Metodologia para mapeamento de vulnerabilidade e risco de alagamento associado a eventos hidrológicos em ambiente urbano

Methodology for flood mapping: vulnerability and risk associated with hydrological events in urban environments

• **Data de entrada:**
20/12/2018
• **Data de aprovação:**
12/08/2020

Marina Alves Ferraz Pedrini¹ | Gustavo Garcia Manzato¹ | Ilza Machado Kaiser¹ |
Anna Sílvia Palcheco Peixoto^{1*}

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.007>

ORCID ID

Pedrini MAF <https://orcid.org/0000-0001-7686-265X>
Manzato GG <https://orcid.org/0000-0002-6542-5523>

Kaiser IM <https://orcid.org/0000-0002-7866-9113>
Peixoto ASP <https://orcid.org/0000-0001-5867-2684>

Resumo

Os desastres hidrológicos são mais recorrentes nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, seguidas pela região Nordeste e com uma diminuição significativa nas regiões Norte e Centro-Oeste. Mapas de vulnerabilidade, perigo e risco podem ser elaborados a partir da espacialização desses desastres e de sua análise conjunta com aspectos de uso do solo; distribuição populacional; chuvas desencadeadoras; geomorfologia e hidrografia. Este artigo propõe uma metodologia de mapeamento da potencialidade de alagamentos em ambientes urbanos empregando-se apenas dados disponíveis em fontes governamentais de acesso aberto. Foi desenvolvido um estudo de caso para a cidade de Bauru (SP), que revelou que os fatores antrópicos interferem mais do que os ambientais nos riscos de ocorrência de desastres hidrológicos. Também ficaram evidenciados que eventos com período de retorno próximo a um ano podem desencadear desastres. Os mapas gerados podem auxiliar na gestão das águas urbanas, e os recursos empregados neste mapeamento são bem acessíveis, permitindo sua replicação em quaisquer municípios que disponham dos dados necessários para sua confecção.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Risco. Eventos Hidrológicos. Gestão de Cidades.

Abstract

Hydrological disasters are more recurrent in the Southeast and South regions of Brazil, followed by the Northeast region, and their incidence decreases significantly in the North and Midwest region. Maps of vulnerability, danger and risk can be drawn from the spatialization of these disasters and their joint analysis with land use aspects; population distribution; trigger rains; geomorphology and hydrography. This paper proposes a methodology for mapping potential flood in urban environments using only open data available from government sources. A case study was developed for the city of Bauru (SP), which revealed that anthropic factors interfere more than environmental factors in the risk of hydrological disasters. We also observed that events close to an one-year return period trigger disasters. The generated maps can help in the management urban waters; besides, the resources employed are very accessible, allowing their replication in any municipalities that have the necessary data for their preparation.

Keywords: Vulnerability. Risk. Hydrological Events. City Management.

¹ Universidade Estadual de São Paulo - Bauru - São Paulo - Brasil.

* **Autora correspondente:** anna.peixoto@unesp.br.

1 INTRODUÇÃO

Eventos hidrológicos catastróficos atingiram em média 196 milhões de pessoas por ano no período de 1980 a 2000. Esse número pode ainda ser maior caso os eventos de menor escala e mais localizados fossem considerados, uma vez que eles não são contabilizados nos bancos de dados internacionais de desastres naturais. O balanço mundial de desastres desencadeados por eventos naturais, no período de 2007 a 2017, indicou os eventos de origem hidrológica como um dos mais frequentes, atingindo um número significativo de pessoas com grandes perdas materiais (UNDP, 2004; CRED 2018).

Em uma época em que temas como mudanças climáticas e desastres naturais são constantemente debatidos, existe a tendência de vincular todo dano decorrente de chuva com esses dois temas. No ambiente urbano, entretanto, os efeitos decorrentes da impermeabilização, que diminui a capacidade de infiltração do solo, aliados a um sistema de drenagem ineficiente, que não consegue absorver o escoamento superficial, também possuem um papel significativo.

A discussão da inter-relação entre o processo de urbanização e o aumento dos problemas decorrentes de enchentes, alagamentos e inundações ressalta a importância do planejamento urbano e dos instrumentos legais para ordenamento do território, assim como soluções estruturais mais localizadas. Dessa maneira, vários autores têm questionado a forma como as cidades lidarão com as pressões para o aumento das áreas impermeáveis e a ocupação de áreas ambientalmente mais frágeis: várzeas e áreas de encostas (SWAN, 2010; LEAL et al., 2012; ZHENG et al., 2013; SCHERER e SANTOS, 2012 e ALCANTRA, et al. 2015).

O debate relativo às mudanças climáticas aumenta as preocupações com relação à vulnerabilidade do ambiente urbano uma vez que um dos prognósticos do IPCC (*Intergovernmental Panel on Cli-*

mate Change) é a ocorrência de eventos extremos com maior frequência, o que significa em muitos locais mais dias com chuvas eventualmente mais intensas. Dessa maneira, soluções alternativas de drenagem, mapeamento das áreas de risco, sistemas de alerta e implementação de planos de ação para situações de emergência são instrumentos relevantes para aumentar a resiliência das cidades (BRAGA, 2012; ARNBJERG-NIELSEN et al., 2013; SABÓIA et al., 2017; BACELAR et al., 2020).

A avaliação quantitativa do risco e dos fatores causadores de desastres é importante para o gerenciamento do ambiente urbano. Nesse contexto, é fundamental a redução da vulnerabilidade, como por exemplo, a relocação de pessoas que moram em locais de risco, assim como a melhoria da capacidade de resposta da comunidade que pode ser alcançada com a elaboração de planos municipais de ação para segurança e resiliência (NAÇÕES UNIDAS, 2012; BRASIL, 2013).

O conhecimento dos eventos passados é necessário para avaliar a magnitude, recorrência e distribuição temporal e espacial dos desastres. A sistematização dessas informações em bancos de dados é, portanto uma atividade fundamental para a gestão de riscos e é pertinente que seja adotado um padrão internacional. Trata-se de uma atividade complexa e nem todas as regiões dispõem de ferramentas e dados com o mesmo nível de detalhamento (KRON et al., 2012, LICCO, 2013, LIAN et al., 2017).

Além das informações sobre a distribuição espacial dos desastres e sua recorrência, para a elaboração de mapas de risco é necessário conhecer as características físicas do local (uso e ocupação do solo e topografia) bem como os aspectos demográficos e sociais, e ainda identificar os elementos desencadeadores dos desastres. Esses mapas disponibilizam informações que permitem aos gestores hierarquizar as ações para mitigação dos danos.

No Brasil, a região Sudeste apresenta o maior número de pessoas afetadas por eventos hidrológicos. Considerando o período de 1991 a 2012, o número de pessoas afetadas por inundações, alagamentos e enxurradas foi de 16,8 milhões de pessoas na região Sudeste; 10,4 milhões na região Sul, 8,4 milhões na região Nordeste, 3 milhões na região Norte e menos de 1 milhão na região Centro-Oeste. O maior número de pessoas afetadas na região Sudeste pode ser explicado pelas características do regime pluviométrico, que apresenta chuvas intensas no verão e também por ser a região com maior desenvolvimento econômico e consequentemente com a maior densidade populacional (BRASIL, 2012; CEPED/UFSC, 2013).

