

GABRIELA MARIA ROSOLEN

Resiliência de enchentes urbanas: estudo de caso no rio Tietê
na região oeste de São Paulo

Gabriela Maria Rosolen

Resiliência de enchentes urbanas: estudo de caso no rio Tietê
na região oeste de São Paulo

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual, como parte dos requisitos para a obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Marcia Regina de Freitas

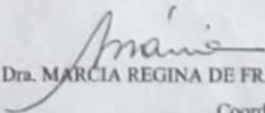
R811r	Rosolen, Gabriela Maria Resiliência de enchentes urbanas : estudo de caso no rio Tietê na região oeste de São Paulo / Gabriela Maria Rosolen – Guaratinguetá, 2018. 66 f. : il. Bibliografia : f. 62 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. Daniel Clemente Vieira Rêgo da Silva Coorientadora: Prof. Dra. Marcia Regina de Freitas 1. Inundações. 2. Resiliência (Ecologia). 3. Drenagem. I. Título CDU 556.166
-------	--

Pâmella Benevides Gonçalves
Bibliotecária/CRB-8/9203

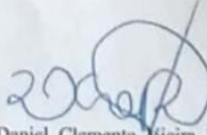
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

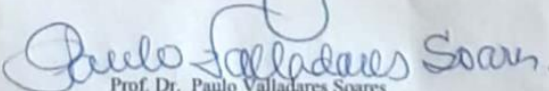
GABRIELA MARIA ROSOLEN

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUANDO EM ENGENHARIA CIVIL "
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Prof. Dra. MARCIA REGINA DE FREITAS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Daniel Clemente Vieira Rêgo da Silva
Orientador/ UNIFESP


Prof. Dr. Paulo Valladares Soares
UNESP-FEG


Prof. Dra. Marcia Regina de Freitas
UNESP-FEG

Novembro, 2018

Dedico este trabalho à minha amada família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Universo, por me possibilitar ter a experiência de estudar em uma das universidades mais renomadas do país em meio a infinitas possibilidades e por todo aprendizado ao longo dessa jornada.

Agradeço a minha mãe que sempre foi e sempre será minha inspiração de todos os dias pelo incentivo, pelo apoio, pelos sábios ensinamentos e pela minha formação como pessoa. Ao meu pai e toda a família Rosolen, que me ensinaram que a base de tudo está no lar e na nossa educação, por me incentivarem a sempre plantar o bem para colher o bem e me fizeram a mulher que sou hoje.

Ao meu professor Daniel, pelo profissionalismo, por acreditar no meu potencial, por muitas vezes entender meus momentos e me encorajar não só com este trabalho, mas também com questões pessoais, se mostrando mais que um orientador, um amigo. Por todo o conhecimento que me foi transmitido e que me impulsionaram para a conclusão dessa fase.

À minha amiga Beatriz Mota, pela paciência e pelos conselhos para a escrita deste trabalho para alcançar minha melhor versão. Aos meus amigos Sofia, Caio, Raissa, Milena, Bianca, Mirelle, Anna Beatriz, Daniel e Bruno que acompanharam de perto cada etapa e me incentivaram cada um à sua maneira.

E por fim, à minha república Tudo Pela Dona por todos os anos de parceria e carinho sem os quais eu não teria chegado até aqui.

"Se você traçar metas absurdamente altas e falhar, seu fracasso será muito melhor que o sucesso de todos"

James Cameron

RESUMO

A intensa urbanização descontrolada da cidade de São Paulo agrava a cada dia os casos de enchentes e aumenta os riscos da população. Apesar dos investimentos por parte do governo em obras de contenção de inundações e dos avanços de sistemas de monitoramento, os danos causados pela água são recorrentes. Tal fato mostra a vulnerabilidade do sistema da cidade frente à incidência das enchentes e ao mesmo tempo a falta de habilidade da população atingida de conviver com o risco frequente. Tal preocupação aponta o conceito de resiliência, o qual se trata da capacidade de um sistema de se recuperar após um distúrbio. Assim, este trabalho descreve a situação atual do rio Tietê e seu histórico ao longo dos anos, passando por reformas e adequações que acompanhassem o avanço da cidade. Como consequência, o presente trabalho avalia a resiliência da cidade em relação às inundações por meio de um índice multicritério denominado Índice Especializado em Resiliência de Enchentes Urbanas (S-FRESI) em dois cenários, um no ano de 2018 e outro em um futuro hipotético com crescimento populacional pré-definido. O índice foi testado com resultados coerentes na região da Lapa, zona Oeste de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: Enchentes. Resiliência. Cidades resilientes. Drenagem urbana.

ABSTRACT

The intense uncontrolled urbanization of the city of São Paulo aggravates floods and increases the risks of the population. Despite government investments in flood containment works and advances in monitoring systems, water damage is recurring. This fact shows the vulnerability of the city's system to the incidence of floods and, at the same time, the inability of the affected population to cope with the frequent risk. Such concern points to the concept of resilience, which is about the ability of a system to recover after a disturbance. Thus, this work describes the current situation of the river Tietê and its history over the years, undergoing reforms and adjustments that accompany the advance of the city. As a consequence, the present study evaluates the city's resilience to floods through a multi-criteria index called Specialized Index of Urban Floods (S-FRESI) in two scenarios, one in 2018 and another in a hypothetical future with pre-defined population growth. The index was tested with consistent results in the region of Lapa, west of São Paulo.

KEYWORDS: Floods. Resilience. Resilient cities. Urban drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2 - A situação dos reservatórios e principais pontos de inundação dos rios pinheiros e tietê na sub-bacia penha- pinheiros.....	22
Figura 3 - Uso e ocupação do solo da bacia alto tietê.....	24
Figura 4 - Tipologias de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas.....	26
Figura 5 - Número de artigos sobre resiliência de enchentes publicados no jornal internacional de redução de risco de desastres no período de 2012 a 2018.....	31
Figura 6 - Indicador s-fresi para os dois cenários avaliados: presente e futuro.....	40
Figura 7 - Carro tomado pela água de enchente do dia 20/03/2018.....	42
Figura 8 - Gastos da gestão de são paulo com obras e manutenção contra inundações em r\$ milhões retirados das contas públicas da prefeitura.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	sub-bacias da bacia do alto tietê e seus municípios integrantes.....	18
Tabela 2	- definições de resiliência segundo artigos acadêmicos.....	28
Tabela 3	- valores do custo unitário básico de construção para padrões residenciais em r\$/m ² no estado de são paulo, valores de janeiro de 2018.....	37
Tabela 4	- classificação econômica.....	38
Tabela 5	- porcentagem da edificação danificada (ped).....	38
Tabela 6	- dados demográficos da região da lapa- sp.....	52

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

CCS	Consórcio de Compensação de Seguros
CUB	Custo Unitário Básico
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
S-FRESI	Índice Especializado em Resiliência de Enchentes Urbanas
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tiete

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	JUSTIFICATIVA.....	14
3	OBJETIVOS.....	15
3.1	GERAL	15
3.2	ESPECÍFICOS	15
4	REVISÃO DA LITERATURA	16
4.1	A BACIA DO ALTO-TIETÊ.....	16
4.2	O HISTÓRICO DAS ENCHENTES NA CIDADE DE SÃO PAULO.....	19
4.3	PREJUÍZOS CAUSADOS PELAS ENCHENTES	25
4.4	RESILIÊNCIA URBANA	27
5	METODOLOGIA	31
5.1	FORMULA S-FRESI.....	32
5.2	CENÁRIO E COLETA DE DADOS.....	33
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6.1	AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA DAS ENCHENTES NOS ENTORNOS DO RIO TIETÊ ATRAVÉS DO ÍNDICE ESPECIALIZADO EM RESILIÊNCIA DE ENCHENTES URBANAS	37
6.1.1	Análise dos resultados.....	40
6.2	ANÁLISE DO CARÁTER SUSTENTÁVEL DO NOVO CONCEITO DE “RESILIÊNCIA”.....	41
7	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	46
	ANEXO A: Cálculos	52

1 INTRODUÇÃO

São Paulo é o município brasileiro com 12,11 milhões de habitantes, capital do estado de São Paulo e principal centro financeiro, corporativo e mercantil da América do Sul (IBGE, 2018). O rio Tietê é uma das primeiras paisagens a serem vistas por quem chega à cidade, seja do aeroporto em Guarulhos ou das rodovias Anhanguera e Bandeirantes.

Segundo o DAEE (2018), o rio nasce em Salesópolis/SP e começa a ser poluído 15 km depois, em Mogi das Cruzes/SP. A partir daí continua sendo um marco de degradação no estado de São Paulo que se estende por 250 km até se tornar limpo novamente na cidade de Barra Bonita/SP. São 134 toneladas de lixo inorgânico que são despejados no rio diariamente, que juntos a sofás, geladeiras e outros entulhos fazem com que 5 dos 7 metros de profundidade deste sejam um grande depósito de lixo.

Desde que as obras de despoluição do rio começaram, o cenário vem mudando. Aumentou-se o número de coleta e tratamento de esgoto na região, o que possibilitou que o Tietê deixasse de receber 800 milhões de litros de esgoto por dia (BORGES, 2014), porém, tais obras ainda não foram o suficiente para extinguir outro problema na vida de quem vive na capital: o agravamento das enchentes naturais e a ampliação de sua frequência, além da criação de novos pontos de alagamento. O motivo de tais impactos é a crescente impermeabilização do solo com aumento do volume pluvial escoado e redução de amortecimento, o que gera aumentos nas vazões máximas do rio (TUCCI & GENZ, 1995).

“A ampliação dos danos relativos aos problemas de drenagem deve-se também aos projetos concebidos e executados para resolvê-los; pois impera, ainda hoje, entre projetistas, a ideia de que o melhor é conduzir a água gerada para longe o mais rápido possível, aumentando a capacidade condutora do sistema. No entanto, tem se observado que esta abordagem, além de ser financeiramente dispendiosa, apenas provoca a transferência do ponto de alagamento, exigindo futuramente mais projetos e obras ainda mais caros e complexos.” (TUCCI ; SOUZA; CRUZ, 2009)

Apesar do controle de inundações seguir uma sequência lógica atualmente, com estudos hidrológicos, respostas de vazão fluvial e projeto estrutural de sistema capaz de suportar o fluxo do projeto e a implementação da solução, resta sempre um risco residual de uma falha ou evento biológico maior do que o que havia sido considerado em projeto (PLATE, 2002). Tal episódio aumenta a exposição a riscos no desenvolvimento urbano.

Segundo Ahern (2011), para a resiliência, o fundamental é adaptabilidade das discussões e conceitos. Metas estão evoluindo para sistemas à prova de falhas, criando assim o conceito de sistema resiliente. A forma como políticas lidam com o caso das inundações também está em processo de mudança (PENDER; NÉELZ, 2007), o que eram consideradas como estratégias de defesa contra inundação, agora se adaptaram para abordagens de gestão de riscos de inundação.

Desastres naturais como enchentes afetam a vida de aproximadamente 102 milhões de pessoas a cada ano no mundo, os casos principais ocorrem em países em desenvolvimento e em grandes centros urbanos, com a tendência de que a frequência das mesmas aumente nas próximas décadas (FREITAS; XIMENES, 2012). Assim, o conceito de urbanismo resiliente tornou-se essencial para que cidades como São Paulo resistam a desastres e deixe de se tornar cada vez mais vulneráveis e mais ameaçadas.

Dentre as consequências das enchentes pode-se citar: fechamento de vias; impossibilidade de funcionamento de comércios em vias afetadas; transtorno do sistema de transporte; as obras exigirão desapropriação e/ou reassentamento; ruído, poeira e odores; alterações nos valores das contas de água, com o adicionamento dos serviços de tratamento de esgoto; transmissão de doenças; comprometimento da rede e fontes alternativas de abastecimento de água, dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, bem como dos serviços de coleta e disposição do lixo; prejuízos econômicos e perdas materiais que impactam a economia local; mortalidade em casos mais graves (FREITAS; XIMENES, 2012). Por tal motivo, vê-se a urgência da necessidade de uma abordagem de planejamento para reduzir ao máximo os efeitos das enchentes e que medidas de proteção contra inundações se adaptem aos princípios de resiliência encontrados no mundo atual. Sendo assim, este trabalho visa medir a resiliência do caso das enchentes do rio Tietê, contribuindo para planejamentos futuros quanto a tal problemática pelos tomadores de decisão.

