactéria do gênero *Leptospira*, presente na urina de ratos se dissemina facilmente após as enchentes porque, segundo Londe et al. (2014), a bactéria pode misturar-se com as águas potencializando a capacidade de dispersão e o contágio da população que entra em contato com a água.

Alves e Torres (2006), considerando a disparidade entre perspectiva sociológica (atrelada à noção de vulnerabilidade social, focada na análise de indivíduos, famílias ou grupos sociais) e a perspectiva da geografia física (associada à noção de vulnerabilidade ambiental, compreendendo o território como regiões e ecossistemas), propõem a construção da noção de vulnerabilidade socioambiental

como integradora das dimensões social e ambiental. Ao realizarem uma pesquisa no município de São Paulo, os autores inferem que há, em alguns espaços da periferia, uma coexistência dos piores indicadores socioeconômicos com riscos de alagamentos, inundações, deslizamentos de terra, ambientes intensamente poluídos e serviços sociais ineficientes (ALVES, 2006; ALVES; TORRES, 2006). Assim, nessa espécie de periferia da periferia, existem situações de extrema pauperização e péssimas condições sociais e exposição cumulativa a diversos tipos de risco (ALVES; TORRES, 2006). Essa exposição cumulativa a riscos sociais e ambientais não decorre de fenômenos naturais, mas sim de processos sociais, históricos e territoriais, cujas práticas econômicas e político-institucionais tornam vulneráveis determinados grupos sociais (ACSELRAD, 2006).

### **3.3 Desastres naturais por eventos hidrometeorológicos**

No Brasil os desastres naturais foram divididos conforme a Instrução Normativa n. 1, de 24 de agosto de 2012 e o Sistema de Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), em:

- (a) Quedas, Tombamentos e rolamentos – Matacões;
- (b) Deslizamentos;
- (c) Corridas de Massa – Solo/Lama;
- (d) Subsidências e colapsos;
- (e) Erosão Costeira/Marinha;
- (f) Erosão de Margem Fluvial;
- (g) Erosão Continental – Laminar;
- (h) Erosão Continental – Ravinas;
- (i) Inundações;
- (j) Enxurradas;
- (k) Alagamentos;
- (l) Ciclones - Ventos Costeiros (Mobilidade de Dunas);
- (m) Tempestade Local/Convectiva – Granizo;
- (n) Tempestade Local/Convectiva – Vendaval;
- (o) Seca;
- (p) Estiagem;
- (q) Tempestade Local/Convectiva – Tornados;

- (r) Onda de Frio – Geadas;  
 (s) Incêndio Florestal (BRASIL, 2013).

A partir de Gomes et al. (2015), que realizaram uma discussão sobre diferentes termos hidrometeorológicos, na Tabela 2 estão elencados os conceitos dos principais eventos hidrometeorológicos que causam desastres naturais no Brasil.

Tabela 2. Conceitos de eventos hidrometeorológicos causadores de desastres naturais no Brasil.

Evento	Conceitos
Inundações	Evento em que o transbordamento d'água do curso fluvial atinge a planície de inundação ou área de várzea.
Enchentes	Evento de elevação do nível d'água no canal devido ao aumento da vazão, atingindo cota máxima sem extravasar.
Enxurradas	Evento de escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode estar ou não associada a áreas de domínios dos processos fluviais.
Alagamentos	Evento de acúmulo momentâneo da água em determinados locais por deficiência do sistema de drenagem.

Fonte: Elaborado a partir de Gomes et al. (2015).

A confusão em relação aos conceitos também foi observada por Maia (2009), em relação aos termos enchente e inundação. O primeiro se refere a águas que extravasam o leito menor dos rios; a inundação é um fenômeno geomorfológico que ocorre no período de cheia, quando as águas fluviais extravasam o canal fluvial, inundando a região.

Mas considerando os conceitos apresentados (Tabela 2) os eventos hidrometeorológicos que causam desastres naturais na área urbana tem basicamente a mesma origem que são as chuvas intensas. Entretanto, no caso das enchentes e inundações, os desastres estão mais localizados no leito e nas margens dos cursos d'água, enquanto as enxurradas e alagamentos podem afetar regiões da área urbana, mesmo distantes dos cursos d'água. Mas, também, torna-se evidente que as inundações interferem na dinâmica da drenagem pluvial urbana, que por sua vez, pode favorecer os alagamentos.

Segundo Abreu (2013), episódios de inundações provocados pela urbanização ocorrem pelo aumento da magnitude e da frequência das enchentes

próprio da ocupação do solo com superfícies impermeáveis e as redes de condutos de escoamento. Para mais, obstruções no escoamento nos condutos e nos canais, e projetos de drenagem inadequados.

Os alagamentos, de acordo com Wollman e Sartori (2008), estão restritos as áreas urbanas, decorrentes das fortes chuvas sobre um ambiente extremamente urbanizado e solo intensamente impermeabilizado. Segundo Grilo (1992), ocorrem, de modo geral, em áreas planas ou com depressões e fundos de vales, com o escoamento superficial comprometido pela topografia e falta ou insuficiência de um sistema pluvial no ambiente urbano. Ainda, quanto menor a extensão de áreas verdes, menor a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, menor auxílio para o escoamento superficial, as quais poderiam atenuar suas causas.

A partir de dados de Brasil (2013), de 1991 a 2012, verificou-se que as enchurradas afetam mais as regiões Sul, Sudeste e Nordeste (91% dos eventos), as inundações ocorrem mais nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul (81% dos eventos) e os alagamentos também nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul (95% dos eventos). Entretanto, o mesmo autor, ainda obteve em relação aos alagamentos, que somente a região Sudeste concentrou 43% das ocorrências de alagamentos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de São Paulo, capital paulista, localizado na Região Sudeste do Brasil (Figura 4) entre as latitudes 23°23'13,20" e 24°00'51,97" Sul e longitudes 46°18'13,63" e 46°52'03,08" Oeste.

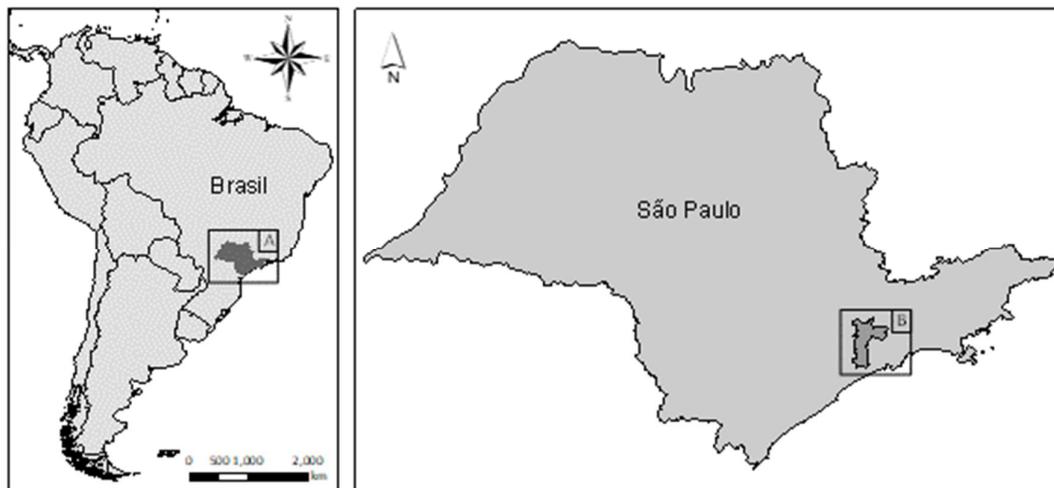


Figura 4. Localização do Estado de São Paulo (A) e do Município de São Paulo Capital (B).

O município possui área de 1.521,110 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018) e população estimada em 12.252.023 (IBGE, 2020), sendo organizada em 32 subprefeituras e abrangido por 8 bacias hidrográficas (Figura 5).