No levantamento de desastres elaborado pelo Instituto Geológico no período de 2000 a 2015 para o estado de São Paulo, o município de Bauru ocupou a nona posição com referência ao número de desastres hidrológicos (BROLLO e FERREIRA, 2016). A região urbana de Bauru ocupa predominantemente a bacia hidrográfica do Rio Bauru. Apesar de existir legislação municipal para proteção dos fundos de vale, ocupações irregulares e o descaso do poder público permitiram a degradação da mata ciliar e o assoreamento dos corpos hídricos. Nem todos os bairros dispõem de elementos de microdrenagem, e em muitos locais esses elementos foram implantados sem projeto, ou com projetos que não previram adequadamente o crescimento urbano. A rede de macro drenagem é composta pelo Rio Bauru, com grande parte de sua calha revestida em concreto, e os seus afluentes em talude natural (BARBOSA e NASCIMENTO JR, 2008; BAURU, 2016).

O objetivo desta pesquisa é a proposta de uma metodologia para mapeamento de vulnerabilidade e risco de alagamento associado a eventos hidrológicos em ambiente urbano, utilizando a cidade de Bauru como estudo de caso. Para tanto, foram empregados dados históricos de desastres e pluviometria, além de hidrografia, topografia,

uso do solo e dados censitários; disponíveis em: prefeituras, nos órgãos de gestão de recursos hídricos, no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nas defesas civis e órgãos de gestão de desastres. Nesse sentido, considera-se que esta metodologia possa ser replicada para outros municípios, o que destaca uma importante contribuição desse trabalho.

2 DESASTRES, VULNERABILIDADE, SUSCETIBILIDADE, PERIGO E RISCO

Na última década do século XX, a Organização das Nações Unidas iniciou um projeto internacional visando a sensibilizar e envolver os países para a redução de perdas relativas a desastres, e que resultou na instituição da década internacional de redução de desastres naturais (IDNDR *International Decade for Natural Disaster Reduction*). Inicialmente o termo “*Natural disaster*” foi amplamente empregado. Atualmente, entretanto, muitos autores questionam e refutam o uso dessa terminologia por considerar que o desastre é causado por eventos que podem ser naturais ou tecnológicos, ou pela sinergia de ambos. Esses autores enfatizam que o desastre pode ser evitado ou minimizado tanto com ações de prevenção como de empoderamento da comunidade para aumentar a sua resiliência. O uso do termo “natural” pode deixar implícito que o desastre é uma fatalidade e que as consequências não poderiam ser evitadas. Desta forma a UNISDR (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*) atualmente desencoraja o emprego do termo “natural disaster” (UNISDR, 2018 e BANKOFF, 2010).

Mesmo assim, o *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), relevante instituição na área e responsável pela alimentação do banco de dados EM-DAT, editou em 2018 o balanço de eventos de 2017 com o título de *Natural Disaster* (CRED, 2018). Na literatura técnica nacional, esse tema é comumente tratado por desastres

naturais, e a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) divide os desastres em duas categorias: naturais (geológicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos e biológicos) e tecnológicos (substâncias radioativas, produtos perigosos, incêndios urbanos, obras civis, transporte de passageiros e carga não perigosa) (BRASIL, 2012; TOMINAGA et al. 2012).

A definição de desastre está vinculada aos conceitos de perigo, vulnerabilidade, suscetibilidade, exposição, capacidade de resposta e risco. Em função do amplo espectro de profissionais que atuam nesta área, a UNISDR tem a preocupação de normatizar os termos técnicos. (UNISDR, 2004, 2009 e 2016).

UNISDR (2009) definiu desastre como sendo uma interrupção no funcionamento normal de uma comunidade ou sociedade que resulta em amplos impactos e perdas humanas, materiais, econômicas e ambientais, que excedem a capacidade de recuperação da comunidade afetada com recursos próprios. Destaca que os desastres ocorrem em função de uma combinação de exposição ao perigo, de condições de vulnerabilidade e da capacidade de resposta da comunidade. A definição proposta em 2017 acrescenta as classificações de escala (pequena e grande); ocorrência (frequente ou infrequente) e tipo de surgimento (gradual ou repentino) (UNISDR, 2016).

A mesma entidade definiu perigo (*hazard*) como um fenômeno, substância ou atividade humana perigosa que pode ocasionar um desastre e propõe a classificação *socio-natural hazard* quando os desastres são resultantes da combinação de perigos naturais com atividades antrópicas que incluem degradação ambiental e mudanças climáticas. Além disso, o perigo pode ser caracterizado por sua abrangência, intensidade e probabilidade de ocorrência. Para eventos naturais, sua quantificação pode ser feita a partir da análise científica de dados históricos, vinculados à intensidade do

evento (UNISDR 2009, 2016). Adicionalmente, Zuquette (2018) ampliou essa classificação para: natural, quase-natural, natural-tecnológico ou antropogênico. As magnitudes dos danos causados pelo perigo dependem da vulnerabilidade ambiental e social. Outra forma de categorização é dividi-lo em: biológico, ambiental, geológico, hidrometeorológico e tecnológico.

Para UNISDR (2004 e 2016), a vulnerabilidade é determinada por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade da comunidade ao impacto do perigo. Essa definição é muito ampla e induz a divergências entre vários autores quando o termo é confundido com capacidade de resposta da comunidade, suscetibilidade, fragilidade, grau de exposição e com o próprio processo que leva ao perigo. Em 2009, a UNISDR salientou a diversidade de fatores (físicos, sociais, econômicos e ambientais) relacionados à vulnerabilidade, e que estes variam significativamente em função da comunidade e com o passar do tempo. Porém, enfatiza que esses fatores independem do grau de exposição do elemento, reconhecendo que na linguagem coloquial o termo vulnerabilidade frequentemente considera o grau de exposição dos elementos.

Ainda segundo a UNISDR (2009, 2016), a exposição refere-se a pessoas, propriedades e outros elementos presentes na zona de perigo e que estão sujeitas a perdas potenciais. A quantificação da exposição é feita pelo número de pessoas e bens presentes na área em estudo.

A capacidade de resposta ou capacidade de enfrentamento é definida por UNISDR (2004) como sendo uma relação entre os recursos disponíveis (físicos, sociais, econômicos, individuais ou coletivos) que possam reduzir o nível de risco ou os efeitos dos desastres. O gerenciamento desses recursos é que cria a resiliência, que é a capacidade de uma comunidade enfrentar e se organi-

zar para reagir mantendo um nível aceitável de funcionamento. Quanto maior for a capacidade de resposta de um sistema social, menores serão os prejuízos, o que diminui o risco.

Por fim, risco é definido como a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento (*hazard*) e as suas consequências negativas. É mensurado como a probabilidade de perdas (mortes, ferimentos, propriedade, meios de subsistência, atividade econômica interrompida ou ambiente danificado) resultantes de um evento perigoso. A avaliação quantitativa do risco resulta da interação do perigo com a vulnerabilidade, exposição e capacidade de resposta (UNISDR, 2004, 2009 e 2016).

Lourenço (2007) classifica os riscos como natural, antrópico e mistos. Um exemplo típico dos riscos mistos são os eventos hidrológicos cuja origem está vinculada a um evento meteorológico (chuvas intensas ou chuvas contínuas) e estão estreitamente associados à ocupação urbana desordenada.