2 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa propõe medir o grau de resiliência urbana na cidade de São Paulo para que medidas de proteção contra inundações adaptem suas abordagens aos princípios de resiliência encontrados no mundo atual. Assim, com uma abordagem adequada de planejamento, pode-se reduzir os impactos causados pelas enchentes, melhorando a qualidade de vida da população paulista e reduzindo gastos públicos ao longo do tempo.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Medir o grau de resiliência das enchentes no entorno do Rio Tietê na região Oeste da cidade de São Paulo.

3.2 ESPECÍFICOS

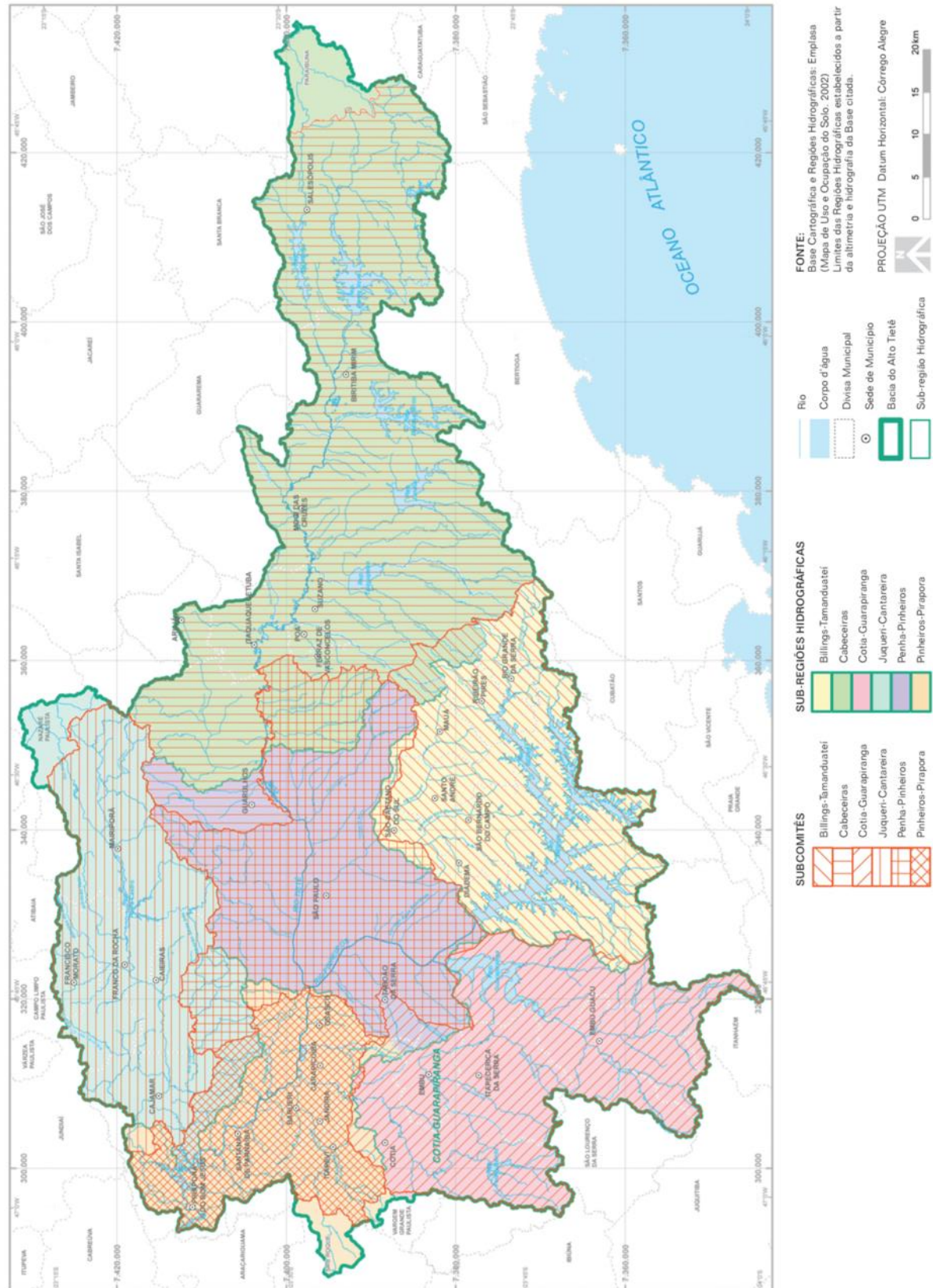
- Revisar na literatura o histórico das enchentes em São Paulo
- Avaliar a resiliência das enchentes no entorno do Rio Tietê através do Índice Especializado em Resiliência de Enchentes Urbanas
- Analisar o caráter sustentável do novo conceito de “resiliência”

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 A BACIA DO ALTO-TIETÊ

Para compreender as enchentes nas regiões próximas ao Rio Tietê, é necessário primeiramente conhecer sua bacia. A Figura 1 mostra a área de drenagem da bacia do Alto-Tietê, suas seis regiões hidrográficas e seus cinco subcomitês que compõem a UGRHI, Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê, e totaliza 5.650 km². Sua extensão, dividida em sub-bacias como mostra a Tabela 1 a seguir, é semelhante na Região Metropolitana de São Paulo, apresenta 37% de sua área urbanizada, ocupa 2,7% do território paulista e concentra quase 50% da população total do estado. Dispõe cerca de 200 m³/ano/habitante de água e importa aproximadamente 60% do mesmo para abastecimento público (KECK; JACOB, 2002).

Figura 1 A bacia do Alto Tietê, suas regiões hidrográficas e subcomitês.



Fonte: Emplasa (2002)

Tabela 1 Sub-bacias da bacia do Alto Tietê e seus municípios integrantes

BACIA DO ALTO TIETÊ	
SUB-BACIA	MUNICÍPIOS INTEGRANTES
Cabeceiras	Arujá
	Santa Isabel
	Guararema
	Biritiba- Mirim
	Ferraz de Vasconcelos
	Itaquaquetuba
	Mogi das Cruzes
	Poá
	Salesópolis
	Suzano
Cotia- Guarapiranga	Cotia
	Embu
	Embu-Guaçu
	Itapeçica da Serra
	São Lourenço da Serra
	Juquitiba
	Vargem Grande Paulista
Penha- Pinheiros	São Paulo
	Taboão da Serra
	Guarulhos
Pinheiros- Pirapora	Carapicuíba
	Itapevi
	Jandira
	Osasco
	Pirapora do Bom Jesus
	Santana de Parnaíba
	Barueri
Juqueri- Cantareira	Cajamar
	Caieiras
	Francisco Morato
	Franco da Rocha
	Mairiporã
Bilings	Diadema
	Mauá
	Ribeirão Pires
	Rio Grande da Serra
	Santo André
	São Bernardo do Campo
	São Caetano do Sul

Fonte: Adaptado de FUSP (2009)

A cidade de São Paulo está localizada na sub-região Penha-Pinheiros. Pesquisas da FUSP (2009) apontam o aumento da temperatura média do ar em 2,1°C, aumento da precipitação anual de 395 mm e a diminuição da umidade relativa do ar em 7% nos últimos 70 anos na área da Penha, enquanto a área de Pinheiros, por estar localizada no extremo jusante da bacia, acaba concentrando todos os efeitos de montante naturalmente.

4.2 O HISTÓRICO DAS ENCHENTES NA CIDADE DE SÃO PAULO

Os recursos naturais são essenciais à vida no planeta em que vivemos e deve-se compreender a relação dos mesmos com a paisagem local.

“A paisagem em muitos locais é indelevelmente marcada pela presença de um rio que confere uma fisionomia típica. O ser humano, gregário, desde as remotas civilizações, procurou seguir, até por razões de sobrevivência, os cursos d’água. As civilizações que floresceram na Europa, Ásia, América e em outros continentes o fizeram acompanhando grandes rios como o Tamisa, o Reno, o Danúbio, o Pó, o Nilo, o Mississipi, etc. Em território brasileiro, após a ocupação litorânea, a interiorização foi acontecendo através dos rios, [...] no estado de São Paulo, o rio Tietê, que propiciou as Monções, as Entradas e Bandeiras, que viriam a enriquecer e alargar os horizontes da nação brasileira” (ROCHA, 1991:21).

A partir disso, a colonização do planalto paulistano passou a seguir o entorno do rio Tietê e rio Pinheiros. Os bairros hoje conhecidos como Pinheiros e Santo Amaro eram antes visitados pelos jesuítas basicamente pelo modal de transporte fluvial (PONTE, 1995). Em 1867, a ocupação das várzeas da cidade se transforma. Chega um novo modal, o ferroviário. É inaugurada a primeira ferrovia paulista, que interligava São Paulo ao Porto de Santos. A ampliação da malha ferroviária na cidade acentuou a revolução nos transportes e com ela o surto industrial em todo território paulistano (JORGE, 2003).

Nesse contexto, ocorrem transformações profundas na paisagem de São Paulo e também nas características de origem dos seus sistemas naturais. O rio agora não é capaz de se purificar ao longo de seu curso das cargas que lhe são despejadas em excesso pelo paulistano. O solo é desperdiçado com práticas de agricultura e pecuária sem técnicas de manejo adequadas.

“Essas práticas permitem a ação destrutiva do ciclo hidrológico, que as plantas verdes não consigam absorver e purificar a quantidade de gases que se espalham pelo ar e que agroquímicos sejam incorporados às plantas, aos solos e aos recursos hídricos, causando graves consequências ao meio e, por conseguinte, à saúde da população. Assim, os novos elementos estranhos ao ambiente natural, introduzidos

pela ação antrópica, resultam em uma evidente falta de compatibilidade” (ZANATTA; SCUDELLER, 2014).

Desencadeou-se então, uma série de fenômenos indesejados. Segundo ZANATTA (2014), os avanços tecnológicos da época não foram suficientemente acompanhados de estudos sobre os sistemas naturais, e assim, apesar da expansão da cidade e das construções históricas e monumentais como grandes centrais hidrelétricas impulsionarem a economia local, houve um impacto ambiental significativo em relação ao clima, chuvas, qualidade do ar e das águas do rio e, sobretudo, enchentes. Atualmente, tais mudanças afetam diretamente a qualidade de vida de quem vive na cidade.

A natureza dos rios da cidade de São Paulo está intimamente relacionada aos casos de enchente da região, assim como o projeto de saneamento da cidade, a valorização fundiária das propriedades urbanas e o aproveitamento hidrelétrico do alto Tietê. Considera-se ainda que, além de fazer parte da história da cidade como calamidade pública, as enchentes também se tratam de referências culturais do paulistano (SEABRA, 1995).

A crescente urbanização da bacia fez com que a área se tornasse impermeável e como consequência, numa escala anual, tem sido estimada uma redução de 75% do total da recarga natural do aquífero freático aos níveis atuais. A impermeabilização urbana, associada aos eventos de chuva, também aumenta o volume do escoamento superficial, principal responsável pelas enchentes (VELÁSQUEZ, 1996). As folhas e os troncos retêm grande parte dos volumes de água precipitados quando uma bacia é ocupada por vegetação natural, ademais o escoamento superficial é prejudicado por obstáculos que garantem a maior infiltração de água. Caso a área for isenta de cobertura vegetal natural, total ou parcialmente impermeabilizada, como em áreas urbanas, tem-se o aumento de vazões máximas e de volumes totais máximos escoados, assim como no tempo de concentração (DAEE, 1989).