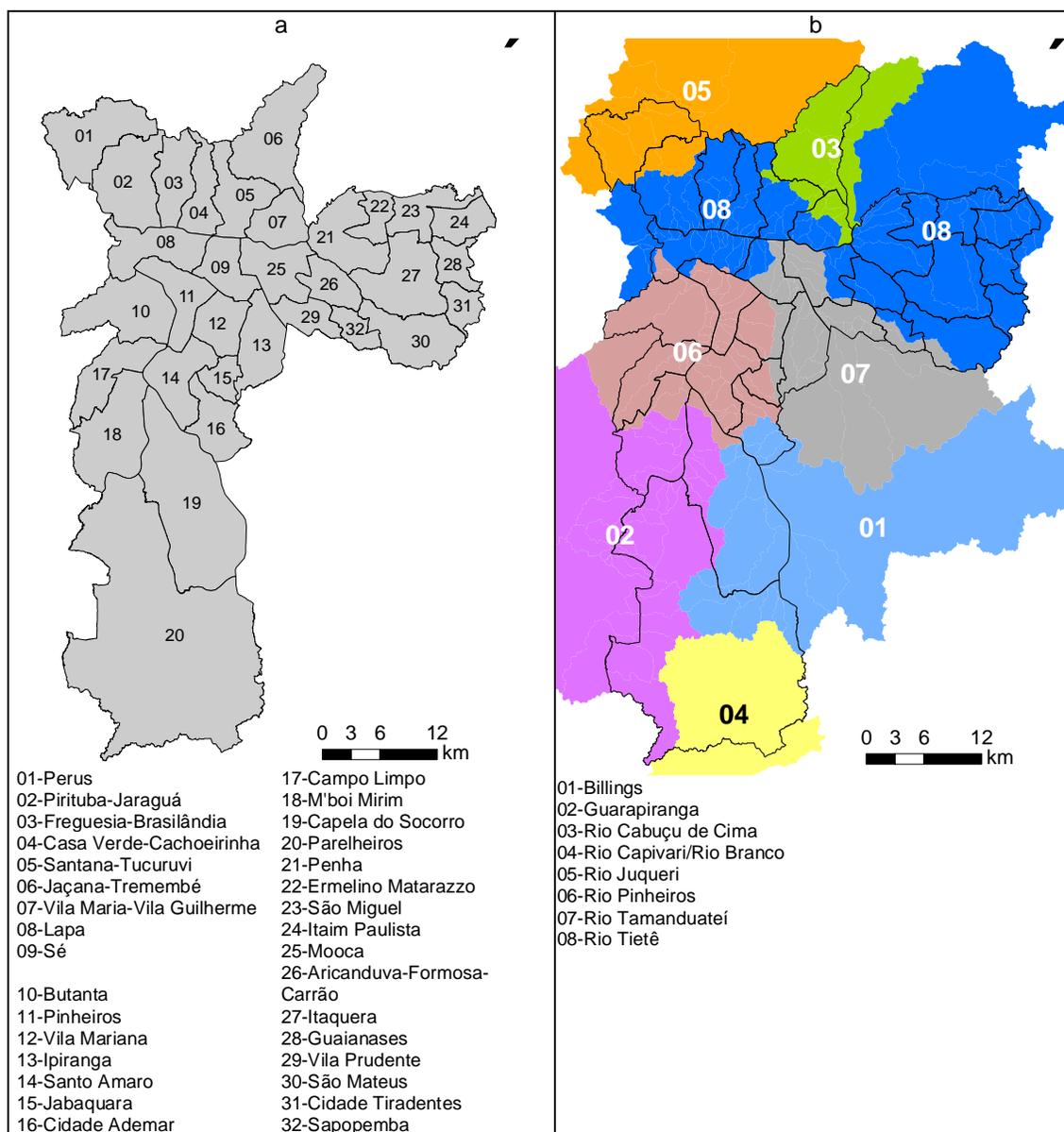


Figura 5. Subprefeituras (a) e bacias hidrográficas (b) que abrangem o município de São Paulo.

O clima do município de São Paulo, segundo classificação de Koppen, é Subtropical Úmido Quente (Cfa) sem estação seca (ROLIM et al., 2007), com precipitação média anual de 1.605 mm (Figura 6), sendo os meses de maior e menor precipitação média, janeiro e agosto (CIIAGRO, 2020).

Os solos do município são constituídos das subordens Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos, Gleissolos Háplicos, Gleissolos Melânicos, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Litólicos e Organossolos Háplicos (ROSSI, 2017).

Na parte de vegetação, o município possui mais de 650 mil árvores no sistema viário, 166 parques municipais (maioria na zona urbana) e mais de 91 mil hectares de remanescentes de mata atlântica (SÃO PAULO, 2020).

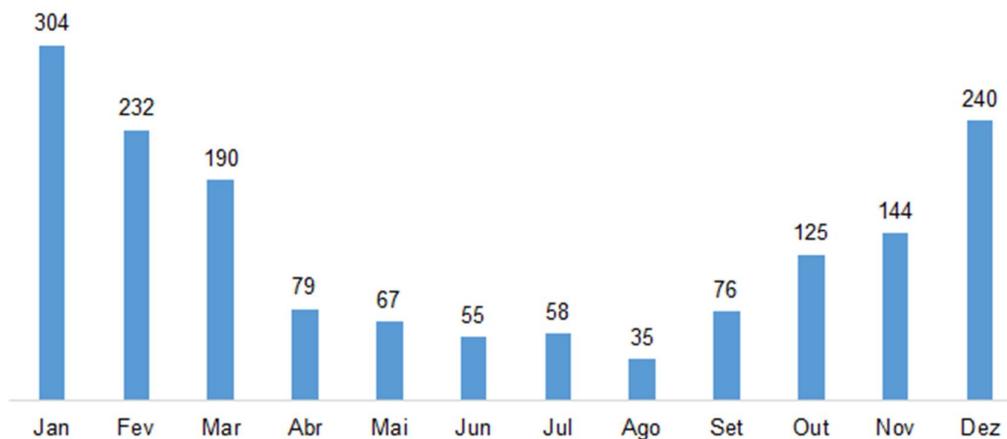


Figura 6. Distribuição da precipitação média mensal no município de São Paulo. Fonte: Elaborado a partir de dados de 1996 a 2014 do CIIAGRO (2020).

## 4.2. Caracterização dos alagamentos

A caracterização dos alagamentos no município de São Paulo em 2018 foi realizada de três formas: (a) distribuição temporal dos alagamentos, (b) distribuição espacial dos alagamentos e (c) pela identificação de características físicas e fisiográficas relacionadas com a maior ocorrência de alagamentos. Também realizou-se a determinação da distribuição temporal da precipitação mensal em 2018 visando complementar a análise.

A análise compreendeu somente o ano de 2018 porque foi o único período em que foi possível obter os dados disponíveis de alagamento com data e local de ocorrência.

### 4.2.1. Distribuição temporal

A distribuição temporal foi avaliada pela análise da distribuição de frequências relativas da ocorrência de alagamentos ao longo do ano. Os dados foram obtidos do banco de dados georreferenciado GeoSampa, que permite visualizar os dados e informações diretamente no mapa digital da cidade (MDC) e/ou por meio de serviços

on-line (WMS e WFS); permite também download de arquivos em diversos formatos e software (SÃO PAULO, 2019).

De acordo com São Paulo (2019), o MDC é o suporte cartográfico do Sistema de Informações Geográficas do Município de São Paulo (SIG-SP), regulamentado pelo Decreto 57.770, de 3 de julho de 2017. O Mapa Digital da Cidade (MDC), é uma base cartográfica digital cadastral nas escalas 1:1.000, na área urbana, e 1:5.000, na área rural do Município de São Paulo, resultado de levantamento aerofotogramétrico realizado no ano de 2004, com recursos do Programa de Modernização da Administração Tributária (PMAT), do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES).

Os dados dos alagamentos foram compilados da camada “Ocorrencias” obtidos por download do tema “Proteção e Defesa Civil” do GeoSampa. O arquivo é no formato “SHAPEFILE” possui informações como data e local de ocorrência. Os dados foram trabalhados no software ArcGis 10 versão Educacional.

Os dados foram exportados para uma tabela do software Microsoft Excel onde foi possível tabular a quantidade de alagamentos por mês do ano. Em seguida elaborou-se um histograma da distribuição mensal dos alagamentos.

Visando estabelecer possíveis correlações com a precipitação, realizou-se a análise de regressão da frequência absoluta de alagamentos em função da precipitação mensal. Foram testados os modelos linear, quadrático, exponencial, logarítmico e potência, em que a seleção do melhor modelo de resposta foi com base na significância estatística (valor de p) e coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Os dados de precipitação mensal de 2018 foram obtidos das estações do INMET (2020) do Mirante de Santana (código 83781) e de Interlagos (código A771) (Figura 7).

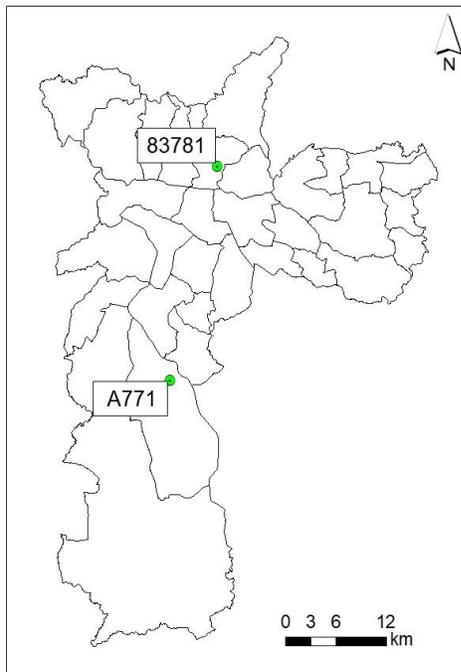


Figura 7. Localização das estações meteorológicas utilizadas na compilação da precipitação mensal em 2018.