A Eq. 1 apresenta a equação clássica de risco. A forma de avaliar cada um dos parâmetros varia em função do tipo de evento perigoso. O perigo, a vulnerabilidade, a exposição e a capacidade de resposta não apresentam uma metodologia consagrada de cálculo.

$$R = (P \cdot V) / Re \quad (1)$$

Em que: R: risco; P: perigo; V: vulnerabilidade e Re: capacidade de resposta

Os cálculos do perigo e da vulnerabilidade resultam da composição de vários fatores para os quais se deve atribuir pesos. Por exemplo, a vulnerabilidade de um ambiente urbano à inundação pode ser composta pela vulnerabilidade da população, da infraestrutura urbana e das edificações. Já o perigo pode ser composto pela intensidade da chuva, sua duração e probabilidade de ocorrência assim como pelas características do escoamento superficial gerado.

A Fig. 1 ilustra a articulação entre risco, vulnerabilidade, suscetibilidade e exposição, segundo Zonensein (2007). O risco é definido como a probabilidade de ocorrer danos resultantes da interação entre os perigos naturais ou induzidos pelos homens e as condições de vulnerabilidade de um sistema. Por exemplo, para eventos hidrológicos, o perigo seria representado pela chuva e pela vazão, mas sua ocorrência também depende das características do local (declividade, distância dos cursos d'água), da presença de pessoas e bens no local e da vulnerabilidade de pessoas (idade, condições de saúde) e dos bens (tipos de edificações).

Figura 1 – Relação entre os componentes de risco

Fonte: Zonensein (2007).

Na codificação COBRADE, os desastres são classificados em categorias (natural e tecnológico), grupos e subgrupos. Os desastres do grupo hidrológicos são subdivididos em três subgrupos: inundações, enxurradas e alagamentos. A classificação dos eventos nestes subgrupos é complexa, pois muitas vezes estes eventos se sobrepõem (KRON et al., 2012; VIEIRA et al.).

A organização de bancos de dados de desastres naturais tem sua origem ligada às atividades de seguro. O EM-DAT (Emergency Disasters Database), o NatCatSERVICE, da seguradora mundial Munich Re e o Sigma tem abrangência mundial, enquanto o SHELDUS, mantido pela University of South Carolina, e o Storm Events, mantido pelo NOAA (National Oceanic Atmospheric), possuem abrangência nacional com dados dos Estados Unidos. Os mais antigos têm dados do início do século XX (KRON, et al. 2012; GALL et al., 2009).

De Moel et al. (2009) apresentaram um panorama do mapeamento de risco, perigo e mapas de inundação na Europa. Muitos países dispõem de mapas de inundação, mas poucos possuem mapas de risco, que avaliam as consequências da ocorrência do evento perigoso. Ainda de acordo com De Moel et al. (2009), risco pode ser entendido como a multiplicação do perigo (*hazard*) pela exposição, que eles definem como consequências, pontuando ainda que existem diferentes tipos de mapas de inundação subdivididos em: mapas de perigo e de risco. Os mapas de perigo indicam a probabilidade e/ou a intensidade do evento e os mapas de risco acrescentam informações sobre as consequências do evento.

No Brasil, a organização de bancos de dados estruturou-se mais tarde. Em 2010, foi publicada a primeira edição do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, que resultou em um banco de dados federal, o S2ID. Para o estado de São Paulo, em 2011, dois bancos de dados estaduais tornaram públicos os seus dados: o SIDEC, ligado à defesa

civil com dados desde 2008, e o banco de dados do Centro de Meteorologia de Bauru (IPMet), com dados desde a década de 1980. O S2ID e o SIDEC são alimentados com dados somente da defesa civil, enquanto o banco de dados do IPMet utiliza como fonte de informações a mídia e os boletins da defesa civil. O Instituto Geográfico também é uma fonte de informações sobre a distribuição de desastres no estado de São Paulo e congrega dados de diversas fontes (BROLLO e FERREIRA, 2016; VIEIRA et al., 2016).

Para elaboração dos mapas de perigo para eventos de inundação e enchentes (*river floods*) geralmente são usadas as seguintes variáveis: mapas de área alagada, lâmina d'água, velocidade do fluxo, tempo de permanência da inundação, propagação da onda de cheia e velocidade de elevação da lâmina d'água. A construção desses mapas envolve o estudo probabilístico de vazões. Com o apoio de modelos numéricos de terreno e de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos, obtêm-se os demais parâmetros. A complexidade dos modelos e a disponibilidade de dados são fatores limitantes para o seu emprego. O mapa de perigo final é obtido da composição desses parâmetros para os quais foram atribuídos pesos (DE MOEL et al., 2009; MONTEIRO e KOBAYAMA, 2014).

Nem todas as localidades/municípios dispõem de informações de vazão ou de modelos hidrodinâmicos calibrados para sua simulação. Nesses casos, o indicador de perigo passa a ser a chuva (intensidade, duração, probabilidade de ocorrência e distribuição espacial). Por sua vez, a distribuição geográfica da população e das características físicas do meio são indicadores da vulnerabilidade e suscetibilidade que também podem potencializar o risco em função da intensidade de precipitação (BARBERÍA et al., 2014; PAPAGIANNAKI et al., 2015).

A representação espacial da vulnerabilidade de um sistema resulta da composição de indicadores com atribuição de pesos. A produção/elaboração desses indicadores é um desafio, pois esses índices dependem da disponibilidade de dados, sua qualidade e validação, havendo também a dificuldade de quantificar as interações sociais e os conceitos dessas medidas. A análise da vulnerabilidade e da capacidade de resposta (resiliência) é um processo difícil de ser aplicado regionalmente em função da disponibilidade de dados desagregados, incompatibilidade ou diferenças relevantes dos indicadores de uma região para outra (EL MORJANI et al., 2011; GARBUTT et al., 2015).

El Morjani (2011) descreveu a metodologia empregada para a composição de mapas de risco de inundação para os países da Europa Central e países do norte da África. Trata-se de um modelo estatístico empírico que não emprega modelos hidráulicos/hidrológicos. O modelo relaciona dados históricos de inundações (número de ocorrências) com os seguintes fatores causais: uso e ocupação do solo, topografia, tipo de solo, litologia, proximidade dos cursos d'água, rede de drenagem e máxima chuva diária com período de retorno de 5 anos. A área de estudo é dividida em células que compõem uma malha retangular, e para cada célula calcula-se o risco de inundação pela soma de todos os fatores causais para os quais foram atribuídos pesos. Os pesos dos fatores causais foram definidos com base na correlação espacial do fator em análise com a distribuição dos eventos históricos de inundação, sendo que esses valores são posteriormente normalizados.

Hora e Gomes (2009) analisaram o risco hidrológico por meio do emprego da Eq. 2. Os fatores relacionados ao perigo são o período de retorno e altura da lâmina d'água. A vulnerabilidade está vinculada à tipologia das edificações, e a exposição das pessoas foi avaliada por meio da densidade habitacional e populacional. Não houve

a preocupação em agrupar os elementos analisados para compor um índice de perigo e outro independente de vulnerabilidade e exposição.

$$R = \sum Tr * Vt * \left(\frac{(h * P_1) + (D * P_2) + (H * P_3)}{\sum P} \right) \quad (2)$$

Em que: R = risco hidrológico, Tr = período de retorno, Vt = vulnerabilidade da tipologia de construção da residência: madeira, alvenaria, mista; h = altura da lâmina d'água, atribuindo o peso $P_1 = 2$; D = densidade populacional, atribuindo o peso $P_2 = 5$ e H = densidade habitacional, atribuindo o peso $P_3 = 3$.