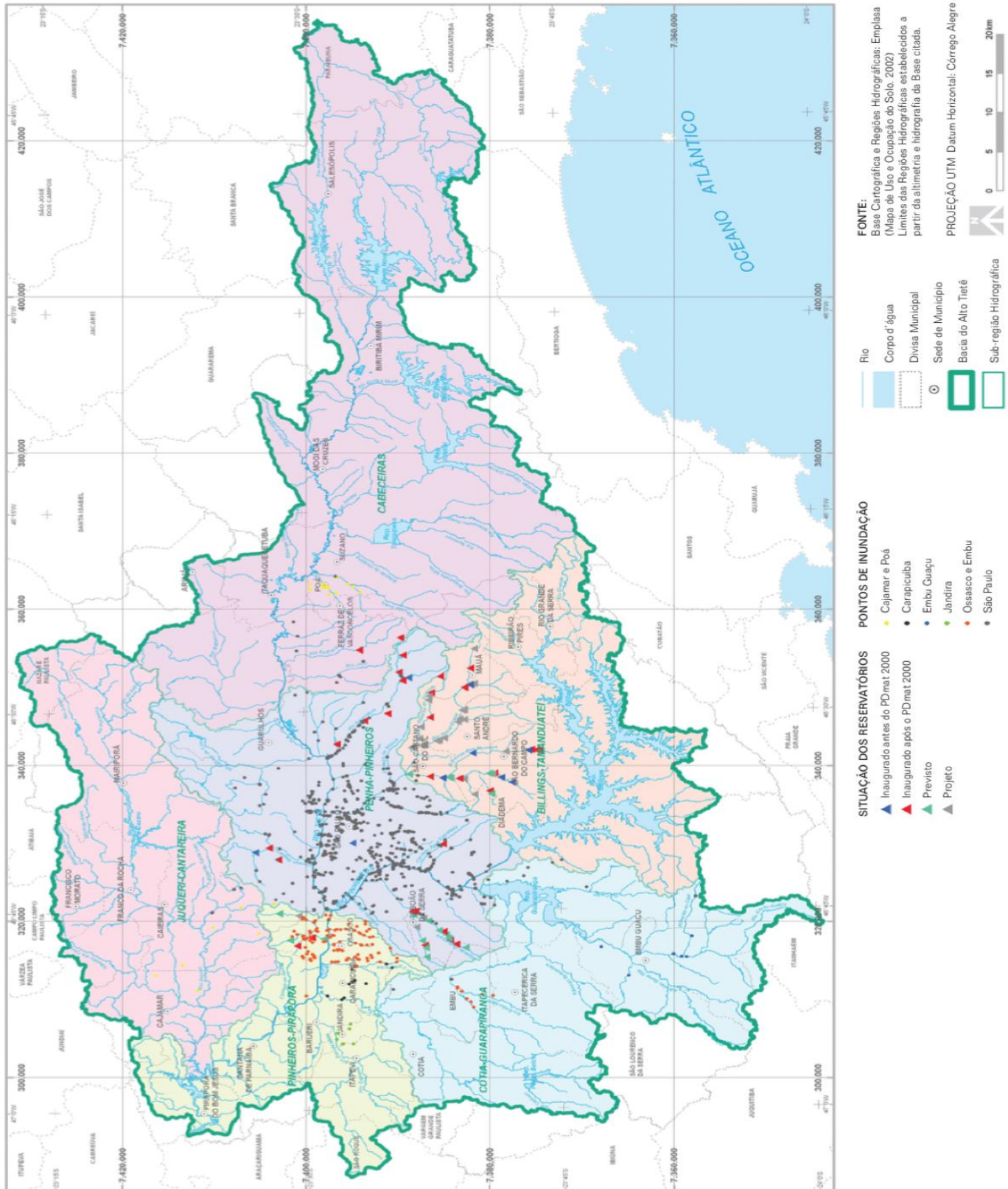
Outro fator que agravou o caso de enchentes em São Paulo foi o caso da reversão de fluxo do Rio Pinheiros. Em 1901, a empresa canadense Light & Power, possuidora do monopólio da geração de energia da época, passa a represar as águas do rio Tietê à jusante da capital por meio da barragem hoje conhecida como Edgar de Souza, localizada na Estrada dos Romeiros, em Santana do Parnaíba. Em 1926, foi criado o Sistema Billings, onde o fluxo das águas do Rio Pinheiros foi revertido e, assim, estas passaram a ser enviadas para esse novo sistema que consistia em reservatórios na borda do planalto. Ao fim do percurso, no reservatório de Rio das Pedras, a água começou a descer por dutos forçados por mais de 700

metros pela Encosta Serrada Paulista, a fim de movimentar a usina Henry Borden (ELETROPAULO, 1995).

Com a inversão da vazão do rio criou-se, então, o que Alves Filho e Ribeiro (2006) chamam de “grande lago” na cidade de São Paulo. As águas barradas em Edgar de Souza se dirigiam para a represa Billings, e assim passaram a ser um risco constante para a população da região e de municípios vizinhos, pois se tornaram receptáculos finais dos esgotos e tornou a bacia sujeito periódico aos alagamentos.

Houve, então, em 1929, nas regiões do bairro do Bom retiro a maior enchente já ocorrida na história da cidade de São Paulo, o que redefiniu o problema em relação ao seu grau de importância e seus aspectos julgados essenciais (SEABRA, 1995). A partir de tal ocorrido, implanta-se uma preocupação sobre o problema para os engenheiros da época. Sabiam que novas áreas inundadas, mais à jusante do rio, haviam substituído o espaço que antes era destinado ao armazenamento natural, que derivavam de áreas permeáveis, várzeas e talvegues naturais. Todo este espaço se tornou parte da urbanização. Somado a este problema, estão as canalizações do rio, que amplificam os picos de vazão dado que são realizadas muitas vezes de forma radical, alterando o comportamento das enchentes. Porém, a confrontação de tal problema por meio de intervenções pontuais não se mostrou suficiente e ainda agravou, na maioria dos casos, as situações que já eram consideradas críticas, simplesmente transferindo os pontos de alagamento (Figura 2) (SILVA, 2005).

Figura 1 - A situação dos reservatórios e principais pontos de inundação dos rios Pinheiros e Tietê na sub-bacia Penha- Pinheiros.

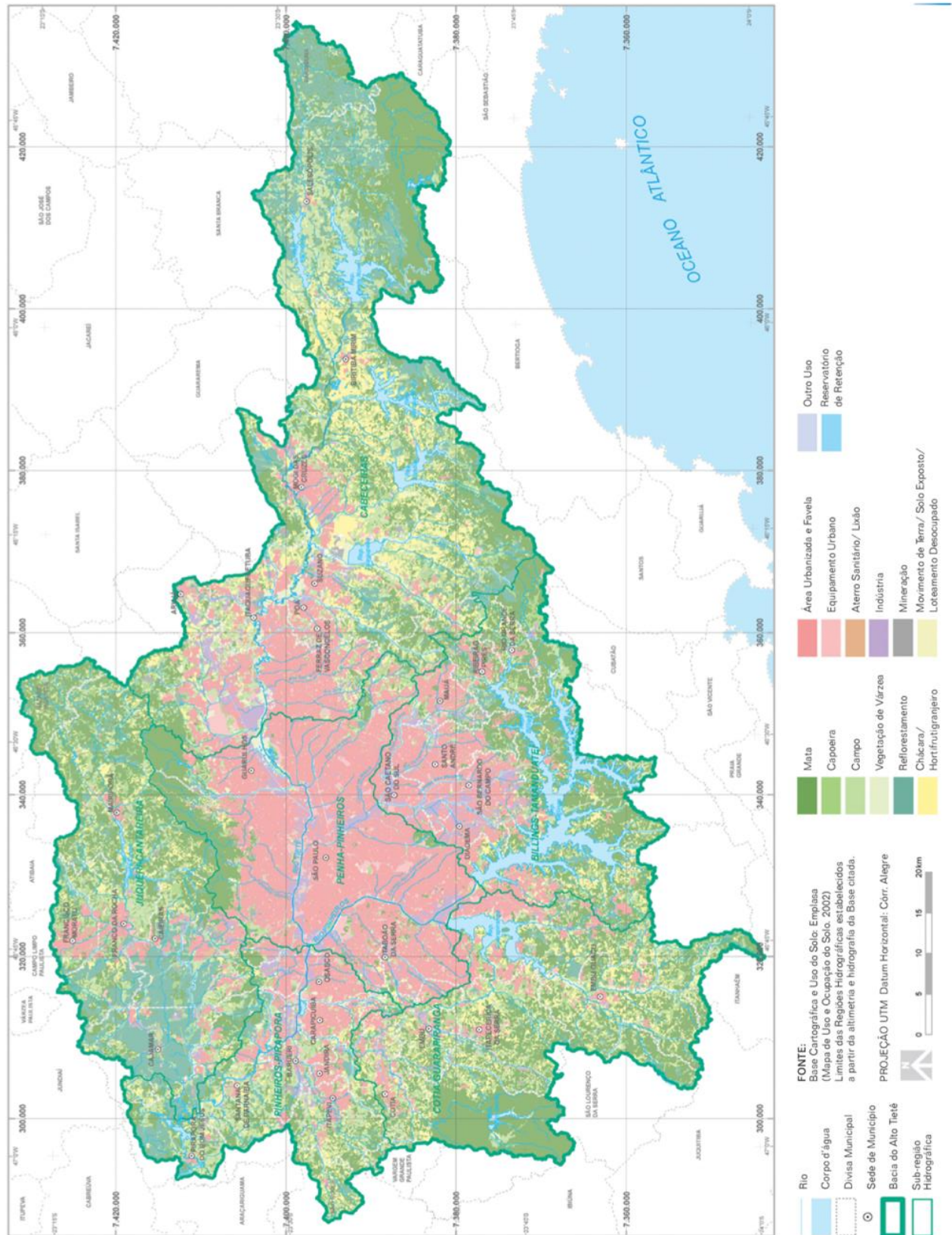


Fonte: Emplasa (2002)

Começaram-se assim, a serem criadas medidas de combate às enchentes. Segundo Velasquéz (1996), estas podem ser classificadas de acordo com a sua natureza. Estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais são as consideradas preventivas, como obras propondo a antecipação dos problemas decorrentes de enchentes a partir da modificação de rios, construção de polders e outros. Assim, permitem a ocupação de áreas inundáveis (TUCCI, 1993). As medidas não-estruturais podem ser de natureza institucional, administrativa ou financeira e podem ser adotadas por legislação. São indicadas para a orientação de habitantes da área inundável para que melhor convivam com o fenômeno (DAEE, 1989). Há também uma subdivisão, onde se encaixam, entre outras formas, as medidas de controle na fonte (*source control*) que tem a finalidade de promover a infiltração da água em seu local de incidência, como por exemplo, pavimentos porosos, valas, cobertura permeável, etc. Também podem armazenar temporariamente ou permanentemente parte do volume escoado. Estas são descritas por CANHOLI (1995) como medidas estruturais não convencionais e visam reduzir o pico do escoamento superficial.

Segundo a EMPLASA (1987), o motivo da quantidade atual de enchentes se dá pela ocupação inadequada de espaços que naturalmente dariam vazão e escoamento ao fluxo fluvial e pluvial, então no início da década de 70 integrou-se um programa de infraestrutura viária às obras do rio. A Figura 3 revela como é a ocupação e o uso do solo atualmente na bacia do Alto Tietê, composto de área urbanizada e favela, equipamento urbano, aterro sanitário e lixão, indústria, mineração, movimento de terra, solo exposto e loteamento desocupado, chácara (somando-se 27,79% da área total da RMSP, Região Metropolitana de São Paulo), reflorestamento (8,63% da RMSP), usos não urbanos como hortifrutigranjeiros (3,05%), vegetação de várzea, campo, capoeira, mata, reservatório de retenção e outros.

Figura 2- Uso e ocupação do solo da bacia Alto Tietê.



Fonte: Emplasa (2002).

Outro projeto surge ao final da década de 80, com o mesmo intuito de regularizar o regime das enchentes. Dessa vez, a solução pontual visava desassorear o leito do rio e aprofundar a calha do Tietê. Para Silva (2005), as obras ocorreram lentamente e não surtiram muitos efeitos.

Ao final do século XX, o governo estadual consegue capital estrangeiro para realizar obras que visavam eliminar a questão das enchentes na cidade e tornar o rio navegável. Segundo Ab'Saber (2003), existe uma falta de conhecimento sobre as características de planície aluvial da bacia e isso leva a medidas pouco eficientes para deter as cheias.

Outro projeto realizado foi o revestimento das margens do rio, que apresentavam uma dinâmica intensa de sedimentação ao passar próximo da região metropolitana (BEVILACQUA, 1996). A forma de proteção foi empregada contra a ação hidráulica, o revestimento se dava por uma manta que tornou a superfície mais direta e com menor rugosidade, permitindo maior velocidade da água. A medida em que chove, se tem um aumento do lençol freático e este soma-se ao volume total do rio junto a galerias e escoamento superficial. Tal volume pode, com a reforma, percolar e passar pelo talude sem carregar materiais e sedimentos. O projeto garantiu também a redução de manutenções, uma vez que com as margens do rio nas condições de terra ou gramado, a manutenção era maior (SILVA, 2005).