Fonte: Autoria Própria

Com os dados tabulados de precipitação mensal nas duas estações, realizou-se uma média para a determinação da precipitação média mensal do município de São Paulo.

#### 4.2.2. Distribuição espacial

A avaliação da distribuição espacial foi realizada a partir do número absoluto de alagamentos por Subprefeitura e curso d'água do município de São Paulo.

O processo iniciou com o download dos dados da camada de "Subprefeituras" no tema "Limites Administrativos" e da camada "Hidrografia drenagem" no tema "Meio Físico".

Com os dados todos importados para o software ArcGIS 10 versão Educacional, realizou-se a atribuição da informação de ocorrência de alagamentos nas camadas de Subprefeituras e Hidrografia drenagem, utilizando a ferramenta de união espacial (Figura 8).

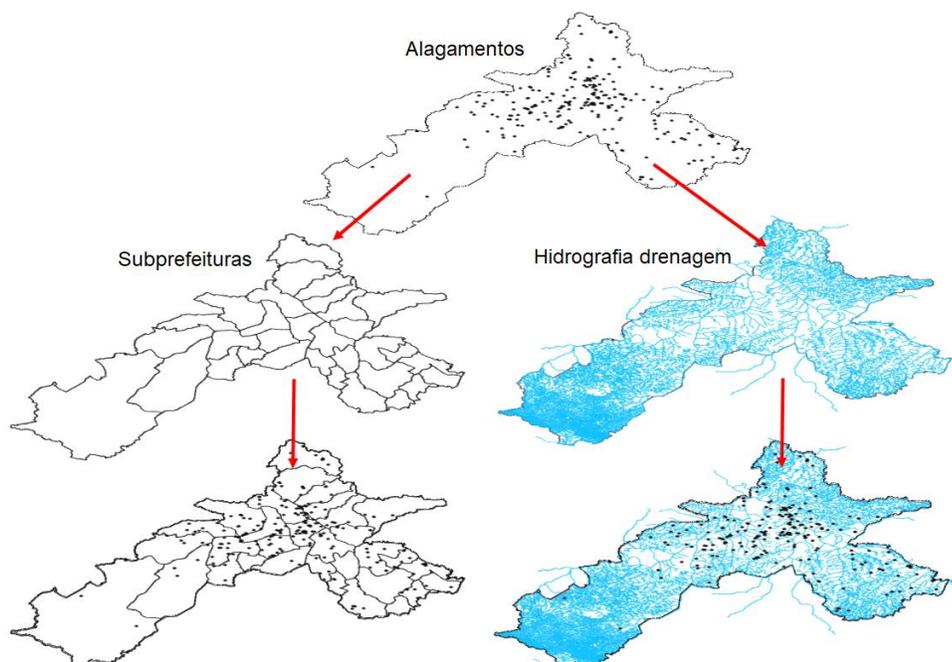


Figura 8. União espacial entre a localização dos alagamentos e os limites das subprefeituras e a hidrográfica drenagem.  
Fonte: Aatoria Própria

Em seguida foi realizada a determinação da quantidade de alagamentos por subprefeitura e hidrográfica, sendo os dados apresentados na forma de distribuição por classes em mapas.

#### 4.2.3. Relação com as características das bacias hidrográficas

A relação da ocorrência com características das bacias hidrográficas foi avaliada segundo metodologia proposta por Silva et al 2020, pela comparação entre variáveis físicas e fisiográficas das bacias classificadas sem ocorrência de alagamentos (SOA), com 1 a 4 alagamentos (14A) e de 5 ou mais alagamentos (M5A) em 2018, foi observado que com o baixo número de repetições apresentadas acima de 5 alagamentos as variáveis não se afetavam.

Para a obtenção dos alagamentos por bacia hidrográfica realizou-se o download da camada dos divisores de águas das bacias denominada “Bacia Hidrográfica” do tema “Meio Físico” na plataforma GeoSampa (SÃO PAULO, 2019). Em seguida atribuiu-se a informação de ocorrência de alagamentos na camada de divisores de águas das bacias hidrográficas utilizando a ferramenta união espacial do software ArcGIS versão Educacional (Figura 9).

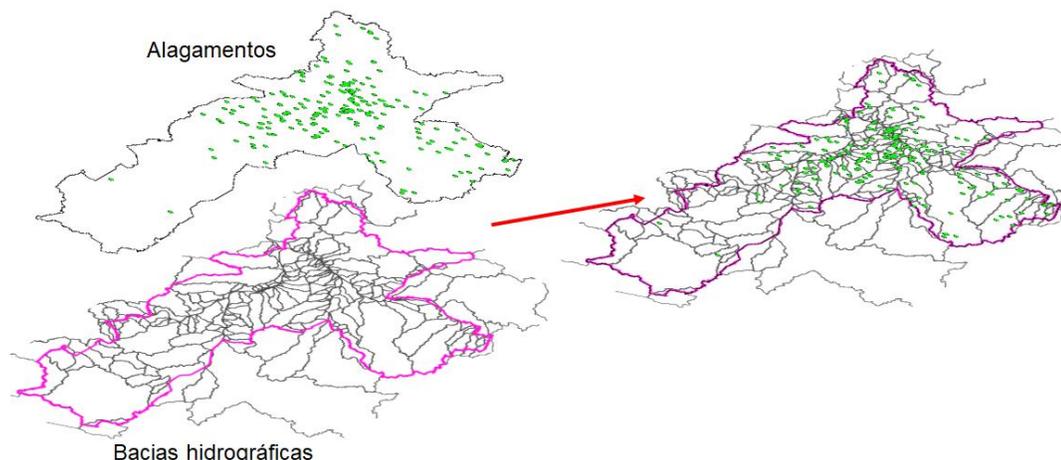


Figura 9. União espacial entre a localização dos alagamentos e os limites das bacias hidrográficas do município de São Paulo.

Fonte: Autoria Própria (2020).

As variáveis físicas e fisiográficas avaliadas nas bacias hidrográficas foram amplitude altimétrica ( $\Delta H$ ), declividade média (Dec), densidade de drenagem (Dd), coeficiente de compacidade (Kc) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), determinadas utilizando-se as equações/metodologias apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Equações/metodologias empregadas na determinação de características físicas fisiográficas das bacias hidrográficas do município de São Paulo.

Variável	Equação/Metodologia
Amplitude altimétrica ( $\Delta H$ ) expressa em metros	$\Delta H = H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}$ .....(1) , em que “ $H_{\text{máx}}$ ” é a altitude máxima e “ $H_{\text{mín}}$ ” é a altitude mínima das bacias hidrográficas, expressa em metros.
Declividade média (Dec) expressa em porcentagem	Determinada para cada bacia hidrográfica a partir da aplicação da ferramenta de SLOPE sobre a camada de isolinhas altimétricas.
Densidade de drenagem (Dd) expressa em quilômetros de rede de drenagem por quilômetro quadrado de área de bacia hidrográfica	$Dd = \frac{L_t}{A}$ .....(2) , em que “ $L_t$ ” é o comprimento total da rede de drenagem expressa em quilômetros e “ $A$ ” é a área de drenagem da bacia hidrográfica expressa em quilômetros quadrados.
Coeficiente de compacidade (Kc) que é adimensional	$Kc = 0,28 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$ .....(3) , em que “ $P$ ” é o perímetro expresso em quilômetros e “ $A$ ” é a área de drenagem da bacia hidrográfica expressa em quilômetros quadrados.
Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) que é adimensional	$NDVI = \frac{\sum NDVI_i}{A}$ .....(4) , em que “ $NDVI_i$ ” é o índice de vegetação por diferença normalizada do pixel “ $i$ ” e “ $A$ ” a área de drenagem da bacia hidrográfica. Os NDVIs dos pixels ( $NDVI_i$ ) foram determinados pela equação 05. $NDVI_i = \left( \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \right)$ .....(5) NDVI – Índice de vegetação por diferença normalizada; $\rho_{NIR}$ – Reflectância na banda do infravermelho próximo; $\rho_R$ - Reflectância na banda do vermelho.

Os dados necessários para a determinação da densidade de drenagem ( $L_t$  e  $A$ ) e o coeficiente de compacidade ( $P$  e  $A$ ) foram obtidos das camadas de “Hidrografia drenagem” e “Bacia hidrográfica”. Já os dados para os cálculos da amplitude altimétrica ( $H_{\text{máx}}$  e  $H_{\text{mín}}$ ) e declividade média foram obtidos a partir do modelo digital do terreno interpolado a partir das isolinhas altimétricas contidas nas camadas de “Curvas mestras” e “Curvas intermediárias”, obtidas do tema “Topografia” na plataforma GeoSampa (SÃO PAULO, 2019). Em seguida a partir de técnicas de geoprocessamento gerou-se o modelo digital de declividades a partir do modelo digital do terreno (Figura 10).