Observa-se que na Eq. 2 existem três variáveis: período de retorno; vulnerabilidade da tipologia da construção; e uma terceira que agrega altura da altura da lâmina d'água com densidade populacional e habitacional, ou seja, misturando uma característica ligada ao elemento desencadeador com a vulnerabilidade social.

Os pesos atribuídos a cada fator causal de risco representam sua importância relativa e não dependem exclusivamente de conhecimento técnico, pois a importância de cada indicador é também resultado da percepção do risco do tomador de decisão, da população ou da política de gestão de risco adotada (ZONENSEIN, 2007).

3 METODOLOGIA

A cidade de Bauru (SP) foi escolhida como estudo de caso devido à alta incidência de eventos hidrológicos, conforme levantamento realizado pelo Instituto Geológico (BROLLO e FERREIRA, 2016). Em levantamento realizado no banco de dados de desastres naturais do Centro de Meteorologia de Bauru (IPMet) foram observados 943 eventos hidrológicos nos últimos 50 anos, sendo que mais da metade ocorreu nas últimas duas décadas (IPMet, 2015).

Bauru é uma cidade de médio porte, situada na região Centro-Oeste do estado de São Paulo, com

uma população de 343937 habitantes, conforme dados do censo de 2010. O município possui uma área total de 667,684 km² sendo 68,977 km² em área urbana (IBGE,2017). O município está inserido em 4 bacias hidrográficas: Rio Bauru, Rio Batalha, Córrego da Água Parada e Ribeirão Grande (Fig. 2).

A área urbanizada ocupa preponderantemente a bacia do Rio Bauru. Os cursos d'água presentes na cidade são de pequeno porte por estarem próximos de suas respectivas nascentes. No período em estudo o município dispunha de uma única estação pluviométrica instalada no IPMet (Fig. 2).

3.1 Preparação da base de dados

O mapa georreferenciado da cidade foi fornecido pela Prefeitura Municipal de Bauru com dados de uso e ocupação do solo, topografia e hidrografia. Os softwares utilizados para análise espacial foram o TerraView e o QGIS, ambos de distribuição gratuita, cada um com sua particularidade na análise dos dados. Foi criada uma malha quadriculada com resolução de 1x1 km² de forma a abranger a área urbana. Essa malha se tornou a base para todas as análises efetuadas (Fig. 2).

Figura 2- Localização, Hidrografia e Área Urbana

3.2 Avaliação da Vulnerabilidade, Perigo e Risco

Em razão da dificuldade na delimitação da abrangência dos conceitos de vulnerabilidade, adotou-se para este trabalho que o mapa de vulnerabilidade fosse construído a partir de dois mapas: um de critérios antrópicos e outro de critérios ambientais. O perigo foi avaliado por meio dos dados históricos do número de ocorrência

dos desastres hidrológicos e da probabilidade de ocorrência da chuva desencadeadora. O risco foi avaliado a partir da interação entre a vulnerabilidade e o perigo.

Todas as análises foram feitas por quadricula de 1 km x 1 km e foram gerados mapas em ambiente SIG para cada um dos itens elencados.

Para composição do critério antrópico foram considerados os seguintes fatores: uso do solo e densidade habitacional. O uso do solo foi avaliado quantitativamente em cada quadrícula em função da área urbanizada e da área verde. Os dados foram obtidos junto à Prefeitura Municipal e atualizados por meio de imagens do *Google Earth*.

A população de cada quadrícula foi definida com base nos dados de população e área dos setores censitários relativos ao censo de 2010 (IBGE, 2017).

Os aspectos ambientais analisados foram: declividade do terreno; distância do curso d'água e área de contribuição.

A proximidade aos cursos d'água foi avaliada a partir do mapa de hidrografia fornecido pela prefeitura. Por meio do programa *TerraView*, foram criados os *buffers* em torno dos rios. A zona de *buffer* foi definida como a área gerada em torno do rio com as seguintes distâncias pré-determinadas: de 0 a 100 metros; de 100 a 200 metros e

de 200 a 300 metros. Para cada quadrícula calculou-se a área contida em cada *buffer*.

Para cada quadrícula foi atribuído um valor de declividade máxima. Essa declividade foi calculada a partir do mapa topográfico fornecido pela Prefeitura e corresponde à diferença entre a maior cota (montante) e a menor cota (jusante) dividida pela menor distância entre elas.

A área de contribuição foi analisada pelo fluxo de drenagem superficial. Uma quadrícula pode estar localizada em um ponto alto ou divisor de água e não receber água de nenhuma quadrícula. Entretanto, a água nela precipitada drenará para uma ou mais quadrículas a jusante. Para cada quadrícula quantificou-se a área de contribuição, e quanto maior a área drenada, maior a vulnerabilidade da quadrícula.

Para cada fator que compõe os critérios antrópico e ambiental foi atribuído um peso (Tabela 1). Os pesos foram igualmente distribuídos, ou seja, deu-se a mesma importância para os critérios antrópicos e ambientais. A soma dos pesos de cada critério é 1.

Tabela 1 – Atribuição de peso aos fatores considerados na análise de risco

Grupos	Fator		Pesos
Critério Antrópico (C_{ANT})	Uso do solo – Área Impermeabilizada (A_i) e áreas verdes		0,5
	População ponderada (P_p)		0,5
Critério Ambiental (C_{AMB})	<i>Buffer</i> Rio (Rb) – 0 a 100m	1	0,3
	<i>Buffer</i> Rio (Rb) – 100 a 200m	0,8	
	<i>Buffer</i> Rio (Rb) – 200 a 300m	0,6	
	Área Drenada (A_D)		0,3
	Declividade (D)		0,4

Fonte: modificado de Pedrini (2018)

Na análise dos critérios antrópicos foi atribuído o mesmo peso de valor 0,5 para os dois fatores considerados, pois se convencionou que a existência de áreas verdes (uso do solo) e a distribuição da população possuem a mesma influência no impacto do desastre. Considerou-se o uso do

solo não como fator físico/ambiental, mas sim decorrente da ação antrópica.

Também se buscou distribuir homogeneamente os pesos atribuídos aos fatores que compõem o critério ambiental. A princípio, pode-se inferir que as quadrículas localizadas próximas aos cursos

d'água possuem uma área de drenagem maior e que, portanto, esses dois parâmetros sejam correlacionados. Entretanto, analisando a rede hidrográfica (Fig. 3), observa-se que a área urbana de Bauru se encontra em uma região com vários afluentes e nascentes. Desta forma, muitas quadriculas próximas das nascentes — que poderiam receber uma nota alta justamente por se situarem próximas ao rio (Rb) — possuem, por outro lado, uma área de contribuição (A_D) reduzida. Esses dois parâmetros receberam o peso de 0,3. A distribuição dos pesos para a distância dos cursos d'água (Rb, *buffer*) seguiu a lógica de que os pontos mais próximos dos cursos d'água são mais vulneráveis, recebendo, portanto, um peso maior. A declividade foi avaliada com peso 0,4, e como a região é muito plana (99,21% da área estudada tem declividade na faixa de 0 a 15%) esse foi um fator que não introduziu diferenças significativas na composição do final do critério ambiental.