Segundo dados do DAEE (2018), a obra mais recente foi o aprofundamento da calha do rio iniciado em abril de 2002 e resultou na remoção de cerca de 6,8 milhões de m³ de solo, o que gerou o aumento de 2,5 metros de profundidade. Tal obra resultou na amplificação da vazão do rio Tietê de 640 para 1060m³/s. O objetivo desta fase do projeto de revitalização do rio era, além do controle das enchentes, melhorar as condições de escoamento de 66 afluentes e outras 600 galerias de drenagem, aumentar a segurança nas vias marginais com a implantação de barreiras rígidas de concreto, auxiliar na drenagem das pistas marginais e oferecer melhorias visuais no que se diz respeito ao paisagismo da cidade.

Para SILVA (2005), o problema do rio vem se agravando a cada nova intervenção. Tal fato mostrado pela história vem atraindo a cidade para novas obras num círculo vicioso de grandes obras que não geram grandes efeitos. Porém, ainda prevalecem os mesmos interesses que cercavam o rio Tietê desde a década de 30 até a atualidade.

4.3 PREJUÍZOS CAUSADOS PELAS ENCHENTES

Inundações em cidades brasileiras são cada vez mais estudadas devido ao aumento de

sua ocorrência e agressividade. Tais inundações geram grandes impactos na sociedade e exigem onerosos trabalhos de recuperação, bem como a perda de imóveis e bens materiais. Adicionado a tais consequências, as águas também trazem um aumento significativo de doenças como cólera e diarreia. Também podem trazer o crescimento de casos de malária e febre amarela na população afetada, devido a existência de vetores de insetos na água que se mantém empoçada após a enchente. Frequentemente também acontecem doenças respiratórias, principalmente em crianças mais novas e bebês (WISNER et al., 2003).

Estes e outros danos são representados na Figura 4 e separados em danos tangíveis e intangíveis e, em segundo nível, em diretos e indiretos.

Figura 3 Tipologias de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas.

DANOS TANGÍVEIS	
Danos Diretos	Danos Indiretos
Danos físicos aos domicílios: construção e conteúdo das residências. Danos físicos ao comércio e serviços: construção e conteúdo (mobiliário, estoques, mercadorias em exposição, etc.). Danos físicos aos equipamentos e plantas industriais. Danos físicos à infraestrutura.	Custos de limpeza, alojamento e medicamentos. Realocação do tempo e dos gastos na reconstrução. Perda de renda. Lucros cessantes, perda de informações e base de dados. Custos adicionais de criação de novas rotinas operacionais pelas empresas. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados. Interrupção da produção, perda de produção, de receita e, quando for o caso, de exportação. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados. Perturbações, paralisações e congestionamento nos serviços, custos adicionais de transporte, efeitos multiplicadores dos danos sobre outras áreas.
DANOS INTANGÍVEIS	
Danos Diretos	Danos Indiretos
Ferimentos e perda de vida humana. Doenças pelo contato com a água, como resfriados e infecções. Perda de objetos de valor sentimental. Perda de patrimônio histórico e cultural. Perda de animais de estimação.	Estados psicológicos de estresse e ansiedade. Danos de longo prazo à saúde. Falta de motivação para o trabalho. Inconvenientes de interrupção e perturbações nas atividades econômicas, meios de transporte e comunicação. Perturbação no cotidiano dos moradores.

Fonte: Machado et. al. (2005)

Danos diretos são resultado do contato direto com a água contaminada. Se relacionam, então, a deterioração física de edifícios e seus conteúdos, doenças e perdas de vidas. Danos indiretos resultam de perturbações originadas do sistema produtivo. Se relacionam, portanto, a redução de atividades econômicas, perdas relacionadas à arrecadação de impostos, custos de serviços de emergência e de defesa civil, custos com limpeza, desemprego. (MACHADO et al., 2005; TUCCI, 2000). Danos tangíveis e intangíveis são considerados danos que podem ser

classificados em termos monetários, sendo que a diferenciação entre os dois se relaciona ao grau de dificuldade em determinar um método (MACHADO et al., 2005).

A expressão “dano” significa, segundo o dicionário da língua portuguesa, a ação ou efeito de causar prejuízo ou estrago. A abordagem deste trabalho com enfoque em perdas de vidas e do bem-estar da população, comparado com condições pré-enchente, caracteriza o dano associado às inundações. Portanto, avaliar danos pressupõe qualificá-los sempre que possível (MESSNER et al., 2007).

Os danos se qualificam quando se distinguem em: perdas humanas, ambientais ou materiais e devem ser quantificados em função do prejuízo que estes geram (TACHINI, 2010). Logo, se os danos são quantificados e existe a possibilidade de se atribuir um valor monetário aos mesmos, através de algum método, então estes são definidos como “prejuízos”. Com esse sentindo, então, pode se dizer que quando se diz “os prejuízos associados às inundações”, esta abordagem se trata de uma questão econômica (MESSNER et al., 2007).

Righetto (2005) aborda informações relevantes retiradas da *Division of Basic and Engineering Sciences*, Divisão de Ciências Básicas e Engenharia da UNESCO, Organização das Nações Unidas para a Educação a Ciência e a Cultura, que dizem que para cada US\$100 gastos com riscos e desastres, US\$96 se direcionam a atender emergências e reconstruções e apenas o restante se direciona à prevenção nas comunidades internacionais. Informa também que para cada dólar que é investido na prevenção de enchentes, acontece uma redução de até US\$25 em perdas com desastres. Portanto, o valor total do prejuízo pode ser evitado.

4.4 RESILIÊNCIA URBANA

Para fornecer suporte para a tomada de decisão em áreas em que se visa contenção de riscos e outras melhorias, tanto ambientais e sociais, quanto econômicas e tecnológicas, criou-se a análise de resiliência a desastres (NORRIS et al., 2008). O conceito de resiliência atravessa muitas disciplinas na literatura, principalmente às relacionadas ao campo de vulnerabilidade, riscos, desastres e sustentabilidade. A Tabela 2 revela algumas definições encontradas na literatura a partir de 2005.

Tabela 2 - Definições de resiliência segundo artigos acadêmicos

TÍTULO DO ARTIGO	DEFINIÇÃO DE RESILIÊNCIA
SOCIAL-ECOLOGICAL RESILIENCE TO COASTAL DISASTERS (ADGER ET AL. 2005) RESILIÊNCIA SOCIO-ECOLÓGICA A DESASTRES COSTEIROS	A resiliência é a capacidade de sistemas sócioecológicos interligados de absorver perturbações recorrentes, como furacões ou inundações, de modo a reter estruturas, processos e <i>feedbacks</i> essenciais.
SCHOLARLY NETWORKS ON RESILIENCE, VULNERABILITY AND ADAPTATION WITHIN THE HUMAN DIMENSIONS OF GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE (JANSSEN ET AL. 2006) REDES ACADÊMICAS SOBRE RESILIÊNCIA, VULNERABILIDADE E ADAPTAÇÃO DENTRO DAS DIMENSÕES HUMANAS DA MUDANÇA AMBIENTAL	A resiliência determina a persistência de relacionamentos dentro de um sistema e é uma medida da capacidade desses sistemas para absorver a mudança de variável de estado, variáveis de acionamento e parâmetros, e ainda persistir.
ADAPTATION TO ENVIRONMENTAL CHANGE: CONTRIBUTIONS OF A RESILIENCE FRAMEWORK (NELSON ET AL. 2007) ADAPTAÇÃO À MUDANÇA AMBIENTAL: CONTRIBUIÇÕES DE UM QUADRO DE RESILIÊNCIA	Resiliência é a quantidade de alterações que um sistema pode sofrer e ainda manter a mesma função e estrutura, mantendo as opções para se desenvolver.
A PLACE-BASED MODEL FOR UNDERSTANDING COMMUNITY RESILIENCE TO NATURAL DISASTERS (CUTTER ET AL. 2008) UM MODELO BASEADO EM LOCAIS PARA ENTENDER A RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE A DESASTRES NATURAIS	A resiliência é definida como a capacidade de um indivíduo (ou comunidade) de se adaptar (resistindo ou mudando) para alcançar e manter sua sobrevivência e funcionamento, o aspecto social menos formal se relaciona com a capacidade de recuperação dos indivíduos com o mínimo de interrupções.
COMMUNITY RESILIENCE AS A METAPHOR, THEORY, SET OF CAPACITIES, AND STRATEGY FOR DISASTER READINESS (NORRIS FH ET AL. 2008) RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA COMO METÁFORA, TEORIA, CONJUNTO DE CAPACIDADES E ESTRATÉGIA PARA PRONTIDÃO PARA DESASTRES	A resiliência comunitária é um processo que liga uma rede de capacidades adaptativas (recursos com atributos dinâmicos) à adaptação após uma perturbação ou adversidade.

COMMUNITY RESILIENCE: AN INDICATOR OF SOCIAL SUSTAINABILITY (MAGIS K. 2010) RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA: UM INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE SOCIAL	A resiliência da comunidade é a existência, o desenvolvimento e o envolvimento de recursos da comunidade por membros da mesma para prosperar em um ambiente caracterizado por mudanças, incertezas, imprevisibilidade e surpresa.
FRAMEWORK FOR ANALYTICAL QUANTIFICATION OF DISASTER RESILIENCE (CIMELLARO GP ET AL. 2010) ESTRUTURA PARA QUALIFICAÇÃO ANALÍTICA DA RESILIÊNCIA A DESASTRES	A resiliência é definida como uma função que indica a capacidade de manter um nível de funcionalidade ou desempenho para um determinado edifício, ponte, redes de segurança ou comunidade, durante um período definido como o tempo de controle geralmente decidido pelos proprietários ou pela sociedade (geralmente é o ciclo de vida, a vida útil do sistema).
DISASTER RESILIENCE INDICATORS FOR BENCHMARKING BASELINE CONDITIONS (CUTTER ET AL. 2010) INDICADORES DE RESILIÊNCIA DE DESASTRES PARA O BENCHMARKING DE CONDIÇÕES BÁSICAS	A resiliência é um conjunto de capacidades que podem ser fomentadas por meio de intervenções e políticas, o que, por sua vez, ajuda a construir e melhorar a capacidade de uma comunidade de responder e se recuperar de desastres.
MEASURING CAPACITIES FOR COMMUNITY RESILIENCE (SHERRIEB K, NORRIS FH, GALEA S. 2010) MEDINDO A CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA	A resiliência é a capacidade da comunidade de "se recuperar" do estresse severo, que inclui quatro capacidades adaptativas: Desenvolvimento Econômico, Capital Social, Informação e Comunicação.
FROM FAIL-SAFE TO SAFE-TO-FAIL: SUSTAINABILITY AND RESILIENCE IN THE NEW URBAN WORLD (AHERN J. 2011) DE FAIL-SAFE PARA SAFE-TO-FAIL: SUSTENTABILIDADE E RESILIÊNCIA NO NOVO MUNDO URBANO	Resiliência é a capacidade dos sistemas de se reorganizar e se recuperar de mudanças e distúrbios sem mudar para outros estados - em outras palavras, sistemas que são "seguros para falhar".

Fonte: Adaptado de Cai et al. (2018).

A resiliência descreve basicamente a capacidade de um sistema se recuperar de um distúrbio sem alterar suas configurações. Nesse âmbito, entra a resiliência urbana e sua relevância para criação de cidades mais seguras. Colabora, assim, para a compreensão dos riscos urbanos e na forma de melhor geri-los, além de fornecer normas práticas que podem

orientar as decisões das partes interessadas a incluir a gestão de desastres e riscos em investimentos urbanos (CARVALHO; COSTA, 2015).

Para construir a capacidade de resiliência das cidades por meio de paisagem e planejamento urbano é preciso que planejadores e projetistas identifiquem processos imprevistos e perturbações que a cidade provavelmente enfrentará, suas frequências e intensidades e assim criar a habilidade adaptativa para responder a tais eventos (VALE et al., 2007). A capacidade de resiliência também exige a construção de uma infra-estrutura social adaptável para garantir uma participação considerável e alcançar a equidade diante de mudanças e distúrbios socioeconômicos e da participação significativa das partes interessadas no planejamento e nas decisões políticas. Pensar em resiliência demanda uma nova maneira de pensar sobre sustentabilidade. A resiliência é um conceito mais sagaz do que normativo, porque, para ser eficaz, a resiliência deve ser evidentemente baseada e advertida pelos elementos e práticas ambientais, ecológicas, sociais e financeiras de um local específico (PICKETT et al., 2004).