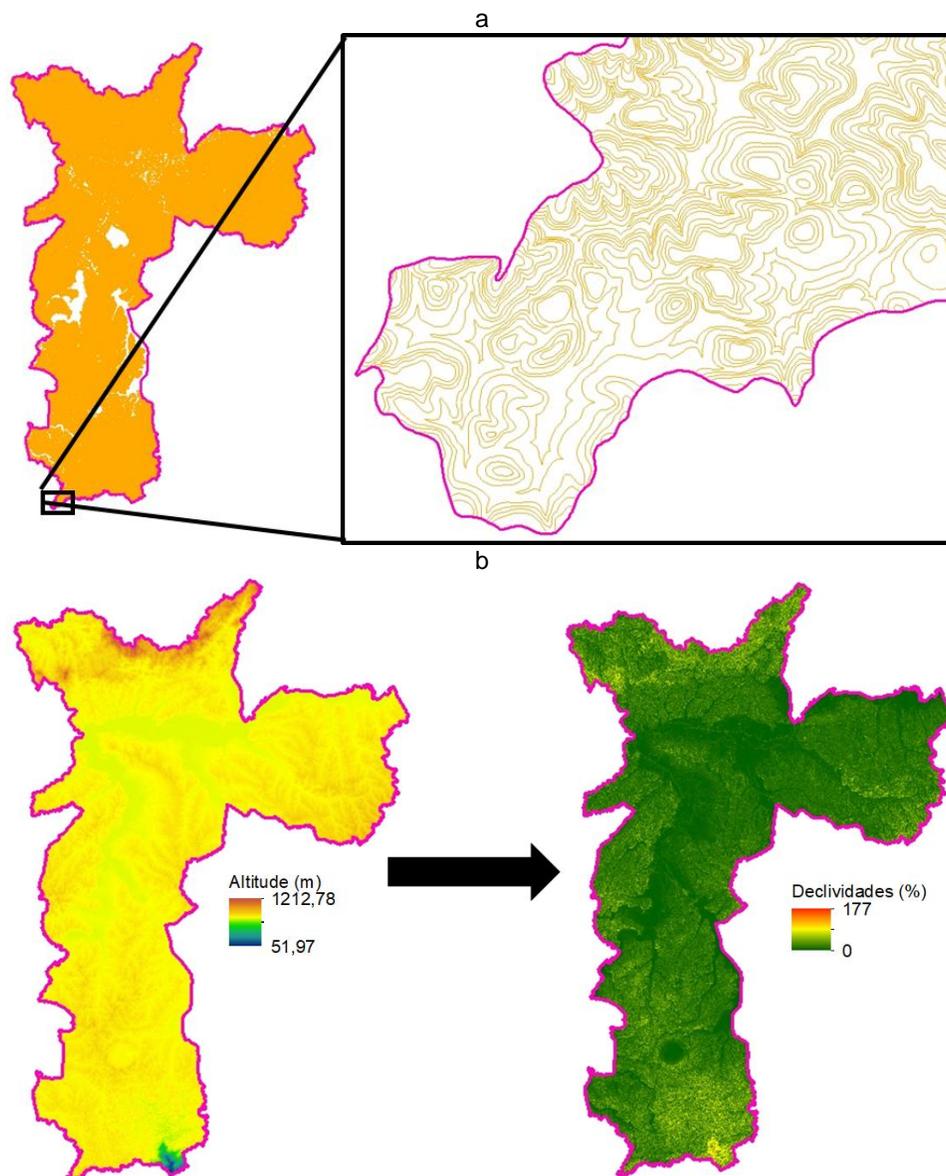


Figura 10. Camada das isolinhas altimétricas (a) utilizadas na geração do modelo digital do terreno e o modelo digital de declividades (b).

Fonte: Autoria Própria (2020).

As reflectâncias do infravermelho próximo e do vermelho ( $\rho_R$  e  $\rho_{NIR}$ ), para ao cálculo do NDVI (Figura 11), foram das bandas 4 (vermelho) e 8 (infravermelho próximo) das imagens do satélite Sentinel 2-A (Tabela 4), com data de imageamento de 30 de agosto de 2018.

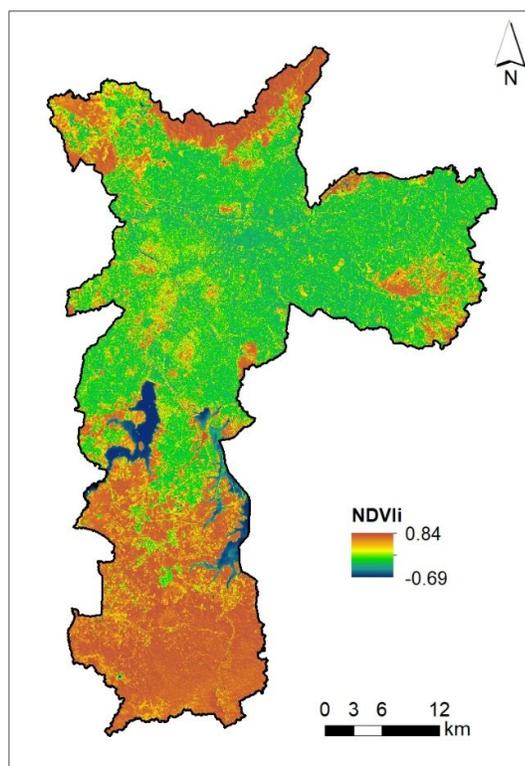


Figura 11. Imagem NDVI do município de São Paulo em 30 de agosto de 2018.  
Fonte: Autoria Própria

Tabela 4. Característica das imagens do Sentinel 2A para resolução de 10 metros.

Bandas	Re (m)	Nome	$\lambda_c$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	Rr (bits)	Rt (dias)		
2	10	Blue	492,4	66	12	5		
3		Green	559,8	36				
4		Red	664,6	31				
8		NIR	832,8	106				
5	20	Red Edge 1	704,1	15				
6		Red Edge 2	740,5	15				
7		Red Edge 3	782,8	20				
8a		Red Edge 4	864,7	21				
11		SWIR 1	1613,7	91				
12	SWIR 2	2202,4	175					
1	60	Aerossol	442,7	21				
9		Water Vapor	945,1	20				
10		Cirrus	1373,5	31				

Re (resolução espacial);  $\lambda_c$  (comprimento de onda central da banda);  $\Delta\lambda$  (amplitude da banda); (Rr (resolução radiométrica); Rt (resolução temporal).

### 4.3. Análise estatística

A análise estatística para a caracterização da distribuição temporal e espacial dos alagamentos compreendeu na distribuição de frequências absolutas e relativas.

A identificação de características físicas e fisiográficas entre as classes de ocorrência de alagamentos (SOA, 14A e M5A) foi comparada por análise de variância e teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância. O total de repetições para cada variável nas três classes de ocorrência de alagamentos em 2018 foram de 161 repetições para SOA, 80 repetições para 14A e 12 repetições para M5A.

As análises estatísticas e gráficos foram realizados utilizando os *softwares* Microsoft Excel e Sisvar. Os mapas e tratamentos geoespaciais foram executados com o uso do *software* ArcGIS 10.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Precipitação

No ano de 2018, a precipitação total anual obtida a partir das estações meteorológicas do Mirante de Santana e de Interlagos foi de 1.248 mm (Figura 12), sendo 22,2% a menos que a média anual de 1996 a 2014 (CIIAGRO, 2020). Pelo estudo de Ramires et al. (2018), entre os anos de 2008 a 2013, a maior média anual registrada foi em 2010, onde atingiu 1.890 mm. Também foi inferior ao descrito por Obregon et al. (2014), que por estudos de tendências em chuvas extremas e desastres hidrogeometeorológicos, verificaram que a variabilidade espacial de 1.300 a 2.500 mm sobre a região metropolitana de São Paulo.

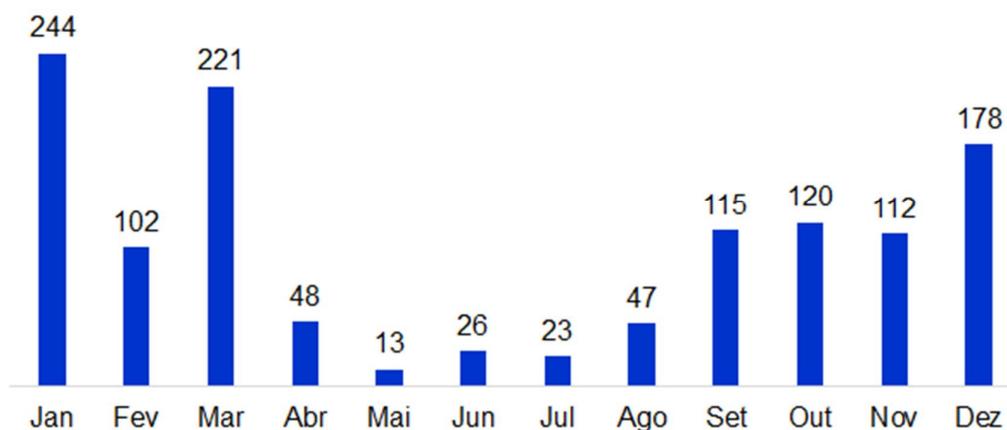


Figura 12. Distribuição da precipitação mensal em 2018 no município de São Paulo (expresso em mm), obtida da média das estações meteorológicas do Mirante de Santa e Interlagos.  
Fonte: Autoria Própria

Os maiores totais mensais precipitados no ano de 2018 ocorreram nos meses de janeiro (244 mm), março (221 mm) e dezembro (178 mm), que somaram mais de 50% do total anual. Enquanto os menores valores totais mensais observados foram nos meses de maio (13 mm), julho (23 mm) e junho (26 mm). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Fontão et al. (2017), em que os meses maiores precipitações médias foram março, novembro e dezembro. Comparando com os valores médios mensais dos dados históricos obtidos por Dias et al. (2013), que avaliou a precipitação de 1933 a 2010, verificou-se que a maior variação abaixo da

média em quantidade foi no mês de fevereiro, com mais de 50% a menos do esperado.