Para ambos os critérios (ambiental e antrópico) optou-se por distribuir os pesos de forma equitativa para não privilegiar nenhum fator em detrimento de outro sem uma justificativa consistente (i.e. disponibilidade de bibliografia elencando especificamente os fatores considerados na análise). A validação dessas ponderações foi avaliada com a sobreposição dos pontos de ocorrência de desastres com os mapas de vulnerabilidade obtidos utilizando os dois critérios individualmente e com a vulnerabilidade total obtida da soma destes dois critérios.

Os parâmetros que compõem a vulnerabilidade foram agrupados conforme as Eq. 3 e 4. A vulnerabilidade total (VT) foi calculada conforme a Eq. 5.

$$C_{ANT} = 0,5.A_i + 0,5.P_p \quad (3)$$

$$C_{AMB} = 0,3.R_b + 0,4.D + 0,3.A_D \quad (4)$$

$$V_T = C_{ANT} + C_{AMB} \quad (5)$$

Para a avaliação do perigo foram utilizados dados dos registros de eventos hidrológicos disponibilizados pelo Centro de Meteorologia de Bauru (IPMet) na forma de um banco de dados. O período de análise (2005 a 2015) foi escolhido em razão da consolidação da metodologia de coleta e alimentação do banco de dados e da disponibilidade de dados pluviométricos com discretização temporal de 5 minutos.

Nesse período, o banco de dados registrou 191 desastres hidrológicos (inundação, enxurrada e alagamento) distribuídos em 71 dias e em 121 localidades. Os dados abrangem a data do evento, sua localização com coordenadas geográficas, o tipo de evento, e, quando disponível, o número de pessoas afetadas e os imóveis e infraestrutura urbana danificados. O critério para seleção do evento foi a obrigatoriedade da presença de pelo menos um dos termos: inundação, alagamento, enxurrada ou enchente, na descrição da ocorrência. Foram selecionados todos os eventos registrados, sem distinção da magnitude dos danos. Importante ressaltar que a descrição do dano é muito heterogênea: às vezes são fornecidos valores quantitativos de desabrigados e de imóveis afetados, e em outras situações apenas menciona-se o tipo de dano. Foram selecionados dois dias para ilustrar os dados fornecidos pelo IPMet (Tabela 2). Por exemplo, no dia 20/01/2005 foram registrados 4 pontos com eventos hidrológicos enquanto no dia 25/09/2015 foi registrado um único ponto.

Para cada quadricula do mapa foi quantificado o número de ocorrências de eventos hidrológicos no período de análise.

Tabela 2 - Exemplos das informações fornecidas pelo Banco de dados de desastres e da estação pluviométrica do IPMet

Data	P (mm)	Duração (minutos)	Lat. (graus decimais)	Long. (graus decimais)	Ocorrência	Danos
20/01/2005	48	275	22,3182	49,0083	Chuvas fortes, Inundações Graduais e Alagamento	Desalojado/Danos em imóveis/Erosão
			22,3180	49,0159		
			22,2719	49,0703		
			22,3129	49,0337		
25/09/2015	36,8	650	22,3193	49,0976	Granizo, Vento forte, Vendaval, Chuva fortes e Enxurrada	5 Desalojados/ Queda de árvore/ Dano em imóveis e infraestrutura (pavimento e corte no fornecimento de eletricidade e água)

Até 2015, Bauru dispunha de uma única estação pluviométrica, localizada no IPMet. Essa estação coleta dados com discretização temporal de 5 minutos. Para os 71 eventos de chuva selecionados foram calculados os períodos de retorno (Tr) associados à duração total da chuva e suas frações temporais, em intervalos de 10 minutos.

Por exemplo, para uma chuva de 20 minutos calculou-se o Tr para essa duração e também para os 10 minutos mais intensos. Considerou-se o maior Tr para caracterizar o evento chuvoso. O período de retorno foi calculado com a equação de chuvas intensas (IDF), desenvolvida por Martinez e Magni (1999) para Bauru Eq. 6.

$$i = 35,4487(t + 20)^{-0,8894} + 5,9664(t + 20)^{-0,7749} * \left(-0,4772 - 0,9010 \ln \left(\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right) \quad (6)$$

Em que: i = intensidade da chuva (mm/minutos);
 t = duração da chuva (minutos); Tr = período de retorno (anos); válido para $10 \leq t \leq 1440$ minutos.

A Eq. 7 corresponde à quantificação do perigo que foi estimado considerando o número de eventos hidrológicos registrados no período de 2005 a 2015 em cada quadrícula e a somatória das probabilidades de ocorrência das chuvas que desencadearam esses desastres hidrológicos. Essa equação resulta da combinação de conceitos propostos por El Morjani (2011) e Hora e Gomes (2009). O primeiro considera o número de desastres registrados e chuva diária com período de retorno de 5 anos, enquanto o segundo autor considera o período de retorno e a lâmina d'água de inundação de cada evento ocorrido.

$$P_E = N * \sum_{i=1}^N P_{tr} \quad (7)$$

Em que: P_E = perigo envolvido; N = número de registros de eventos hidrológicos, P_{tr} = probabilidade de ocorrência da chuva que corresponde ao inverso do período de retorno (Tr).

Se em uma determinada quadrícula foram registradas ocorrências em 5 dias diversos, todas as probabilidades de ocorrência das chuvas foram somadas e multiplicadas pelo número total de desastres registrados na quadrícula. Destaca-se que as chuvas recorrentes (com Tr baixo e elevada probabilidade de ocorrência) que têm capaci-

dade de gerar eventos hidrológicos possuem um impacto maior na composição do perigo.

O risco foi determinado de acordo com a Eq. 8, sendo calculado para cada quadrícula do mapa.

$$R = V_T * P_E \quad (8)$$

Em que: R = risco; V_T = vulnerabilidade total e P_E = perigo envolvido.

O perigo envolvido e os fatores considerados no cálculo dos critérios ambientais e antrópicos possuem escalas muito distintas. Para utilizar esses valores em uma mesma equação é necessário que se proceda a normalização das variáveis. Essa normalização foi realizada por meio da interpolação linear entre os valores máximo e mínimo de cada critério, cujas funções estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Normalização da vulnerabilidade e perigo

	Critérios	Unidade	Mínimo	Máximo	Normalização/ Função
C.ANT	Área Impermeabilizada	m ²	0	1.000.000	$x=(1.000.000-y)/1.000.000$
	População ponderada	unid.	0	6.923,74	$x=y/6.923,74$
C.AMB	Buffer Rio de 0 a 100m	m ²	0	627.719,3	$x=y/627.719,3$
	Buffer Rio de 100 a 200m	m ²	0	396.404,7	$x=y/396.404,7$
	Buffer Rio de 200 a 300m	m ²	0	329.908,5	$x=y/329.908,5$
	Área Drenada	km ²	1	6	$x=(1/5)*y-(1/5)$
	Declividade	%	3,38	40,93	$x=(1/37,55)*y-(3,38/37,55)$
PERIGO	Nº de Eventos Hidrológicos	unid.	0	38	$x=y/38$
	Somatório da Probabilidade de ocorrência da chuva.	anos	0	17,61	$x=y/17,61$

Fonte: modificado de Pedrini (2018)

A metodologia adotada difere da proposta por El Morjani (2011) por não vincular a ocorrência de desastres à ponderação dos pesos atribuídos aos parâmetros utilizados no cálculo da vulnerabilidade. A vantagem de manter os mapas de vulnerabilidade desvinculados da série histórica de dados de desastres é possibilitar a avaliação qualitativa da eficiência dos pesos atribuídos e do método proposto, por meio da sobreposição dos mapas com os pontos de localização dos desastres.