Apesar do termo “resiliência” ser abundantemente abordado na literatura, há poucos estudos sobre a mensuração atual ou o desenvolvimento de estruturas e índices de medição da resiliência (LAM et al., 2016). Por tal motivo, o desenvolvimento de ferramentas e métricas a fim de medir e monitorar o progresso da resiliência de uma região é considerado uma alta prioridade (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012).

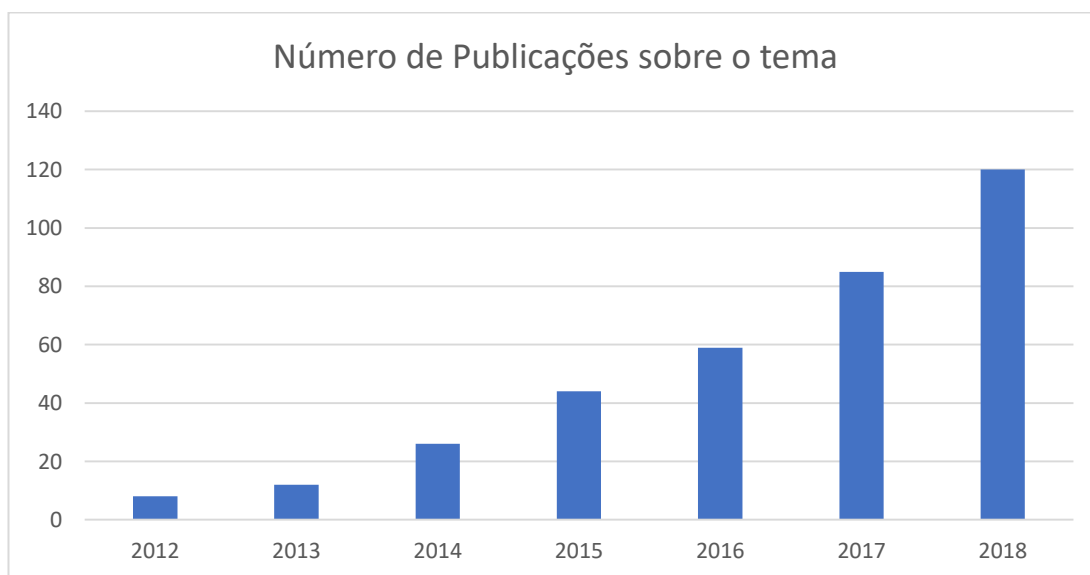
5 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi realizada revisão de literatura de artigos disponíveis no Portal periódico CAPES, na base de dados Science Direct, Scopus e Web of Science, e Google Acadêmico. Foram escolhidos como palavras-chave os seguintes termos: “enchentes”, “resiliência”, “cidades resilientes”, “drenagem urbana”. Para aumentar o retorno da procura também foram utilizados os termos na língua inglesa: “*floods*”, “*resilience*”, “*resilient cities*”, “*urban drainage*”. O objetivo foi capturar o maior número de artigos que tratassem do tema das enchentes e descrevessem o tema da resiliência.

Foram identificados 206 artigos e 6 dissertações, dos quais foram escolhidos 82 artigos e 5 dissertações. Foram avaliados trabalhos escritos nos seguintes dois idiomas: inglês e português. O segundo critério foi a abordagem de pelo menos um dos itens selecionados para a análise, que foram: (1) enchentes em São Paulo (2) causa das enchentes (3) conceito de resiliência (4) resiliência de enchentes (5) consequência das enchentes.

O termo “*flood resilience*” (resiliência das enchentes) também foi utilizado para busca no jornal *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Revista Internacional de Redução do Risco de Desastres, onde foram encontrados 354 resultados. A Figura 5 apresenta a frequência em que o tema vem sendo abordado nos últimos 7 anos no jornal em questão, mostrando a relevância e reconhecimento que se dá atualmente ao mesmo.

Figura 4- Número de artigos sobre resiliência de enchentes publicados no Jornal Internacional de Redução de Risco de Desastres no período de 2012 a 2018.



Fonte: Autoria Própria (2018).

5.1 FORMULA S-FRESI

Para a confecção do atual trabalho foi utilizado o conceito da formula S-FRESI proposta por Miguez e Veról (2016), que leva em consideração proporcionar uma avaliação quantitativa do desempenho de uma opção de programa de controle de inundação a longo prazo, possibilitando reconhecer e categorizar as alternativas que são capazes de manter resultados positivos de controle de alagamento em cenários futuros, mesmo se os padrões de projeto forem vencidos. O modelo a ser apresentado neste trabalho não pretende abordar todas as interpretações possíveis de resiliência, pois tal dimensão seria impossível. Cada uma das partes descritas atua como um sub-índice, cujos resultados representam uma alta resiliência quando altos, enquanto resultados mais próximos de zero representam baixa resiliência (BERTILSSON et al., 2018).

Assim como Bertilsson (2018), dividiu-se o modelo em equações que seguem com suas respectivas explicações:

A Equação 1 representa a primeira parte do modelo, que consiste no nível de proteção da população e habitações. Os índices I_H , I_E e I_S representam o perigo, exposição e suscetibilidade respectivamente. Quando considerada isoladamente, indica uma medida de resistência que, quando mantida por um período específico de tempo, é considerada como uma maior resiliência. Tal capacidade é avaliada comparando uma situação atual com um cenário futuro caso algum projeto possa ser testado contra o crescimento populacional na região, por exemplo.

$$Parte\ 1 = [1 - (I_H^{n1} \cdot I_E^{n2} \cdot I_S^{n3})] \quad (1)$$

A Equação 2, segunda parte do modelo, tem a finalidade de mostrar o quanto o ambiente tem de capacidade de se recuperar economicamente (I_{RM}). A recuperação da resiliência e a renda são diretamente proporcionais.

$$Parte2 = [1 - I_{RM}] \quad (2)$$

A Equação 3, parte 3, se direciona à capacidade de recuperação do sistema de drenagem da região, se referindo assim à funcionalidade das áreas inundadas após um evento de tempestade e está diretamente relacionada com a duração da inundação (IDE) e a maneira

como esta afeta a mobilidade urbana. Isso pode ocorrer quando, por exemplo, uma determinada área permanece inundada por um longo período de tempo devido a entupimentos ou falta de manutenção das vias.

$$\text{Parte 3} = [1 - I_{DE}] \quad (3)$$

Portanto, para obter-se a fórmula S-FRESI precisa-se combinar as três partes, originando, assim, a Equação 4:

$$S-FRESI = [1 - (I_H^{n1} \cdot I_E^{n2} \cdot I_S^{n3})] \cdot m_1 + [1 - I_{RM}] \cdot m_2 + [1 - I_{DE}] \cdot m_3 \quad (4)$$

Para cada caso, atribui-se um peso diferente em cada equação, dependendo do impacto de cada parte e de sua relevância (m_1 , m_2 e m_3). No caso deste estudo, foram atribuídos pesos iguais para cada uma das partes (m_1 , m_2 e m_3), enquanto para os subíndices atribuiu-se exponenciais com pesos maiores para perigo (n_1) e menores para as consequências (n_2 e n_3), porém que, quando juntos, somam o mesmo peso da anterior, como feito na metodologia referência. Tendo assim: $m_1=m_2=m_3= 0,33$ e $n_1=0,5$, $n_2=n_3=0,25$. Bertilsson et al. (2018) ainda reforça a necessidade de uma análise mais sensível feita por gestores municipais e tomadores de decisão para adequação de tais índices como um passo adicional.

5.2 CENÁRIO E COLETA DE DADOS

O modelo foi testado em dois cenários, um caso específico muito marcante no atual ano, ocorrido no dia 20 de março de 2018 e outro cenário hipotético no futuro. Os cenários foram escolhidos para demonstrar, através da metodologia proposta a variação do índice de resiliência em relação ao tempo. Este trabalho não se refere a uma data específica de anos a frente, mas sim uma época em que a urbanização esteja saturada como 100% do 75º percentil atual, e que o número de residências inundadas dobre. Presume-se que a resiliência irá diminuir no futuro.

Para realização dos cálculos foram coletados dados demográficos da região de estudo da Prefeitura de São Paulo. O tempo de duração das enchentes foi retirado do Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas (CEGESP, 2018). Fotos e informações sobre a profundidade das inundações foram retiradas de jornais locais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização deste trabalho, foram pesquisados métodos de medição da resiliência nos 206 artigos e 6 dissertações encontradas inicialmente. Apesar de terem sido encontrados 32 trabalhos específicos para resiliência de enchentes, apenas 2 continham métodos para medir a capacidade de resiliência urbana, na base de dados escolhida anteriormente. Foram encontrados outros métodos de medição mais subjetivos na base de dados Portal Periódico Capes, incluindo as coleções Web of Science e Scopus, porém estes não foram levados em consideração para a confecção deste trabalho. Um dos casos mencionados tratava-se da utilização de imagens do satélite de alta resolução RapidEye para análise da resiliência da população nas margens do Rio Uma, localizado em Pernambuco (VIEIRA et al., 2017). O outro tinha como objetivo integrar a resiliência de enchentes no planejamento urbano através de um indexador multicritério para o Rio Dona Eugênia, localizado no Estado do Rio de Janeiro (BERTILSSON et al., 2018). A quantidade de artigos referentes a avaliação da resiliência em outros países demonstra a existência de um amplo campo de estudos a serem desenvolvidos posteriormente no Brasil.

Analizados ambos os métodos, este trabalho foi destinado à utilização da metodologia desenvolvida por Bertilsson et al. (2018), como modelo matemático para a avaliação das enchentes recorrentes na cidade de São Paulo, que leva em consideração o conceito da fórmula S-FRESI baseado em três aspectos, sendo eles a capacidade de manter a resistência em um determinado período de tempo, a capacidade da comunidade afetada de se recuperar de perdas materiais e também a capacidade do sistema de drenar a água para recuperar suas funções e continuar operando, após um evento de tempestade e, assim, conseguir atingir as condições mínimas para que os serviços urbanos reestabeleçam sua normalidade de operação (MIGUEZ E VERÓL, 2016). A área escolhida foi a região oeste da cidade, por concentrar os maiores casos de enchentes, segundo a CGE (2018), e pela proximidade com as margens do Rio Tietê.

6.1 AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA DAS ENCHENTES NOS ENTORNOS DO RIO TIETÊ ATRAVÉS DO ÍNDICE ESPECIALIZADO EM RESILIÊNCIA DE ENCHENTES URBANAS

A região da Lapa, é localizada na Zona Oeste da cidade de São Paulo, próxima às marginais do Rio Tietê. Segundo a Prefeitura de São Paulo (2018), a região consiste nos bairros da Barra Funda, Vila Jaguara, Jaguaré, Lapa, Perdizes e Vila Leopoldina, totalizando 40,10 km².

Para a realização dos cálculos foram coletados dados do dia 20/03/2018 no Centro de Gerenciamento de Emergência de São Paulo (CEGESP, 2018). No dia em questão, uma forte chuva ocasionou 52 pontos de alagamento na cidade, 29 destes eram intransitáveis. A região da Lapa apresentou 12 pontos alagados, 23% do total de pontos, sendo metade deles, pontos intransitáveis. O estado de alerta para alagamentos na Zona Oeste iniciou às 15h40 do dia 20 e se estendeu até às 20h do mesmo dia. A profundidade da água chegou a 1m de altura em alguns pontos e a força da água ocasionou um acidente envolvendo 3 pessoas na região e um caso de óbito (EXAME, 2018).

Aplicou-se, então, a fórmula S-FRESI, que é composta por 5 índices que variam em valor entre zero e um. Cada um dos índices está descrito abaixo conforme trabalho desenvolvido por Bertilsson et al. (2018):

Risco, I_H

O índice risco de inundação se relaciona com níveis, ou seja, profundidades da água tomados como referência. Para adotar o nível de referência, escolheu-se o ponto onde a partir da mesma começam a se originar perdas significativas. No caso deste trabalho, optou-se por ser 1 metro acima do solo para facilitação dos cálculos, assim como Bertilsson et al. (2018). A partir de tal dado, utilizou-se a Equação 5 para encontrar o primeiro índice.

$$I_H = \frac{h}{h_{ref}} \quad (5)$$

Onde:

h = Profundidade da água no local considerado

h_{ref} = Profundidade referência de inundação

Exposição, I_E

Há duas maneiras de ser afetado quando se vive em uma área inundável, direta ou indiretamente. Ambos os casos devem ser considerados para a análise do sub-índice de exposição. Para tal, é considerado a densidade populacional na região, assim, densidades mais altas significam mais moradores em contato com a água. Como visto anteriormente neste trabalho, a cidade de São Paulo está em constante crescimento populacional, portanto para um cenário futuro foi-se considerado um aumento na densidade do agregado familiar.