Um dos fatores que interferem no regime natural de precipitações é o clima urbano provocado por efeitos locais em grandes dimensões da área urbana, incluindo as ilhas de calor e efeitos da poluição (DIAS et al., 2013).

### 5.1. Distribuição temporal dos alagamentos

No município de São Paulo – SP, em 2018, foram observados um total de 264 alagamentos, em que 84,09% se concentraram em 5 meses (janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro) (Figura 13), mesmos meses que concentraram 68,7% da precipitação anual de 2018.

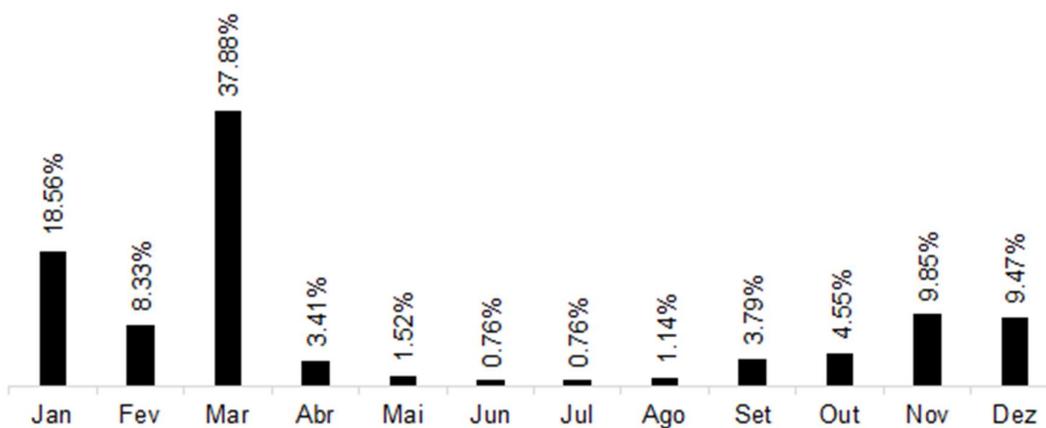


Figura 13. Distribuição percentual dos alagamentos ao longo do ano de 2018 em São Paulo - SP.  
Fonte: Autoria Própria

O mês de março foi o de maior ocorrência (37,88%) seguido de janeiro (18,56%) e novembro (9,85%), enquanto os meses de junho a agosto foram os de menor ocorrência. De uma forma geral, pode-se observar a proporcionalidade entre os meses de maior ocorrência de alagamentos e de precipitação (Figuras 12 e 13).

A relação entre precipitação e alagamentos foi observada por outros autores. Porfírio e Trindade (2014), ao analisarem os episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal, observaram que de

outubro a março (período de chuva) se concentra a maioria dos casos, ou seja, tais impactos ocorrem com maior frequência durante os dias de primavera e verão.

Essa relação é confirmada pela resposta da frequência mensal de alagamentos em função da precipitação mensal foi significativa ( $p < 0,01$ ) e com melhor ajuste ( $r^2$ ) no modelo exponencial (Figura 14).

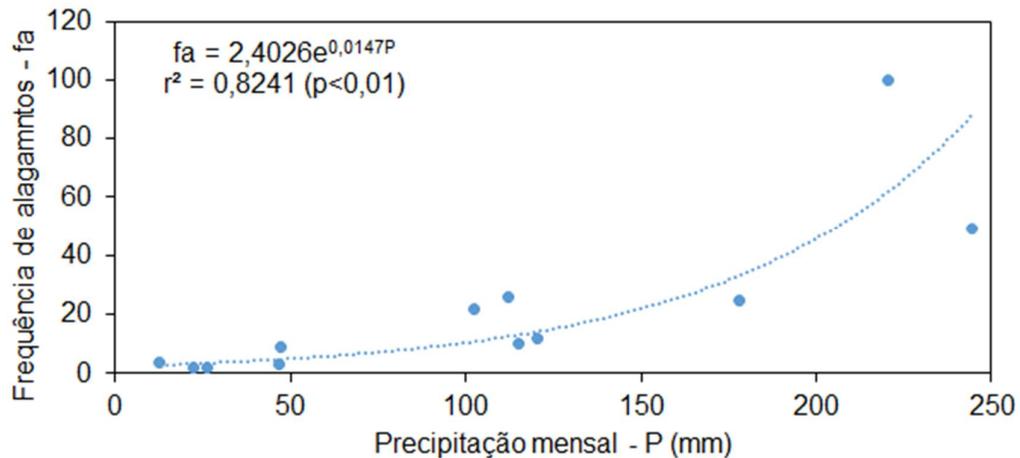


Figura 14. Resposta da frequência mensal de alagamentos em função da precipitação mensal.  
Fonte: Autoria Própria

Pelo modelo (Figura 14) observa-se que em totais mensais de até 40 mm espera-se o incremento de 1 alagamento para cada acréscimo de 20 mm mensais. Com totais mensais precipitados entre 50 e 100 mm, espera-se o incremento de 1 alagamento a cada acréscimo de 10 mm mensais. E para totais precipitados acima de 100 mm, o aumento esperado é de 1 alagamento para cada incremento de 3 a 5 mm na precipitação mensal.

Este comportamento pode ser explicado pela umidade antecedente do solo que cresce com a precipitação acumulada no mês. E quanto maior a umidade antecedente do solo, menor será a capacidade de infiltração e maior a contribuição com escoamento superficial para os alagamentos. Este fato foi observado por Alencar et al. (2006) concluíram que as variáveis precipitação antecedente, intensidade de precipitação e as interações entre essas e a variável precipitação, e ainda a interação entre ambas (intensidade de precipitação versus precipitação antecedente), influenciaram significativamente na ocorrência de escoamento superficial na microbacia do Córrego Capetinga.

Os problemas urbanos decorrentes de eventos hidrometeorológicos podem ser minimizados por diversas medidas. Tucci (2007) as divide em estruturais (quando o homem modifica o rio) por obras hidráulicas, tais como barragens, diques

e canalização, entre outras, e não-estruturais (quando o homem convive com o rio), como medidas do tipo preventivo, tais como zoneamento de áreas de inundação incorporado no Plano Diretor, alerta e seguros. O mesmo autor ainda evidencia que as medidas estruturais envolvem custos maiores que as medidas não-estruturais.

## 5.2. Distribuição espacial dos alagamentos

A subprefeitura de maior ocorrência em 2018 foi a 09-Sé, entre 36 a 40 alagamentos, seguido da 08-Lapa, de 26 a 30 alagamentos (Figura 15), representando 24,2% do total de alagamentos no período.