Também difere da metodologia proposta por Hora e Gomes (2009) por separar os fatores ambientais e antrópicos em mapas distintos e por

não necessitar de modelação hidráulica para determinação da lâmina d'água.

4 RESULTADOS

4.1 Vulnerabilidade

Na Fig. 3 é apresentada a composição referente aos critérios antrópicos. As áreas verdes estão destacadas e correspondem a 32,8% da área urbana, sendo que a área central tem poucas e pequenas praças. Apresenta-se também a distribuição populacional por setor censitário. A ponderação foi feita utilizando a Eq. 3 e seguindo os pesos adotados na Tabela 1 e com os parâmetros normalizados (Tabela 3).

Figura 3 - Ponderação dos Critérios Antrópicos

Fonte: modificado de Pedrini (2018)

O mapa temático de critérios ambientais está apresentado na Fig. 4 e foi obtido da aplicação da Eq. 4 com os pesos apresentados na Tabela 1 e com os fatores normalizados (Tabela 3). Pode ser destacada a ocorrência de relevo pouco acidentado no mapa de declividade. Observa-se que, das quatro quadrículas com declividade mais elevada (20 a 40%), três foram classificadas na faixa de vulnerabilidade ambiental altíssima.

Na Fig. 5 são apresentados os mapas temáticos de critérios antrópicos e ambientais com a sobreposição dos pontos dos desastres. Nela pode ser observado que os critérios antrópicos apresentam um número maior de quadrículas com maior vulnerabilidade e que estas aderem melhor aos pontos com desastres. Assim, existe uma maior concentração de desastres no centro da cidade, onde também se observa uma maior densidade populacional e áreas mais impermeabilizadas. Chamam atenção as quadrículas H3 e H4, que exibem

registro de eventos, mas não apresentam vulnerabilidade ambiental. Essas quadrículas estão no divisor de águas da bacia do Rio Batalha e do Rio Bauru, em área com declividade na faixa de 3 a 8% e têm apenas uma pequena parcela de área em buffer, na proximidade de um afluente do Rio Bauru. Por outro lado, considerando os critérios antrópicos, essas quadrículas possuem pouca área verde e têm setores censitários com alta densidade populacional. A quadrícula G12 também registra eventos hidrológicos e tem classificação de baixa vulnerabilidade ambiental. Está localizada em região de baixa declividade, com pouca área inserida em buffer e no divisor de dois afluentes do Rio Bauru, dispondo de pouca área verde e alta densidade populacional. Também se observam quadrículas classificadas com vulnerabilidade ambiental baixa e com registro de eventos hidrológicos. De modo geral, percebe-se que a distribuição dos desastres apresenta maior relação com o critério antrópico. Os eventos hidrológicos ocorrem em

quadrículas com vulnerabilidade antrópica média, alta ou altíssima. Com vulnerabilidade baixa, apenas as quadrículas F11 e F14 têm eventos hi-

drológicos registrados. Entretanto, esses pontos estão muito próximos às quadrículas vizinhas com vulnerabilidade mais alta.

Figura 4 - Ponderação dos Critérios Ambientais
Fonte: modificado de Pedrini (2018)

Figura 5 - Espacialização dos eventos hidrológicos em comparação com critérios antrópicos e ambientais

Fonte: modificado de Pedrini (2018)

Na Fig. 6 apresenta-se a composição da vulnerabilidade total, calculada de acordo com a Eq. 5 a partir dos critérios antrópicos e ambientais. Praticamente toda a área urbana apresenta alguma vulnerabilidade. Apontadas com vulnerabilidade ambiental baixa e vulnerabilidade antrópica e total alta, as quadrículas G8, H8 e H9 correspondem a uma região com um córrego que foi canalizado em uma galeria que passa sob uma avenida de

grande circulação. Trata-se de uma bacia totalmente inserida na área urbana, muito impermeabilizada, e que apresenta muitos eventos hidrológicos. De forma geral, observa-se que os desastres estão localizados nas quadrículas de maior vulnerabilidade, exceto para as quadrículas E15 e I11. Entretanto, cabe destacar que esses pontos estão muito próximos dos limites de quadrículas cujas vizinhas apresentam vulnerabilidade alta.

Figura 6- Mapa resultante da composição da vulnerabilidade

4.2 Perigo

Para a determinação do perigo, foram calculados os períodos de retorno dos 71 dias de chuva (Eq. 6) e quantificados o número de eventos hidrológicos por dia (Tabela 4). Na Fig. 7 apresenta-se o histograma de distribuição de frequência dos períodos de retorno. Nota-se um grande número de ocorrências com período de retorno próximo a um ano, o que indica que eventos anuais geram danos em vários locais da cidade. A maioria dos eventos possui período de retorno inferior a 2 anos.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, observa-se que o ano com o menor número de ocorrências foi 2008. O ano de 2015 apresentou o maior número de dias com ocorrências (15 dias), além de dois eventos com período de retorno mais elevados. O maior período de retorno foi de 101,1 anos, calculado para uma chuva de 20 minutos que ocorreu em 15/03/2012. Nesse evento foi registrada chuva com granizo e 5 pontos com danos significativos dispersos pela área urbana. Registraram-se ainda vários veículos e uma pessoa arrastada pela enxurrada.

Tabela 4 - Período de retorno (Tr) das chuvas e número de eventos hidrológicos no período de 2005 a 2015

Dia	NE	Tr	Dia	NE	Tr	Dia	NE	Tr	Dia	NE	Tr
20/01/2005	4	1,4	02/01/2009	2	1,1	14/02/2012	2	1,0	05/01/2015	5	1,0
25/02/2005	5	4,8	14/01/2009	5	1,0	15/03/2012	5	101,1	07/01/2015	1	1,0
16/03/2005	7	1,0	12/02/2009	4	1,0	04/06/2012	4	1,0	14/01/2015	3	1,0
2005	16		03/09/2009	1	1,0	23/10/2012	1	1,00	21/01/2015	2	1,0
08/01/2006	13	1,5	23/09/2009	2	1,1	13/11/2012	2	1,20	09/02/2015	5	1,0
15/02/2006	5	3,5	28/11/2009	4	10,5	24/11/2012	1	1,07	07/03/2015	1	10,4
06/03/2006	3	1,0	02/12/2009	1	1,2	2012	15		21/04/2015	1	1,0
20/11/2006	1	1,0	2009	19		04/01/2013	3	1,0	10/05/2015	1	1,0
2006	22		07/10/2010	3	1,0	12/03/2013	1	1,0	25/09/2015	1	44,1
13/01/2007	7	1,1	30/11/2010	8	1,7	15/03/2013	5	3,5	17/11/2015	1	1,0
28/01/2007	5	1,4	2010	11		27/05/2013	2	1,1	23/11/2015	1	2,5
11/03/2007	1	1,0	08/01/2011	6	1,8	21/07/2013	4	1,2	24/11/2015	1	1,0
16/07/2007	1	1,0	13/01/2011	1	1,0	04/11/2013	2	1,0	10/12/2015	1	1,3
23/07/2007	2	2,0	25/01/2011	3	3,8	21/11/2013	4	1,0	25/12/2015	1	1,0
25/07/2007	2	1,7	16/02/2011	1	2,1	30/11/2013	4	1,0	28/12/2015	1	1,0
27/07/2007	2	1,0	28/02/2011	1	1,0	05/12/2013	1	1,0	2015	26	
06/11/2007	1	3,5	15/10/2011	2	1,0	2013	26				
12/12/2007	1	1,1	22/11/2011	1	1,1	23/01/2014	8	1,1			
2007	22		08/12/2011	1	3,7	20/03/2014	1	1,0			
04/01/2008	2	1,0	2011	16		02/09/2014	1	2,9			
29/10/2008	1	1,4				24/09/2014	1	1,0			
10/11/2008	2	1,4				26/09/2014	2	1,0			
2008	5					2014	13				

NE - número de eventos hidrológicos

Figura 7- Histograma de distribuição dos períodos de retorno (Tr) no período analisado

A localização dos pontos de eventos hidrológicos na cidade corresponde às áreas com grande fluxo de veículos, com residências e comércios nas proximidades. Uma das medidas adotadas no plano municipal de saneamento foi o bloqueio das vias em períodos de eventos extremos. Tal medida pode ser encarada como uma medida paliativa, e não preventiva.