Para normalizar tal densidade, optou-se por dividi-la por uma referência como o caso do índice anterior. Porém, esta referência de densidade populacional é calculada de outra maneira, como o 75° percentil das densidades populacionais de cada região a fim de não distorcer a escala adotada. Portanto, para densidades populacionais sobre a referência receberam valores máximos de $I_E = 1$. Para outros casos deve-se utilizar a Equação 6 abaixo.

$$I_E = \frac{HHD}{HHD_{ref}} \quad (6)$$

Onde:

HHD = Densidade populacional

HHD_{ref} = Densidade populacional referência, 75 °percentil

Suscetibilidade, I_S

O sub-índice suscetibilidade se refere à probabilidade de casas térreas ou o primeiro pavimento de edifícios de múltiplos andares terem contato direto com a água da inundação. O sub-índice I_S (Equação 7) é calculado pela razão de residências inundadas pelo número total de residências dentro da região de estudo.

$$I_S = \frac{HH_{inundated}}{HH_{total}} \quad (7)$$

Onde:

$HH_{inundated}$ = Número de residências inundadas

HH_{total} = Número total de residências

Recuperação material, I_{RM}

O quarto sub-índice se encontra correlacionando perdas econômicas na região e a receita das famílias envolvidas, visando estabelecer a capacidade de recuperar os materiais perdidos ou danificados durante a inundação. Para calcular as perdas econômicas utilizou-se o modelo matemático de Nagem (2008), explicado mais adiante, e então o valor encontrado foi dividido por 30% da renda familiar anual. Segundo Bertilsson et al. (2018), esses 30% se referem ao limite de financiamento no mercado imobiliário brasileiro, que seria o que uma família poderia gastar para cobrir os prejuízos oriundos do problema de inundação.

Assim como Salgado (1995), definiu-se que para o cálculo dos danos seria considerado um imóvel padrão, residencial, unifamiliar, de 1 pavimento. E para aplicar a metodologia proposta por ele, utilizou-se a Norma Técnica NB 12721-2005, da ABNT, que considera as características desse imóvel para a realização dos cálculos de Custo Unitário Básicos de construção, CUB. Tais valores são divulgados pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo em R\$/m² e estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do custo unitário básico de construção para Padrões Residenciais em R\$/m² no Estado de São Paulo, valores de Janeiro de 2018

*	Padrão Baixo	Padrão Normal	Padrão Alto
R-1	1.318,10	1.635,01	1.953,31
PP-4	1.195,26	1.530,17	—
R-8	1.136,29	1.334,45	1.560,64
PIS	892,97	—	—
R-16	—	1.292,63	1.673,09

* R-1- Unidade Unifamiliar Padrão; PP-4- Unidade Multifamiliar Padrão; R-8- Unidade Multifamiliar Padrão; PIS- Projeto de Interesse Social; R-16- Unidade Multifamiliar Padrão;

Fonte: Sinduscon-SP (2018).

Salgado (1995) considerou uma depreciação de 50% no valor do CUB, Custo Unitário, Básico, fornecido para orçar os danos. Este valor foi então relacionado com outras informações da região, como a classe socioeconômica, por exemplo. Utilizou-se dados definidos pelo Critério de Classificação Econômica do Brasil (ABEP, 2008) e a renda familiar da área em estudo foi obtida através da Prefeitura de São Paulo.

A Tabela 4 divide o mercado por classes econômicas em função do poder aquisitivo das famílias em São Paulo, sendo elas: A1; A2; B1; B2; C1; C2; D e E. Para tal divisão, a ABEP definiu um sistema de pontos referentes a uma série de critérios como posse de bens e grau de

instrução do(a) chefe da família. A partir desses pontos foram estabelecidas as classes que seguem.

Tabela 4 - Classificação econômica

Classe	Pontos	Renda média familiar (Valores de 2008)
A1	42 a 46	R\$ 9.733,00
A2	35 a 41	R\$ 6.564,00
B1	29 a 34	R\$ 3.479,00
B2	23 a 28	R\$ 2.013,00
C1	18 a 22	R\$ 1.195,00
C2	14 a 17	R\$ 726,00
D	8 a 13	R\$ 485,00
E	0 a 7	R\$ 277,00

Fonte: ABEP (2008)

A partir das funções apontadas por Salgado (1995), Nagem (2008) criou a Tabela 5 com as porcentagens de edificações danificadas, relacionadas à altura de inundação em um imóvel.

Tabela 5 - Porcentagem da edificação danificada (PED)

Código	Classes	Alturas de inundação (m)					
		0,50 a 0,75	0,75 a 1,00	1,00 a 1,50	1,50 a 2,00	2,00 a 2,50	2,50 a 3,00
R1-A	A1, A2	0,095	0,164	0,170	0,196	0,210	0,216
R1-N	B1, B2	0,056	0,130	0,137	0,167	0,183	0,198
R1-B	C, D	0,042	0,133	0,137	0,164	0,173	0,185
RP1Q	E	0,040	0,142	0,147	0,174	0,183	0,197

Fonte: Adaptado de Nagem (2008)

Considerando as informações anteriores, aplica-se a Equação 8 abaixo:

$$CRE = [(0,50 \cdot CUB) \cdot PED] \cdot AIC \quad (8)$$

Onde:

CRE = Custo dos Danos a Edificação das Residências

CUB = Custo unitário básico de construção (R\$/m²)

PED = Porcentagem da edificação danificada

AIC = Área inundada construída (m²) = 60% da Área total inundada

Assim, com o valor dos danos e perdas utilizou-se a Equação 9 a seguir:

$$I_{RM} = \frac{L}{0,3 \cdot I} \quad (9)$$

Onde:

L = CRE = Perdas monetárias

I = Renda familiar anual

Efeito de duração, I_{DE}

O ultimo índice indica o quanto a duração de uma inundação pode influenciar nos danos causados pelas enchentes. Para compor a equação do sub-índice I_{DE} (Equação 10), foram consideradas profundidades de água acima de 10 cm, acima de 25 cm e acima de 50 cm. Estas prejudicam a mobilidade dos habitantes, interrompem o tráfego e danificam edifícios respectivamente. Quanto mais dura o evento de enchente, maiores são os estragos causados. O fator de permanência utilizado na fórmula foi acoplado a dois indicadores já expostos anteriormente neste trabalho, o I_E e o I_S, tendo assim tem-se a Equação 10:

$$I_{DE} = (0,2 \cdot T_{10} + 0,3 \cdot T_{25}) \cdot I_E + (0,5 \cdot T_{50}) \cdot I_S \quad (10)$$

Onde:

T₁₀, T₂₅, T₅₀ = Tempos de permanência (em minutos) normalizados separadamente para representar o impacto diferenciado sobre cada parte. Considerou-se t₁₀, t₂₅, t₅₀, tempos durante os quais a área em questão permanece inundada em suas respectivas profundidades (ZONENSEIN, et al., 2008). Foi definido t₁₀ como 3 horas, pois neste intervalo de tempo é o tempo necessário para que muitas pessoas sejam afetadas tanto no caminho do trabalho como no da escola. Para t₂₅ utilizou-se o período de 1 hora, pois é o tempo suficiente para gerar um

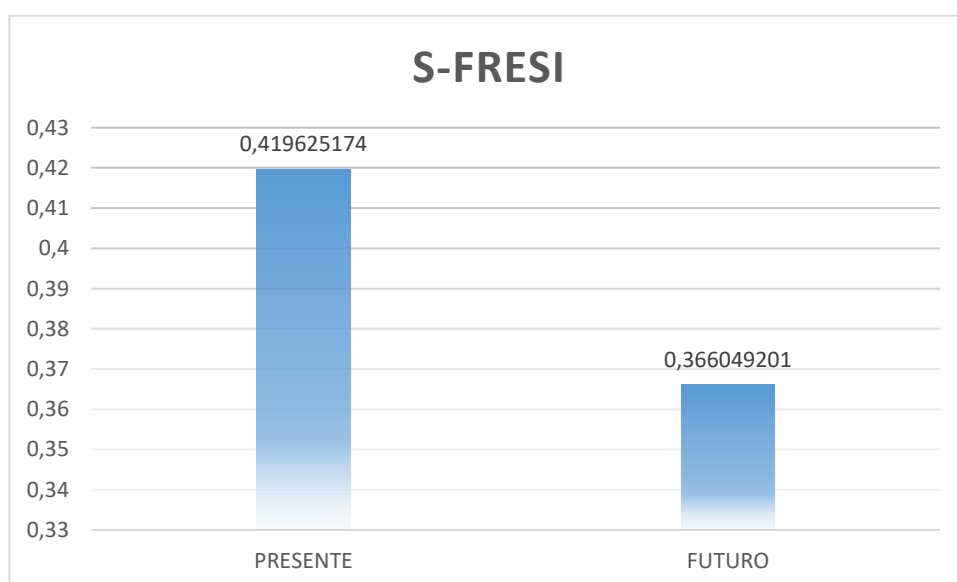
engarraamento. Finalmente, para t_{50} foi designado o valor de 30 minutos, que pode danificar móveis residenciais e seu conteúdo no geral.

Outros dados relevantes para a confecção dos cálculos deste trabalho foram encontrados também na Subprefeitura Regional da Lapa (2018) e na ABNT NBR 12721:2006 e estão caracterizados na Tabela 6, junto à todos os cálculos realizados, no Anexo 1.

6.1.1 Análise dos resultados

Utilizando as equações propostas e os dados demográficos mencionados acima, chegou-se ao resultado dos dois cenários apresentados na Figura 6.

Figura 5 - Indicador S-FRESI para os dois cenários avaliados: presente e futuro.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Analisando a Figura 6, é possível concluir que a resiliência na Zona Oeste de São Paulo tende a diminuir em relação ao tempo mesmo com todos os projetos prévios de controle das enchentes ainda estarem em funcionamento, se nenhuma outra medida de precaução mais eficiente for tomada a capacidade da cidade de se reconstruir economicamente diminuirá progressivamente. As consequências variam de impactos na saúde dos paulistanos (HUNTINGFORD et al., 2007) a efeitos sobre os valores dos imóveis (HARRISON et al., 2001), afetando diretamente o setor de seguros (BOTZEN; VAN DEN BERGH, 2008) e a economia da cidade. Outros efeitos como impacto direto na infraestrutura do transporte na região (SUAREZ et al., 2005) e danos psicológicos aos cidadãos (LINNEKAMP et al., 2011)

também podem agravar o cenário. Sendo assim, vê-se a necessidade da prefeitura da cidade adequar seus projetos e atualizá-los para garantir a resiliência e sustentabilidade da área.

6.2 ANÁLISE DO CARÁTER SUSTENTÁVEL DO NOVO CONCEITO DE “RESILIÊNCIA”

Existe um vasto conjunto de definições para resiliência. Depois de revisar essas definições, concluiu-se, como Abenayake (2018), que a resiliência sustentável é a capacidade de um sistema socioecológico de sobreviver às perturbações no ambiente, reorganizar seus sistemas, antecipar trajetórias e fortalecer a capacidade de adaptação relacionada às enchentes. A sustentabilidade de uma infraestrutura resiliente depende basicamente de como ela se antecipa, absorve, se adapta e/ou se recupera rapidamente de algum evento de cunho destrutivo. Diante desta interpretação, a resistência do sistema e como ele retorna da perturbação ao equilíbrio é a medida de resiliência. Portanto, quanto mais rápido o sistema em estudo se recuperar, mais resiliente é (DAVOUDI, 2012).

A Figura 7 mostra um carro que foi totalmente arrastado pela força da água na Zona Oeste de São Paulo no dia ao qual se refere este trabalho. Vê-se então a importância da realização de projetos mais eficientes, pois os atuais não estão de acordo com os conceitos de resiliência. Seria necessário explorar o desenvolvimento urbano para melhorar a infraestrutura de drenagem e revitalização do solo, assim como realizado com os casos de enchentes em Barcelona, por exemplo, como apresentado pelo Plano Integrado de Esgotos de Barcelona (AMB, 2005).