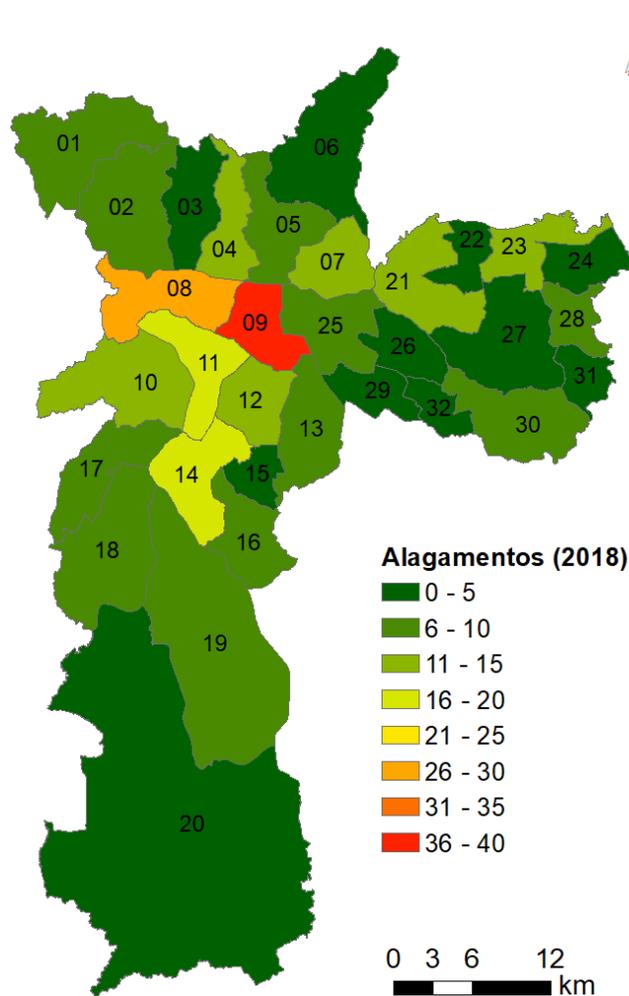


Figura 15. Distribuição espacial dos alagamentos do ano de 2018 nas Subprefeituras de São Paulo – SP, sendo 01-Perus, 02-Pirituba, 03-Freguesia/Brasília, 04-Casa Verde/Cachoeirinha, 05-Santana/Tucuruvi, 06-Jaçanã/Tremembé, 07-Vila Maria/ Vila Guilherme, 08-Lapa, 09-Sé, 10-Butantã, 11-Pinheiros, 12-Vila Mariana, 13-Ipiranga, 14-Santo Amaro, 15-Jabaquara, 16-Cidade Ademar, 17-Campo Limpo, 18-M'boi Mirim, 19-Capela do Socorro, 20-Parelheiros, 21-Penha, 22-Ermelino Matarazzo, 23-São Miguel, 24-Itaim Paulista, 25-Mooca, 26-Aricanduva/Formosa/Carrão, 27-Itaquera, 28-Guaianases, 29-Vila Prudente, 30-São Mateus, 31-Cidade Tiradentes e 32-Sapopemba.

Fonte: Autoria Própria

As subprefeituras 11-Pinheiros e 14-Santo Amaro também apresentaram altas ocorrências (de 16 a 20 alagamentos). Entretanto, 43,8% das subprefeituras apresentaram ocorrências na classe de 0 a 5 alagamentos em 2018. As subprefeituras de 26-Aricanduva/Formosa/Carrão, 15-Jabaquara e 31-Cidade Tiradentes não apresentaram alagamentos no período avaliado.

Analisando os alagamentos por curso d'água, verificou-se que os três com maior ocorrência de alagamentos em 2018 (Figura 16) foram os Córregos Anhangabaú (o único com mais de 15 alagamentos) e o Córrego Pirajussara e Rio Aricanduva (entre 11 e 15 alagamentos), fato este, que explica o resultado dos alagamentos nas subprefeituras. Os alagamentos nestes cursos d'água representaram 16,7% do total dos alagamentos em 2018.

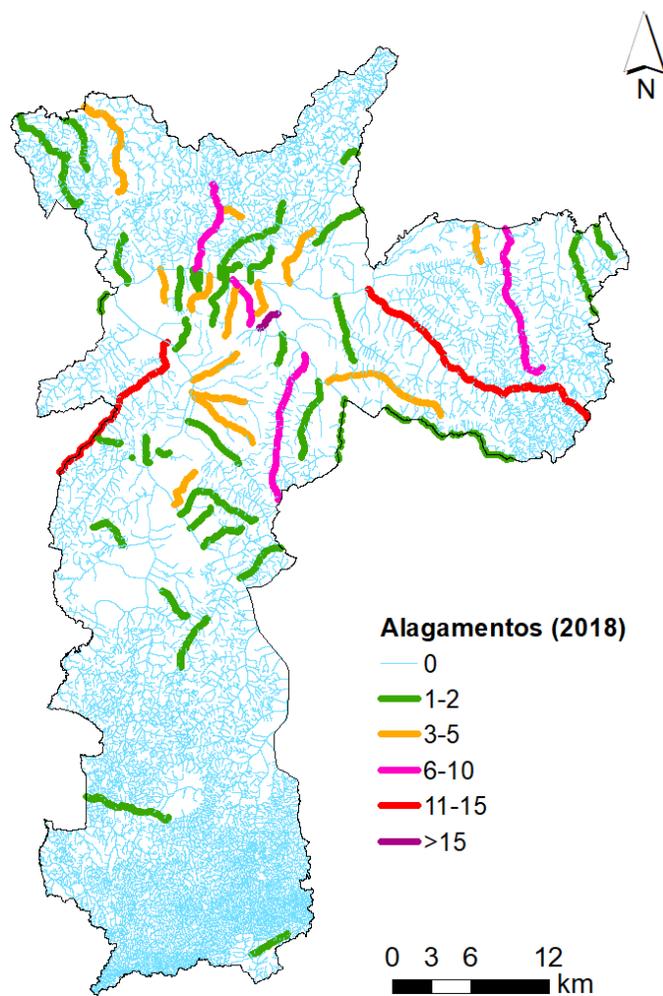


Figura 16. Distribuição espacial dos alagamentos do ano de 2018 nos cursos d'água de São Paulo - SP.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Essa variabilidade espacial na ocorrência de alagamentos no município de São Paulo pode ser explicada pela variabilidade espacial dos fatores que interferem no escoamento superficial. A Agência Nacional das Águas - ANA (2012) os divide em climáticos (ligados à intensidade da chuva, duração da chuva e a chuva antecedente), fisiográficos (ligados à área e forma da bacia, à permeabilidade e capacidade de infiltração e à topografia da bacia) e obras hidráulicas (ligadas à construção de barragens, canalização ou retificação e derivação ou transposição).

Os danos resultantes dos alagamentos para um município com grande infraestrutura urbana e população são significativos. Em análise de Haddad e Teixeira (2015), as subprefeituras com maiores potenciais de perdas econômicas entre os anos de 2008 a 2012 são Lapa, Pinheiros, Sé e Vila Mariana. Sendo que cada ponto de alagamento na cidade de São Paulo, provoca um prejuízo diário de mais de R\$ 1 milhão. A subprefeitura da Lapa está entre aquelas que geram as maiores perdas potenciais de produto decorrente dos alagamentos. No período de 2008 a 2012, as perdas potenciais médias dessa subprefeitura podem ter atingido R\$ 89 milhões por ano.

Além do prejuízo econômico e social, Tucci (2007) ressalta a importância dos impactos ambientais, dentre os quais destaca o aumento da produção de sedimentos e a degradação da qualidade da água drenada pelos esgotos pluviais e contaminação dos aquíferos.

Além de medidas mais tradicionais, outra forma que poderia de conceder maior veracidade e acesso à informação sobre esses eventos, segundo Hirata et al. (2015), é a contribuição social por meio de um aplicativo de celular. O autor ressalta que o uso de aparelhos celulares para a transmissão do dado contribui para a característica dinâmica do sistema, uma vez que o usuário pode informar a ocorrência no momento do evento e contar com as demais ferramentas disponibilizadas pelo celular, como câmeras de foto e vídeo para a complementação da informação, para que em tempo quase real a população possa evitar circular por vias alagadas ao receber alertas por e-mail.

### 5.3. Relação com as características das bacias

As bacias hidrográficas com 5 ou mais alagamentos em 2018 (M5A) se caracterizaram por apresentar, significativamente, maiores médias de coeficientes de compacidade e desníveis geométricos totais (Figura 17a e 17c).