Importante ressaltar que a variabilidade espacial das chuvas intensas é muito alta, e dessa maneira a chuva mensurada no pluviômetro nem sempre

representa a chuva que desencadeou os eventos hidrológicos em toda a cidade. A representação da variação espacial da chuva é um desafio, pois a disponibilidade de medidas pluviométricas é pequena, o que introduz incertezas nas análises.

Uma das consequências da preocupação com o monitoramento dos desastres hidrológicos em Bauru foi a implantação de 5 pluviômetros na área urbana por parte do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que começaram a operar em 2015.

A forte aderência dos pontos de desastres com o perigo (Fig. 8) é consequência do método de cálculo (Eq. 7), que apresenta relação direta com o número de ocorrências de desastres em cada quadrícula. Os pontos indicam a localização dos desastres, e em muitos deles há a sobreposição de eventos que ocorreram no mesmo local, mas em datas distintas. É o caso da quadrícula H6, onde há 38 eventos registrados, o que justifica

ser a quadrícula de maior perigo. Já nas quadrículas C7, I10, e J11, apesar de possuírem eventos registrados, o perigo calculado ficou na faixa mais baixa, por ter apenas um evento registrado em cada uma das quadrículas com período de retorno próximo a 1 ano. Como os períodos de retorno mais baixos são os mais comuns, o perigo é mais influenciado pelo número de ocorrências de eventos hidrológicos.

Figura 8 - Mapa de Perigo Envolvido
Fonte: modificado de Pedrini (2018)

4.3 Risco

Na Fig. 9 apresenta-se o mapa de risco sobreposto à localização dos desastres históricos. Observa-se que a região de maior risco aos eventos hidrológicos na cidade de Bauru-SP se localiza na parte central, onde a maioria das quadrículas apresentou risco de médio a altíssimo, o que é preocupante. Essa região apresenta expressiva área pavimentada, maior densidade populacional e proximidade aos cursos d'água. Observa-se ainda

que o mapa de risco reproduz o mapa de perigo, uma vez que é o resultado da multiplicação do perigo pela vulnerabilidade. A vulnerabilidade alta exacerba o risco em regiões expostas ao perigo.

Destaca-se que somente uma quadrícula (H6) registrou risco altíssimo, que coincide com a quadrícula de perigo e vulnerabilidade total também altíssimos. Na Fig.10 apresenta-se um detalhe dessa quadrícula, onde pode ser observada a confluência de um afluente com o Rio Bauru e a

presença de vegetação ciliar. Os pontos de eventos hidrológicos se localizam na área urbanizada, e a área de várzea não ocupada também alaga.

Entretanto, não há relato de infraestrutura ou de pessoas afetadas e, portanto, não há o registro de desastre nesse local.

Figura 9 - Mapa de Risco sobreposto à localização dos pontos de ocorrência de eventos hidrológicos

Fonte: modificado de Pedriani (2018)

Figura 10 - Região da Quadrícula H6

Fonte: modificado de Pedriani (2018)

5 CONCLUSÕES

A consistência do método foi avaliada por meio da comparação da localização dos pontos de ocorrência de eventos hidrológicos com os mapas de vulnerabilidade e risco.

A vulnerabilidade foi determinada utilizando critérios antrópicos e ambientais separadamente. Observou-se que a localização dos danos decorrentes de eventos hidrológicos apresentou maior concordância com o critério antrópico do que

com o critério ambiental. Esse resultado sugere que as interferências antrópicas são preponderantes na ocorrência desses danos. Os eventos hidrológicos estão localizados nas quadrículas de maior vulnerabilidade.

O perigo foi avaliado a partir dos dados de precipitação. Verificou-se que chuvas com período de recorrência anual podem ocasionar danos na cidade, demonstrando que a drenagem urbana não atende à demanda atual.

Considera-se que seja muito importante que mais dados pluviométricos estejam disponíveis e, nesse sentido, o adensamento da rede de monitoramento promovido pelo CEMADEN em regiões urbanizadas permitirá o conhecimento da distribuição espacial da chuva e reduzirá as incertezas no mapeamento do perigo.

No mapa de risco, as quadrículas que registraram maior número de eventos obtiveram a classificação de risco mais elevada, e o decréscimo nessas ocorrências foi corroborado pela redução na classificação de risco da quadrícula. Somado a isso, os resultados indicaram que os critérios e pesos considerados para ponderar o perigo, a vulnerabilidade e o risco de eventos hidrológicos foram adequados.

Apesar de o tema ainda apresentar conflitos na precisão das definições de terminologia e de não existir uma metodologia consagrada para elaboração de mapas de vulnerabilidade, perigo e risco para eventos hidrológicos, os resultados indicam quais os locais mais críticos e que devem sofrer intervenções prioritariamente.

A metodologia apresentada nesta pesquisa demonstrou ainda que a utilização de dados disponíveis de pluviometria, hidrografia, topografia e densidade demográfica aliada à espacialização de dados históricos de desastres se configura como uma ferramenta eficaz e acessível para tomadores de decisões na gestão urbana. A me-

todologia possui aplicação como suporte para a elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico, Planos Diretores de Drenagem e outros instrumentos de planejamento e ordenamento do território e apresenta potencial para ser replicada especialmente em municípios do estado de São Paulo que disponham de dados pluviométricos adequados, uma vez que o banco de dados do IPMet abrange todo o estado.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

7 REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, L. C. S.; FUTCHER, M.; SOUSA, C. M. M., AUMOND, J. J. Ocupação Urbana à luz do enfoque geossistêmico: um estudo da microbacia hidrográfica do ribeirão Fidélis, Blumenau (SC), Brasil. **Rev. Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v.11, n.3, p.129-151, 2015. <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v11i3.1968>
- ARNBJERG-NIELSEN, K., WILLEMS, P., OLSSON, J. BEECHAM, S., PANTHIRANNA, A., GREGERSEN, I. B., MADSEN, H. NGUYEN, V.T.V. Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review. **Water Science & Technology** v.68.(1) p.16-28, 2013. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.251>
- BACELAR, L.C.S.D; MACIEL, A.; de ANGELIS, C. F.; TOMASELLA, J. Limites de chuva deflagradores de inundações bruscas: metodologia, aplicação e avaliação em ambiente operacional. **Revista DAE**. São Paulo. v.68, n 221, p.71-86, 2020. <https://doi.org/10.36659/dae.2020.007>
- BANKOFF, G. No such thing as Natural Disasters. **Harvard International Review**, 2010. Disponível em: <<http://hir.harvard.edu/article/?a=2694>> Acesso em 09/2018.
- BARBERÍA, L., AMARO, J., ARAN, M., LLASAT, C. The role of different factors related to social impact of heavy rain events: considerations about the intensity thresholds in densely populated areas. **Natural Hazards Earth System Sciences**, v. 14, p.1843-1852, 2014. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1843-2014>
- BARBOSA, V. L.; NASCIMENTO JUNIOR, A.F. O plano diretor e as situações ambiental e urbana em Bauru-SP. **Geografia**, v.17, n.2, p.87-109, Londrina, 2008. <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2008v17n2p87>
- BAURU, **Plano Municipal Saneamento Básico**, Tomo V. Sistema de drenagem urbana e manejo de águas pluviais, p. 132, Bauru, 2016.