Barcelona foi afetada por 109 eventos de enchentes entre os anos de 1981 e 2015. Sendo muitos deles de efeitos catastróficos. Tais eventos trouxeram para a cidade o resultado de 11 pessoas que perderam a vida e uma compensação paga pelo ressegurador público espanhol Consórcio de Compensação de Seguros, CCS, de 86 milhões de euros, o que mostra que, para a cidade, as inundações são um dos perigos naturais mais impactantes. Como medidas de melhoria, a cidade optou por construir tanques de águas pluviais assim como sistemas de alerta pela cidade. Assim, a gravidade das enchentes diminuiu significativamente após sua implementação. Outro fator que poderia ser aplicado em São Paulo seria a mudança no uso de terra e revitalização do solo para aumentar sua permeabilidade. (CORTES et. al., 2017)

Figura 6 - Carro tomado pela água de enchente do dia 20/03/2018

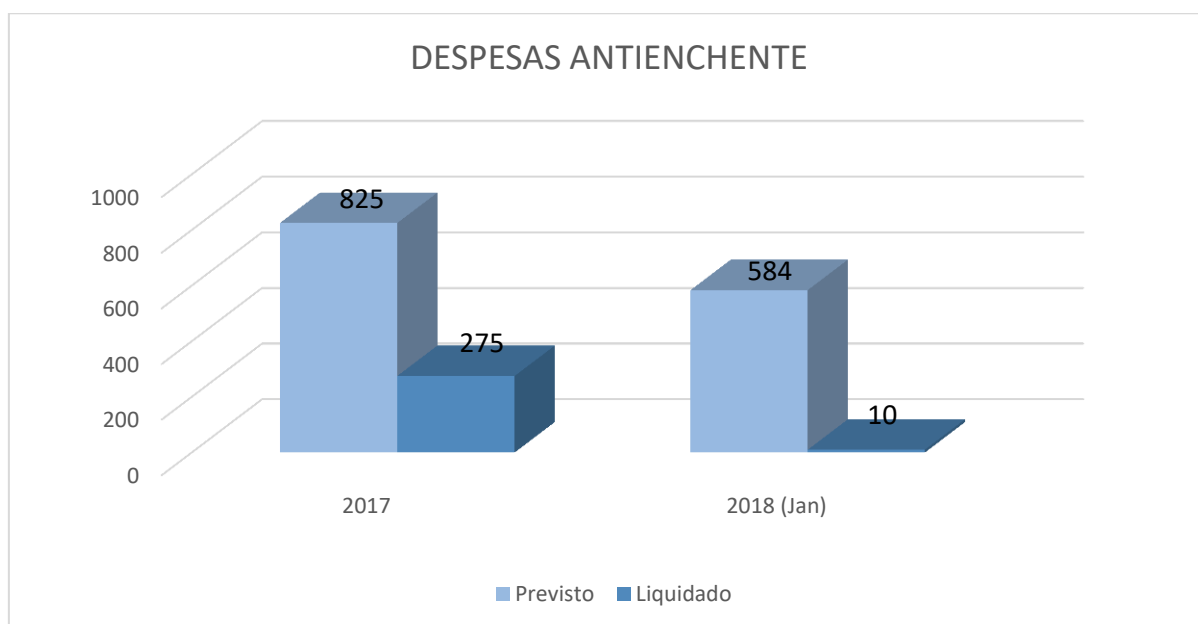


Fonte: Reprodução/GloboNews (2018)

Além de melhorar a conscientização sobre os riscos das enchentes em escala regional através de folhetos informativos, escolas, incluindo intervenções locais como exposições e conferências, faz-se necessário vincular e apoiar o surgimento de tais projetos de drenagem sustentável. Embora os tanques de águas pluviais terem surtido efeito em Barcelona, novas estruturas como essa devem ser evitadas e substituídas por soluções mais ecológicas. Por exemplo, permitindo que o Rio Tietê tenha seu espaço natural e transformando as planícies de inundação em espaços mais verdes dentro da cidade, em espaços não muito urbanizados, e melhorando o sistema de drenagem levando em consideração novas propostas sustentáveis em regiões mais urbanizadas (CORTES et. al., 2017).

A coordenação de diferentes setores municipais relacionados ao caso precisam funcionar em sinergia. Porém, tal fato não se faz real atualmente, conforme mostra a Figura 8, que aponta o valor, em milhões de reais, que era previsto e o que foi efetivamente investido em obras e manutenção de sistemas contra a inundação na cidade de São Paulo. Vê-se portanto, que para atingir a resiliência às enchentes é preciso um melhor emponderamento e co-responsabilidade, não apenas da população mas também do setor público-privado.

Figura 7 - Gastos da gestão de São Paulo com obras e manutenção contra inundações em R\$ milhões retirados das contas públicas da prefeitura.



Fonte: Autoria Própria (2018).

7 CONCLUSÕES

A cidade de São Paulo possui o problema das enchentes enraizado em sua história. Tal fato é mostrado nos anos que seguem desde o início da urbanização da cidade. As obras que visam à correção do problema parecem percorrer um círculo vicioso que não surte muito efeito. Apesar das últimas obras visarem facilitar serviços de desassoreamentos, muitas ainda se encontram inacabadas, como o piscinão na Avenida Aricanduva, na Zona Leste de São Paulo, que deveriam estar prontas no início de abril deste ano, mas será finalizada apenas em 2019, segundo a Secretaria de Obras de São Paulo (2016). Como visto, a verba prevista para gastos com obras contra inundação em São Paulo não foi utilizada no ano de 2017 como deveria. Portanto, existe a imprescindibilidade de incentivo e cobrança da população para que os governantes concluam tais projetos.

Um estudo de caso foi desenvolvido para testar a metodologia proposta, a fim de averiguar a resiliência às enchentes na cidade de São Paulo. O S-FRESI propõe medir o quanto os projetos implantados na cidade reduzem em resultados esperados diante a uma situação adversa como a chuva ocorrida no dia 20/03/2018, e o quanto eles ainda precisam progredir. Neste estudo ainda se considerou a situação adversa de um processo de urbanização descontrolada, assumida em 90%. A partir de tal estudo, viu-se a necessidade da adaptação da cidade em relação a projetos de combate às enchentes, pois os atuais não se apresentam tão eficazes.

O valor do índice S-FRESI encontrado para a atual situação da região da Lapa foi de aproximadamente 0,42, o que indica uma resiliência média-baixa no local. Enquanto no segundo cenário, no futuro, tal índice resultou em aproximadamente 0,36, o que indica uma resiliência baixa. Portanto, a resiliência tende a diminuir conforme o tempo se não são tomadas medidas preventivas eficientes. Pode-se observar também que ainda não é dada a devida importância para o caso das enchentes e que o conceito de resiliência deve ser mais estudado e aplicado como fonte de precaução a desastres naturais para cidades como São Paulo.

Como não foram considerados neste estudo nenhum projeto específico, nem o aumento da precipitação ocorrido por alterações climáticas, será de extrema importância, em trabalhos futuros, a continuação do trabalho considerando previsões de chuva, assim como realizar uma avaliação econômica da região e comparar o valor de projetos mais resilientes com o investido em projetos anteriores, para a tomada de decisão pelo poder executivo em projetos

mais viáveis e sustentáveis. Também pode-se realizar um estudo mais específico sobre o caso das seguradoras e os efeitos que as enchentes causam nesse setor da economia.

REFERÊNCIAS

- ABENAYAKE, C. C.; MIKAMI, Y.; MATSUDA, Y.; JAYASINGHE, A. Ecosystem services-based composite indicator for assessing community resilience to floods, environmental development. **Environmental Development**, Netherlands, v.27, p. 34-46, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **ABNT NBR 12721**: avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- AB’SÁBER, A. N. A planície aluvial do Tietê em foco: desconhecimento da história hidrogeomorfológica prejudica planejamento para evitar transbordos do rio. **Scientific American Brasil**, São Paulo, v. 1, n. 8, p. 98, 2003.
- ADGER, W.N.; HUGHES, T.P.; FOLKE, C.; CARPENTER, S.R.; ROCKSTROM, J. Social-ecological resilience to coastal disasters. **Science**, Estados Unidos, v. 309, n. 5737, p. 1036-1039, 2005.
- AHERN, J. From fail-safe to safe-to-fail: sustainability and resilience in the new urban world. **Landscape and Urban Planning**, University of Massachusetts, v.100, p. 341–343, 2011.
- AMB. **PSARU 2005**: Plan de saneamento. Barcelona, 2005.
- BEVILACQUA, J. E. **Estudos sobre a caracterização e a estabilidade de amostras de sedimentos do rio tietê, SP**. Orientador: Lichtig, Jaim. 1996. Tese (Doutorado em Química analítica) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- BERTILSSON, L. et al. Urban flood resilience: a multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning. **Journal of Hydrology**, Netherlands, v. 573, p. 970-982, 2018.
- BORGES, Juliana. **Histórico do rio Tietê**: navegação fluvial médio Tietê. 2014. Disponível em: <http://www.riotiete.com.br/historia.html>. Acesso em: 16 jan. 2018.
- BOTZEN, W. J. W.; VAN DEN BERGH, J. C. J. M. Insurance against climate change and flooding in the netherlands: present, future, and comparison with other countries. **Risk Analysis**, Estados Unidos, v. 28, p. 413–426, 2008.
- BRASIL. Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Lex**: Estatuto das cidades, Brasília, DF, 2001.
- BRASIL. Lei 12.587 de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de mobilidade urbana; revoga dispositivos dos Decretos- Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. **Lex**: Política Nacional de Mobilidade Urbana, Brasília, DF, 2012.
- CAI, H. et al. A synthesis of disaster resilience measurement methods and indices. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, Netherlands, v. 31, p. 844–855, 2018.

CANHOLI, Aluisio Pardo. O plano diretor de macrodrenagem da bacia do alto Tietê. **Revista Águas e Energia Elétrica**. abr. 1999. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/relatorios/revista/raee9904/drenagem.htm>. Acesso em: 18 ago. 2018.

CARVALHO, C. C.; COSTA L. N. L. **O papel da resiliência urbana e do metabolismo urbano na questão da redução de risco de desastre**. Orientador: Angela Maria Gabriella Rossi. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CEGESP. **Término do estado de atenção em toda a Capital paulista**, 2018. Disponível em: <https://www.cgesp.org/v3/noticias.jsp?dataBusca=20%2F03%2F2018&enviaBusca=Procurar>. Acesso em: 18 ago. 2018.

CIMELLARO G.; REINHORN A.; BRUNEAU M. Framework for analytical quantification of disaster resilience. **Engineering Structures**, United Kingdom, v. 32, n. 11, p. 3639-3649, 2010.

CORTÈS, M., LLASAT, M.C., GILABERT, J. ET AL. NAT HAZARDS. Towards a better understanding of the evolution of the flood risk in Mediterranean urban areas: the case of Barcelona. 2017. **Natural Hazards**, Netherlands, v. 93, Supplement 1, p. 39–60, 2018.

CUTTER S. L.; BARNES L.; BERRY M.; BURTON C.; EVANS E.; TATE E.; WEBB J. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. **Global Environmental Change**, United Kingdom, v.18, 2008.

CUTTER SL, BURTON CG, EMRICH CT. Disaster resilience indicators for bench- marking baseline conditions. **Journal of Homeland Security and Emergency Management**, v. 7, n. 1, p. 1547-7355, 2010.

DAEE. Medidas não-estruturais de combate a inundações. **Águas e Energia Elétrica**. v. 5. n. 15. 1989. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/relatorios/revista/raee9810/piscinoes.html>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DAEE. **Histórico do Rio Tietê**. Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=793:historico-do-rio-tiete&Itemid=53. Acesso em: 18 mar. 2018

DAEE. **Aprofundamento da calha do rio Tietê**. Disponível em http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=64%3Acalha-do-tiete&catid=36%3Aprogramas&Itemid=18. Acesso em: 13 jul. 2018

DAVOUDI, S. Resilience: a bridge concept or a dead end. **Planning theory & practice**, United Kingdom, v.13, n.2, p.299-307, 2012.

DETRAN-SP. **Frota de veículos em SP: por tipo de veículo**. Disponível em: <https://www.detran.sp.gov.br/wps/wcm/connect/portaldetran/detran/detran/estatisticatransito/sa-frotaveiculos/d28760f7-8f21-429f-b039-0547c8c46ed1>. Acesso em: 20 mar. 2018

ELETROPAULO. **Rios, reservatórios, enchentes**. Departamento de Patrimônio Histórico da Eletropaulo, São Paulo, 1995.