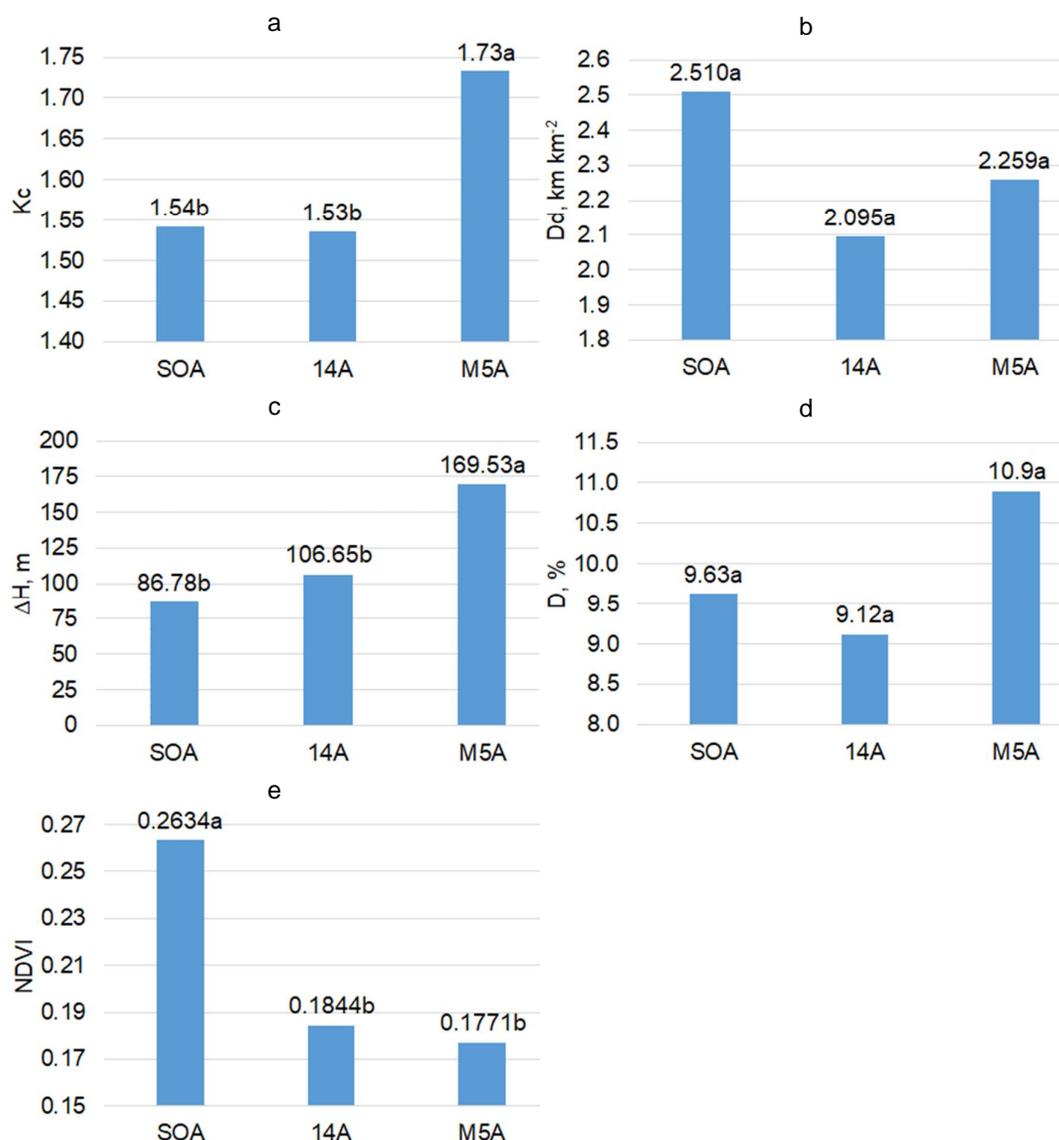


Figura 17. Comparação entre as médias de coeficiente de compacidade -  $K_c$  (a), densidade de drenagem -  $D_d$  (b), desnível geométrico total -  $\Delta H$  (c), declividade -  $D$  (d) e índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI das bacias hidrográficas sem ocorrência de alagamentos (SOA), com 1 a 4 alagamentos (14A) e com 5 ou mais alagamentos (M5A) em 2018.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Os valores médios de densidade de drenagem e declividade média não se diferenciaram estatisticamente entre as 3 classes de ocorrência de alagamentos em 2018 (Figura 17b e 17d). E as bacias hidrográficas sem ocorrência de alagamentos em 2018 foram as que apresentaram média de NDVI significativamente superior as bacias com alagamentos (Figura 17e).

As bacias hidrográficas com maiores ocorrências de alagamento (5 ou mais) apresentaram  $K_c$  médio de 1,73 e  $\Delta H$  médio de 169,53 m. Nas bacias hidrográficas com ocorrências de 4 ou menos alagamentos em 2018 apresentaram  $K_c$  médios praticamente iguais, variando de 1,53 a 1,54, e  $\Delta H$  médios variando de 86,78 a 106,65 m.

As bacias hidrográficas com 5 ou mais alagamentos (M5A) em 2018 média de  $\Delta H$  75,2% superior que a média das demais classes. A maior suscetibilidade a alagamentos em bacias de maior  $\Delta H$  já era esperado porque a topografia do terreno interfere no escoamento superficial (ANA, 2012), proporcionando maior energia cinética ao escoamento e maior suscetibilidade a alagamentos.

Nas bacias de maior classe de ocorrência de alagamento de 2018 (M5A), o coeficiente de compacidade médio foi de 12,7% superior que a média das demais classes de ocorrência (SOA e 14A). Quanto menor o valor de  $K_c$ , mais circular é a bacia, menor o tempo de concentração e maior a tendência de haver picos de enchentes (MENDES, 2018), comportamento esse que não foi observado para os alagamentos. As bacias que seriam classificadas como de baixa suscetibilidade a enchentes ( $K_c$  maior que 1,50), segundo Silva e Mello (2008), foram as de maior ocorrência de alagamentos. Para os alagamentos, talvez este comportamento esteja relacionado ao efeito conjunto da capacidade de infiltração e forma da bacia, ou seja, em bacias de alto coeficiente de escoamento superficial (baixa permeabilidade) tem maior capacidade de acumular escoamentos quanto maior for o comprimento da bacia em relação a sua largura (bacias alongadas). Este fato poderia explicar o motivo pelo qual a relação entre coeficiente de compacidade e alagamentos, neste trabalho, não seguiu o mesmo comportamento da relação coeficiente de compacidade e enchentes.

Segundo Costa et al. (2007) o NDVI é um índice que varia de -1 a +1, quanto mais próximo de 1 maior a quantidade de área foliar verde, ou seja, cobertura de vegetação. As bacias sem ocorrência de alagamentos apresentaram NDVI médio de

0,2634, enquanto nas bacias com ocorrência de alagamentos o NDVI médio variou de 0,1771 a 0,1844. O NDVI médio nas bacias hidrográficas enquadradas na classe de SOA foi 45,8% superior que a média observada nas bacias de classes 14A e M5A. Este resultado já era esperado porque o valor do NDVI está relacionado com o percentual de cobertura vegetal da superfície (JENSEN, 2007) e, conseqüentemente, com o coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica.

Para Nobre et al. (2011) o agravamento dos problemas de drenagem sempre esteve atrelado à ocupação dos fundos de vale e à má qualidade ambiental dos espaços urbanos, causados pela eliminação de áreas verdes, impermeabilização do solo, favelização de terrenos de baixada descartados pela especulação imobiliária, formação de áreas de risco ao longo de cursos d'água etc. Os mesmos autores também colocam o incremento de áreas verdes como uma importante medida de adaptação da região metropolitana de São Paulo às mudanças climáticas.

## 6. CONCLUSÕES

No município de São Paulo – SP foram observados 264 alagamentos, sendo a maior ocorrência no período de janeiro a março e de novembro a dezembro (84,09% das ocorrências). O incremento da frequência mensal de alagamentos teve resposta exponencial em função da precipitação mensal.

As subprefeituras da Sé e Lapa foram as de maior ocorrência no período avaliado, representando 24,2% do total de alagamentos, seguidas de Pinheiros e Santo Amaro. Os córregos Anhangabaú, Pirajussara e Rio Aricanduva foram os de maior ocorrência de alagamentos, representando 16,7% do total.

A ocorrência de alagamentos foi maior em bacias hidrográficas com maiores coeficiente de compacidade e desníveis geométricos totais, e com menores valores de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Pode-se considerar que bacias hidrográficas sujeitas a precipitações mensais acima de 100 mm, com coeficiente de compacidade acima de 1,70 (este índice não se aplica a alagamentos como pode ser aplicado a enchentes, pois é imprescindível que não seja avaliado cada fator de forma individualizada e sim em um conjunto que associados irão influenciar na suscetibilidade de cada bacia), desnível geométrico total acima de 160 m e NDVI médio inferior a 0,20, possuem alta suscetibilidade a alagamentos.

Dados estes que podem ser utilizados por gestores municipais para prever a ocorrência de alagamentos e propor medidas de prevenção, como o investimento no NDVI por ser o fator que mais se relaciona aos alagamentos e o Kc que apesar de ser usado para enchentes não pode ser extrapolado para inferir maior ou menor propensão de enchentes em bacias hidrográficas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F.G. **Análise da influência da distribuição temporal das chuvas intensas e de cenários de uso e ocupação do solo na quantificação dos prejuízos econômicos diretos provocados pelas inundações urbanas.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

ADAPTA CLIMA. **Plataforma de Conhecimento em Adaptação à Mudança do Clima.** Disponível em: < <http://adaptaclima.mma.gov.br/desastres-no-contexto-da-mudanca-do-clima>> Acesso em: 07 set. 2020.

ACSELRAD, H. **Vulnerabilidade ambiental, processos e relações.** In: II ENCONTRO NACIONAL DE PRODUTORES E USUÁRIOS DE INFORMAÇÕES SOCIAIS, ECONÔMICAS E TERRITORIAIS. Anais. Rio de Janeiro, 2006.

ALENCAR, D. B. S., SILVA, C. L., OLIVEIRA, C. A. S. **Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.1, 103-112, jan./abr. 2006. DOI: 10.1590/S0100-69162006000100012

ALVES, H. P. F. **Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais.** Revista Brasileira de Estudos de População, v. 23, n. 1, p. 43-59, 2006.