- BRAGA, R. Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do Estatuto da cidade. VI Encontro Nacional de ANPPAS. **Anais...** Belém, p.1-15, 2012.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais**. 84 p., 2012.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil (2013). **Construindo cidades resilientes** Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/web/guest/cidades-resilientes>> Acesso em 03/ 2016.
- BROLLO, M. J. e FERREIRA, C. J. Gestão de riscos de desastres devido a fenômenos geodinâmicos no estado de São Paulo: Cenário 2000-2015. **Boletim do Instituto Geológico**, São Paulo, nº 67, p. 70, 2016. Disponível em: <<https://www.infraestruturameio-ambiente.sp.gov.br/institutogeologico/publicacoes/boletim-ig/boletins-ig>> Acesso 09/2018.
- CEPED/UFSC – Centro Universitário sobre Estudos e Pesquisa sobre Desastres/Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Volume Brasil. Ed. 2. Florianópolis, 126 p, 2013.
- CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. **Natural Disasters 2017**. Brussels: CRED; p.8, 2018. Disponível em: <https://cred.be/sites/default/files/adsr_2017.pdf> Acesso em 09/2018.
- DE MOEL, H., VAN ALPHEN, J., AND AERTS, J. C. J. H. Flood maps in Europe – methods, availability and use. **Natural Hazards Earth System Sciences**, v.9, p.289-301, 2009. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-289-2009>
- EL MORJANI, Z. A. Methodology document for the WHO e-atlas of disaster risk. v.1. Exposure to natural hazards Version 2.0: **Flood hazard modelling**. Morocco p.35, 2011.
- GALL, M.; BORDEN, K. A.; CUTTER, S. L. When do losses Count? Six fallacies of natural hazards loss data. **Bulletin American Meteorological Society**, p. 799-809, 2009. <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2721.1>
- GARBUTT, K., C. ELLUL, C., FUJIYAMA, T. Mapping social vulnerability to flood hazard in Norfolk. **Environmental Hazards**. v.14, n. 2, p.156-186, 2015. <https://doi.org/10.1080/17477891.2015.1028018>
- HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000200005>
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Portal Cidades, 2017 Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?codmun=350600&idtema=130>> Acesso em 12/2017.
- IPMET. CENTRO DE METEOROLOGIA DE BAURU. 2015. Disponível em: <<http://www.ipmet.unesp.br>> Acesso em 10/2015.
- KRON, W., STEUER, M.; LÖW, P. WIRTZ, A. How to deal properly with a natural catastrophe database – analysis of flood losses. **Natural Hazards Earth System Sciences**, n. 12, p. 535-550, 2012. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-535-2012>
- LEAL, D. C., PAVANELLO P. H., PINTO, P. H. P. Considerações sobre os impactos hidrometeorológicos e estrutura urbana: o caso de Rio Claro, SP. In: Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais. Rio Claro, SP. **Anais...**; 2012.
- LIAN, J., XU, H., XU, K., MA, C. Optimal management of the flooding risk caused by the joint occurrence of extreme rainfall and high tide level in a coastal city. **Natural Hazards**, v. 89, Issue1, pp 183-200, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2958-4>
- LICCO, E. A. Vulnerabilidade social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis, Rio de Janeiro. **InterfaceHS. Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v.8, n.1, p.25-41, 2013.
- MARTINEZ JR., F., MAGNI, N. L. G., **Euações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo – DAEE – EPUSP, 1999.
- NAÇÕES UNIDAS, **Como construir cidades mais resilientes - um guia para gestores públicos locais** - Uma contribuição à Campanha Global 2010-2015 - Construindo Cidades Resilientes – Minha Cidade está se preparando! Genebra. 102 p., 2012.
- PAPAGIANNAKI, K., LAGOUVARDOS, K., KOTRONI, V., BEZES, A. Flash flood occurrence and relation to the rainfall hazard in a highly urbanized area. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.15, p.1859-1871, 2015. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1859-2015>
- PEDRINI, M. A. F. **Mapeamento de eventos hidrológicos da cidade de Bauru-SP**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru. 139p. 2018
- SABÓIA, M. A. M., SOUZA FILHO, F.A., ARAÚJO JÚNIOR., L.M. AND SILVEIRA, C.S. Climate changes impact estimation on urban drainage system located in low latitudes districts: a study case in Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.22, p.176-185, 2017. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716074>
- SCHERER, R. B., SANTOS, R. C. Inundações em centros urbanos: impactos ambientais gerados pelo crescimento populacional. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**. v.6, n.1, p. 42-45, 2012.
- SWAN, A. How increased urbanization has induced flooding problems in the UK: A lesson for African cities? **Physics and Chemistry of the Earth**, Elsevier, p. 643-647.UK, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.007>
- TOMINA|GA, L. K.; SANTORO, J., AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, 196 p. 2012.

UNDP - UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Reducing disaster risk. A challenge for development.** 146 p. New York, 2004. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/files/1096_rdrenglish.pdf> Acesso em 08/2018.

UNISDR. INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives.** Preliminary version. Geneva, Switzerland: UN/ISDR, 2002.

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction - **Terminology: Basic terms of disaster risk reduction.** 2004. 8 p. Disponível em <https://www.unisdr.org/files/7817_7819isdrterminology11.pdf> Acesso em 08/2018.

UNISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction – **2009 UNISDR terminology on Disaster risk reduction,** Genebra, 30 p. 2009. Disponível em <https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf> Acesso em 08/2018.

UNISDR – United Nations International Strategy for disaster Reduction – **Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction.** 41 p. 2016. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf> Acesso em 08/2018.

preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf> Acesso em 08/2018.

UNISDR – United Nations International Strategy for disaster reduction – **What is disaster risk reduction. Website-** 2018. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/who-we-are/what-is-drr>> Acesso em 08/2018.

VIERA, G. S., PEIXOTO, A. S. P., KAISER, I. M. Análise da estrutura dos bancos de dados de desastres no Estado de São Paulo. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. **Anais...**8p, 2016

ZHENG, Z., QI, S., XU, Y. Questionable frequent occurrence of urban flood hazards in modern cities of China. **Natural Hazards.** v.65, p.1009–1010, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0397-9>

ZONENSEIN, J. **Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes,** 105p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 105 p., 2007.

ZUQUETE, L. V. **Riscos, Desastres e Eventos Naturais Perigosos: Aspectos Conceituais na Análise e Estimativa de Riscos.** Ed. Elsevier. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, 293 p., 2018.