EMPLASA. **Informe sobre as proposições de disciplinamento do uso e ocupação do solo desenvolvidas para a várzea do rio Tietê e tributário**, Imprensa oficial, 1987.

ESTADÃO. **Forte chuva deixa alagamentos e 2 mortos em SP**. São Paulo, 2018.
Disponível em: <https://exame.abril.com.br/brasil/chuva-derruba-casa-em-sp-e-causa-morte-de-idosa-na-zona-norte/> . Acesso em: 20 mar. 2018.

FREITAS, C. M.; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública: uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1601–1616, 2012.

FUSP. **Plano da bacia hidrográfica do Alto Tietê**. São Paulo, 2009.

HARRISON, David M. et al. Environmental determinants of housing prices: the impact of flood zone status. **The Journal of Real Estate Research**, United States, v. 21, n. 1/2, p. 3-20, 2001.

HUNTINGFORD, C. et al. Impact of climate change on health: what is required of climate modellers? **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**. United Kingdom, v. 101, p. 97-103, 2007.

IBGE. **População estimada**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/por-cidade-estado-geociencias.html?t=destaques&c=3550308>. Acesso em: 20 mar. 2018.

JANSSEN M. A.; SCHOON M. L.; KE W.; BORNER K. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. **Global Environmental Change**, United Kingdom, v. 16, n. 3, p. 235-316, 2006.

JORGE, Janes. Rios e várzeas na urbanização de São Paulo 1890-1940. **Revista Histórica**: Imprensa Oficial, São Paulo, n. 11, 2003.

LAM, N.S.N. *et al.* Measuring community resilience to coastal hazards along the northern gulf of Mexico. **Natural Hazards Review**. United States, v.17, 2016.

LINNEKAMP, F. *et al.* Household vulnerability to climate change: examining perceptions of households of flood risks in Georgetown and Paramaribo. **Habitat International**, United Kingdom, v. 35, p. 447-456, 2011.

MAGIS, K. Community resilience: an indicator of social sustainability. **Society & Natural Resources**, United States, v. 23, n. 5, pg 401-416, 2010.

MACHADO, L. *et al.* Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **Rega**: Revista de Gestão de Água da América Latina, Porto Alegre, v. 2, n 3, p. 32-52, jan/jun. 2005.

McCUEN, R.H. **Na bancada**: hydrologic analysis and design. 4. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2017.

MENEZES, E.; MAIA, A. G.; CARVALHO, C. S. C. **Low-carbon policy scenarios for the urban transport sector in São Paulo City: effectiveness and challenges**. Oslo. Disponível

em: https://editorialexpress.com/cgi-bin/conference/download.cgi?db_name=ITEA2015&paper_id=6. Acesso em: 20 mar. 2018.

MESSNER, F.; ROWSELL, E. P.; GREEN, C.; MEYER, V.; TUNSTALL, S.; VEEN, A. V. D. **Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods**. Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies. FLOODsite, 2007.

MIGUEZ, M.G.; VERÓL, A.P. A catchment scale integrated flood resilience index to support decision making in urban flood control design. **Environment and Planning B: urban analytics and city science**, United Kingdom, v.44, p. 25–946, 2017.

NAGEM, F. R. M. **Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas**. 2008. Dissertação (Mestrado em ciências em engenharia civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Disaster resilience: a national imperative. **The National Academies Press**, Washington, p. 25-29, 2012.

NELSON, D.R.; ADGER, W.N.; BROWN K. Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework. **Annual Review of Environment and Resources**, United States, v.32, p. 395-419, 2007

NIEMEYER, Oscar. **Parque do Tietê: plano de reurbanização da margem do Rio Tietê**. São Paulo: Almed, 1986.

NORRIS, F. H.; STEVENS, S. P.; PFEFFERBAUM, B.; WYCHE, K.F.; PFEFFERBAUM, R.L. Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. **American Journal of Community Psychology**, United States, v. 41, p.127-50, 2008.

PENDER, G.; NÉELZ, S. Use of computer models of flood inundation to facilitate communication in flood risk management. **Environmental Hazards**, United States, v. 7, p. 106–114, 2007.

PICKETT, S.T.A.; CADENASSO, M.L.; GROVE, J. M. Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. **Landscape and Urban Planning**, Netherlands, v. 69, p.369–384, 2004.

PONTE, José A. O. V. O Tietê. In: **História & energia: rios/reservatório/enchentes**. São Paulo: Eletropaulo, 1995.

REPRODUÇÃO/ GLOBONEWS. G1 SP, **No primeiro dia de outono, chuva deixa mulher e crianças mortos, alaga avenidas e derruba árvores em SP**. G1, São Paulo, 20 mar. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/chuva-coloca-regioes-da-cidade-de-sp-em-estado-de-atencao-para-alagamentos.ghtml>. Acesso em: 18 ago 2018.

ROCHA, E. A. **Do lendário Anhembi ao poluído Tietê**. São Paulo: EDUSP, 1991.

SALGADO, J.C.M. **Avaliação econômica de projetos de drenagem e de controle de inundações em bacias urbanas**. 1995. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1995.

SANTANA, Walter A. **Proposta de diretrizes para planejamento e gestão ambiental do transporte hidroviário no Brasil**. Orientador: Tachibana, Toshi Ichi. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SECRETARIA DE OBRAS DE SÃO PAULO. **Começam as obras do córrego Aricanduva**. Disponível em <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/aricanduva/noticias/?p=65434>. Acesso em: 18 ago. 2018.

SEABRA, Odette C L. Enchentes em São Paulo: culpa da Light? *In: História & Energia: rios/reservatório/enchentes*. São Paulo: Eletropaulo, 1995.

SILVA, C. G. A tecnificação da várzea do rio Tietê na cidade de São Paulo. *In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA*, 10., 2005, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

SILVA, B. Q.; SILVA, L. M.; SCHUELER, C. A. B.. Utilização de imagens do satélite de alta resolução rapideye para análise da resiliência da população as margens do rio Una, Palmares, Pernambuco, Brasil. *In* 18. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO –SBSR., 2017, Santos. **Anais [...]**, Santos: INPE, 2017

SINDUSCON-SP. **Custo unitário básico da construção civil (CUB)**. 2018. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/cub/>. Acesso em: 18 mar. 2018.

SCHUELER, T. R. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and design urban bmps. **Metropolitan Council of Government**, Washington, 1987.

SHERRIEB, K.; NORRIS, F.H.; GALEA, S. Measuring capacities for community resilience. **Social Indicators Research**, Netherlands, v. 99, n. 2, p. 227–247, 2010.

SUBPREFEITURA REGIONAL DA LAPA. **Dados demográficos dos distritos pertencentes as prefeituras regionais**. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/subprefeituras/dados_demo graficos/index.php?p=12758. Acesso em: 18 ago 2018.

SUAREZ, Pablo. *et al.* Impacts of flooding and climate change on urban transportation: a systemwide performance assessment of the Boston metro area. **Transportation Research**, v. 10, n. 3, p. 231-244, 2005.

TUCCI, E.ftt. **Na bancada: hidrologia: ciência e aplicação**. ABRH, Ed. Edusp. p.943, 1993.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. *In*: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (org.). **Drenagem urbana**, Porto Alegre: Editora da Universidade, 1995. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 5).

TUCCI, C. E. M; SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. *In*: 18. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande. **Anais [...]**, Campo Grande: Centro de Convenções Rubens Gil de Camilo, 2009.

UNEP. **Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication**: a synthesis for policy makers. 2011. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/126GER_synthesis_en.pdf. Acesso em: 13 jul. 2018.

URBONAS, B.; STAHLRE, P. **Na bancada**: stormwater : best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. New Jersey: PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.

VALE, L. J.; CAMPANELLA, T. The resilient city: how modern cities recover from disaster. **Journal of Urban Affairs**, New York, v.29, n.5, 2007.

VELÁSQUEZ, L. N. M. **Efeitos da urbanização sobre o sistema hidrológico**: aspectos de recarga no aquífero freático e escoamento superficial. Orientador: Uriel Duarte. 1996. Tese (Doutorado em Mineral Resources and Hydrogeology) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

VIEIRA, V. DE C. B. *et al.* Utilização de imagens do satélite de alta resolução RapidEye para análise da resiliência da população as margens do rio Una, Palmares, Pernambuco, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO -SBSR, 2017, Santos. **Anais [...]**, Santos: Mendes Convention Center, 2017.

WISNER, B. *et al.* **Na bancada**: at risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. 2. ed. Londres; Nova York: Routledge Taylor & Francis, 2003. 471 p.

ZANATTA, F. A. S. **Diagnóstico visando planejamento ambiental da alta bacia do Ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)**. Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2014.

ZONENSEIN, J.; MIGUEZ, M. G.; MAGALHÃES, L. P. C.; VALENTIN, M.G.; MASCARENHAS, F. C. B. Flood Risk Index as an Urban Management Tool. In: PROCEEDINGS OF THE 11. INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE. 2008, Edinburgh. **Anais [...]**, Edinburgh: Scotland, 2008.

ANEXO A: Cálculos

Cálculo S-FRESI:

Tabela 6 - Dados demográficos da região da Lapa- SP

Área	40,10 km ²
População	305.526 (2010)
Densidade Demográfica	7.619 hab/km ²
Renda Familiar Média Mensal	R\$ 7870,50
Renda Familiar Média Anual	R\$ 94.446,00
Número de domicílios	90.793
Número de moradias alagadas	6% do total
Área padrão residência R1-N (ABNT)	106,44 m ²
Número de Reservatórios	0
Cobertura vegetal	3,31 km ²
Taxa de crescimento populacional	1,22%
Custo unitário básico de construção	1635,01
Porcentagem de edificação danificada	0,164

Fonte: Autoria Própria (2018)

$$S-FRESI = [1 - (I_H^{n1} \cdot I_E^{n2} \cdot I_S^{n3})] \cdot m_1 + [1 - I_{RM}] \cdot m_2 + [1 - I_{DE}] \cdot m_3$$

Onde:

$$I_H = 1$$

$$I_{RM} = \frac{L}{0,3 \cdot l} = \frac{0,5 \cdot 1635,01 \cdot 0,164 \cdot 0,6 \cdot 106,44}{0,3 \cdot 94446,00} = 0,302193806$$

$$I_S = \frac{HH_{inundated}}{HH_{total}} = 0,06$$

Tabela 7 - Densidades demográficas nas regiões de São Paulo

ARICANDUVA	12.451
BUTANTA	7.633
CAMPO LIMPO	16.542
CAPELA DO SOCORRO	4.433
CASA VERDE	11.587
CIDADE ADEMAR	13.388
CIDADE TIRADENTES	14.100
ERMELINO MATARAZZO	13.742
FREGUESIA DO Ó	12.928
GUAIANAZES	15.085
IPIRANGA	12.368
ITAIM PAULISTA	17.195
ITAQUERA	9.647
JABAQUARA	15.871
JAÇANÃ	4.553
LAPA	7.619
M'BOI MIRIM	9.071
MOOCA	9.772
PARELHEIROS	394
PENHA	11.090
PERUS	2.553
PINHEIROS	9.140
PIRITUBA	8.000
SANTANA	9.361
SANTO AMARO	6.347
SAO MATEUS	9.319
SAO MIGUEL	15.206
SAPOPEMBA	21.076
SÉ	16.454
VILA MARIA/ VILA GUILHERME	11.277
VILA MARIANA	13.005
VILA PRUDENTE	12.454

75° Percentil= 13831,5

Fonte: Autoria Própria (2018)

$$I_E = \frac{HHD}{HHD_{ref}} = \frac{7.619}{13.831,5} = 0,550844088$$

$$I_{DE} = (0,2 \cdot T_{10} + 0,3 \cdot T_{25}) \cdot I_E + (0,5 \cdot T_{50}) \cdot I_S = (0,2 \cdot 6 + 0,3 \cdot 2) \cdot 0,55 + (0,5 \cdot 1) \cdot 0,06 = 1$$

Cenário 1:

$$S-FRESI = [1 - (1^{0,5} \cdot 0,55^{0,25} \cdot 0,06^{0,25})] \cdot 0,33 + [1 - 0,02] \cdot 0,33 + [1-1] \cdot 0,33 = 0,419625174$$

Cenário 2:

$$S-FRESI = [1 - (1^{0,5} \cdot 0,9^{0,25} \cdot 0,12^{0,25})] \cdot 0,33 + [1 - 0,02] \cdot 0,33 + [1-1] \cdot 0,33 = 0,366049201$$