ALVES, H. P. F.; TORRES, H. G. **Vulnerabilidade socioambiental na cidade de São Paulo: uma análise de famílias e domicílios em situação de pobreza e risco ambiental.** São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 1, p. 44-60, 2006.

ANA – Agência Nacional de Águas. Hidrologia Básica. 2012. Disponível em: < <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/66>> Acesso em: 28 Jun. 2020.

ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (2011). Secretária Nacional de Defesa Civil. Ministério da Integração Nacional. <<http://www.integracao.gov.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais>>. Acesso em 01 fev. 2020.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB**. 2006. 116 pág. Dissertação (Mestrado) – Engenharia civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006. Disponível em: < [http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss\\_franciscobarbosa.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_franciscobarbosa.pdf)>. Acesso em: 10 de mai. 2020.

BRASIL. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012. CEPED UFSC. Florianópolis, 2013.

CARBONE, A. S.; COUTINHO, S. M. V.; FERNANDES, V.; JUNIOR, A. P. **Serviços ecossistêmicos no planejamento integrado do território metropolitano: oferta, demanda e pressões sobre a provisão de água na região metropolitana de Curitiba**. In: Revista Brasileira de Ciências Ambientais. 2020. V.55, n.3, p.381-400, set 2020. doi.org/10.5327/Z2176-947820200705

CARNEIRO, P.R.F.; MIGUEZ, M.G. **A Flood Control Approach Integrated with a Sustainable Land Use Planning in Metropolitan Regions**. In: APPIAH-OPOKU, S. (org.). Environmental Land Use Planning. Rijeka, Croácia: InTech, 2012. Cap. 7. dx.doi.org/10.5772/50573

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Desastres Naturais**. 2012. Disponível em: < <http://www.cemaden.gov.br/videos.php?pag=2>>. Acesso em: 09 Fev. 2020.

CIIAGRO. **Centro integrado de informações agrometeorológicas**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>> Acesso: 22 jun. 2020.

COSTA, H. S. de M.; BRAGA, T. M. **Entre a conciliação e o conflito: dilemas para o planejamento e a gestão urbana e ambiental.** In: X SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 2002, 24 p.

COSTA, F. H. dos S., FILHO, C. R. de S., RISSO, A. **Análise temporal de NDVI e mapas potencias naturais de erosão na região do Vale do Ribeira, São Paulo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007. Florianópolis, INPE, 2007.

Defesa civil (2012). Disponível em: <<http://www.defesacivil.gov.br/index.asp>>  
Acesso em 14 mai. 2020.

DIAS, M. A. F. S., et al. **Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil.** Climatic change 116, p.705-722, 2013. DOI 10.1007/s10584-012-0504-7.

FONTÃO, P. A. B., ZAVATTINI, J. A. **Tipos de tempo e ritmo pluvial na região metropolitana de São Paulo (RMSP):** Análise comparativa dos anos 2003 e 2014. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas. 2017.

GOMES, E. S. et al. **Oficina didática sobre os conceitos de inundações, enchentes, alagamentos e enxurradas.** EDUCERE. XII Congresso Nacional de Educação. PUCRP. 2015.

GRILO, R. C. **A precipitação pluvial e o escoamento superficial na cidade de Rio Claro/SP.** 1992. 103 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

HADDAD, E. A, TEIXEIRA, E. **Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in Sao Paulo, Brazil.** Habitat International 45, pag. 106-113. 2015.

HIRATA, E., GIANNOTTI, M. A., LAROCCA, A. P. C., QUINTANILHA, J. A. **Flooding and inundation collaborative mapping** – use of the Crowdmap/Ushahidi platform in the city of Sao Paulo, Brazil. 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE, 2015. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>> Acesso em: 09 ago. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Brasília: IBGE, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>> Acesso em: 10 fev. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE divulga as estimativas da população dos municípios para 2019**. Agência IBGE notícias. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Brasília: IBGE, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>> Acesso em: 10 out. 2020.

JENSEN, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2.ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 2007.

LONDE, L. R.; COUTINHO, M. P.; DI GREGORIO, L. T.; SANTOS, L. B. L.; SORIANO, E. **Desastres relacionados à água no Brasil: Perspectivas e recomendações**. Ambiente & Sociedade. São Paulo, v. XVII, n. 4, p. 133-152, 2014.

MAIA, D.C. **Caracterização das enchentes na área urbana de Ribeirão Preto(SP): um enfoque através de notícias de jornal**. Geografia, Rio Claro v.34, nº2, p. 307-327, 2009.

MENDES, A. T. **Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio pela ferramenta de delimitação automática TauDEM**. Revista Brasileira de Geografia Física, v.11, n.03, p.973-986, 2018.

MENDONÇA, F. A.; S.A.U. **Sistema Socioambiental Urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. Impactos socioambientais urbanos.** Curitiba: Ed. UFPR, pag. 185-208, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Alerta para as vigilâncias epidemiológicas das Secretarias Estaduais e Municipais de Saúde, sobre Leptospirose em situações de desastres naturais, como enchentes.** Nota Técnica nº 71 /2011 – CGDT/DEVIT/SVS/MS., Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis, Coordenação Geral de Doenças Transmissíveis. Disponível em: <<https://www.saude.gov.br/o-ministro/1322-saude-de-a-a-z/leptospirose/42560-alerta-para-as-vigilancias-epidemiologicas-das-secretarias-estaduais-e-municipais-de-saude-sobre-leptospirose-em-situacoes-de-desastres-naturais-como-enchentes>>. Acesso em: 04 abr. 2020.

NOBRE, C. A., et al. **Mudança do Clima no Brasil: Aspectos econômicos, sociais e regulatórios.** Capítulo 13, pág 233. 2011.

NUCCI, João Carlos. **Qualidade ambiental e adensamento urbano.** Um estudo de Ecologia e Planejamento da Paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). Curitiba. 2ª Edição. 2008.

OBREGÓN, G. O., et al. **Rainfall and climate variability: long-term trends in the Metropolitan Area of São Paulo in the 20th century.** *Climate Research.* Vol. 61, p.93 – 10, 2014. doi: 10.3354/cr01241.

OGASHAWARA, I.; ZAVATTINI, J. A.; TUNDISI, J. G. **The climatic rhythm and blooms of cyanobacteria in a tropical reservoir in São Paulo, Brazil.** *Brazilian Journal of Biology*, 2014, vol. 74, no. 1, p. 72-78. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.17412>

OLIVEIRA, R. C. de. **Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em áreas urbanas, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo: estudo de caso: bacia do córrego do Gregório – São Carlos (SP).** Dissertação (mestrado) EESC-USP, São Carlos, 1998.

PORFÍRIO, L. A., TRINDADE, A. M. C. C. **Análise de episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal.** Revista Brasileira de Climatologia. Ano 10. v.15, p.182-204, Jul./Dez. 2014.

Ramires, J. Z. S., Mello-Théry, N. A. **Uso e ocupação do solo em São Paulo, alterações climáticas e os riscos ambientais contemporâneos.** 2018. Disponível em <<https://journals.openedition.org/confins/12779?lang=pt#tocto1n1>> Acesso em: 14 mai. 2020.

ROLIM, G. S., et al. **Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo.** Bragantia, Campinas, v.66, n.4, p.711-720, 2007.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Revisado e Ampliado.** 2017.

SANTOS, A.R. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções.** São Paulo. 2012, 128p.

SÃO PAULO. **GeoSampa. Tutorial internet,** 2019. Disponível em: <[http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/downloadArquivoOL.aspx?orig=DownloadTutorial&arq=tutorial\\_mapa.pdf&arqTipo=TUTORIAL/](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/downloadArquivoOL.aspx?orig=DownloadTutorial&arq=tutorial_mapa.pdf&arqTipo=TUTORIAL/)>. Acesso em: 01 Jun. 2019.

SÃO PAULO. **Mapa digital da cidade de São Paulo.** 2020. Disponível em: <<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/SBC.aspx>> Acesso em: 19 Fev. 2020.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Apostila de Hidrologia.** Universidade Federal de Lavras, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano.** Livro Água Doce, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org.). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2003. Disponível em: <  
<https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>>  
Acesso em: 05 Mar. 2020.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. 2006. Disponível em: <  
[https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/arquivos/sqa\\_3.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/arquivos/sqa_3.pdf)> Acesso em: 18 Jun. 2020.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Cap. 1. 2007.

WOLLMANN C. A. M. SARTORI, da G. B. **O estudo das enchentes nas diferentes linhas de pesquisa da geografia física – uma revisão teórica**. Anais do XIII SBGFA. 2008.

VASCONCELOS, F. D. M; MOTA, F. S. **Gestão ambiental, legislação e os cursos hídricos na cidade de Fortaleza (CE), Brasil**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v.55, n.3, set 2020. doi.org/10.5327/Z2176-947820190579

WRIGHT, D., SMITH, J. A., VILLARINI, G., BACCK, L. M. **Hydroclimatology of flash flooding in Atlanta**. Water Resources Research, v. 48, n. 4, 2012.