



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUÊNCIAM A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES URBANAS

Jakcemara Caprario^{1}; Aline S. Rech²; Nivea M. G. Miranda³ & Alexandra R. Finotti⁴*

Resumo – A frequência, magnitude e intensidade dos eventos de inundações ocorridos em áreas urbanas, constituem-se um fator cada vez mais preocupante, sendo motivo de vários estudos investigativos nas últimas décadas. No entanto, um dos limitantes para a realização destes estudos é a definição de quais fatores de influência deverão ser considerados para cada região. Neste sentido, o objetivo deste estudo é determinar quantos e quais são os principais fatores que influenciam a ocorrência de inundações, classificando-os de acordo com sua origem. Para atingir tal meta, utilizaram-se as seguintes etapas metodológicas: (1) Levantamento de estudos, relatórios e manuais que abordam o tema; (2) Identificação e compilação dos fatores que influenciam a ocorrência de inundações; e (3) Classificação dos fatores de acordo com a origem da inundação. Como resultado obteve-se 34 fatores que influenciam a ocorrência de inundações, sendo que destes, apenas 10 influenciam diretamente a ocorrência do fenômeno em áreas urbanas. Para atingir tal resultado analisou-se 62 estudos, englobando dissertações, teses e artigos publicados em periódicos científicos nacionais e internacionais. Os estudos analisados abordaram diferentes métodos de modelagem e mapeamento de inundações, possibilitando o levantamento de um panorama completo e robusto dos fatores de influência.

Palavras-Chave – Inundações urbanas; Manejo de águas pluviais; Técnicas de modelagem.

ANALYSIS OF FACTORS THAT INFLUENCE THE URBAN FLOODING OCCURRENCE

Abstract – The frequency, magnitude and intensity of flooding events occurring in urban areas is an increasingly worrying factor and has been the subject of several studies in recent decades. However, one of the limitations of these studies is the definition of which influence factors should be considered for each region. In this sense, the objective of this study is to determine the main factors influencing the occurrence of flooding, classifying them according to their origin. To achieve this goal, the following methodological steps were used: (1) Survey of studies, reports and manuals that approach the theme; (2) Identification and

¹ Afiliação: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, e-mail: jakcemara@hotmail.com

² Afiliação: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, e-mail: aline.schuck@unc.br

³ Afiliação: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, e-mail: niveaufmt@gmail.com

⁴ Afiliação: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, e-mail: alexandra.finotti@ufsc.br

* Autor Correspondente.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

compilation of factors influencing the occurrence of flooding; and (3) Factors classification according to the flooding origin. As result, we obtained 34 factors that influence the occurrence of flooding, and of these, only 10 directly influence the occurrence of the phenomenon in urban areas. To achieve this result, 62 studies were analyzed, include dissertations, theses and articles published in national and international scientific journals. The studies analyzed approached different flooding modeling and mapping methods, allowing a complete and robust overview of the influence factors.

Keywords – Urban flooding; Stormwater management; Modeling techniques.

INTRODUÇÃO

A impermeabilização pode ser considerada o agravante de maior impacto na ocorrência de enchentes e inundações urbanas. O desenvolvimento descontrolado das cidades provoca grandes impactos no sistema hídrico, causando entupindo de bueiros, inundações e contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos (Yannopoulos *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2014). Um dos principais fatores que influenciam a ocorrência destes impactos é o inadequado planejamento da drenagem urbana que tem como base a visão ultrapassada de drenar a água precipitada o mais rápido possível, aumentando a magnitude da vazão drenada, e conseqüentemente, favorecendo a ocorrência de inundações à jusante (Tucci, 2008).

O uso do solo em regiões urbanas é caracterizado pela interação de superfícies impermeabilizadas e vegetadas, exigindo a implementação de sistemas eficientes para a drenagem do escoamento pluvial (Yang *et al.*, 2014). Tendo em vista a redução da taxa de infiltração, a impermeabilização passa a ser considerada o agravante de maior impacto na ocorrência de enchentes e inundações urbanas (Benini e Mendiondo, 2015).

De acordo com Castro (2003) e Reis (2011) os principais fatores que desencadeiam a redução de infiltração são: compactação e impermeabilização do solo, pavimentação de ruas e construção de calçadas, construção adensada de edificações, desmatamento de encostas e assoreamento de rios, acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem e cursos d'água, e insuficiência da rede de galerias pluviais. Marcelino (2008) complementa citando o aumento das precipitações intensas e a ocupação das planícies de inundação, como outros fatores condicionantes do processo de inundações urbanas.

Em regiões litorâneas tropicais, a incidência de inundações e enchentes é decorrente principalmente da combinação entre a passagem de frentes frias de intensa pluviosidade com os efeitos das marés astronômicas e meteorológicas, causando acumulação de água no interior da bacia de drenagem (Souza, 2005).

Segundo Amaral e Ribeiro (2012) os fatores condicionantes para a ocorrência de enchentes e inundações dá-se pela combinação de fatores de origem natural e antrópica.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

Dentre os condicionantes de origem natural, os autores destacam: forma do relevo; características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; características do solo e teor de umidade; e presença ou ausência da cobertura vegetal. Já para os condicionantes de origem antrópica o destaque é dado para: uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água; disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água; alterações nas características da bacia hidrográfica e nos cursos d'água, e intenso processo de erosão dos solos e assoreamento dos cursos d'água.

Com base na divisão dos fatores condicionantes de acordo com sua origem natural e antrópica, Tucci (2008) distingue dois tipos básicos de inundações, as de áreas ribeirinhas e as devido à urbanização, podendo estas ocorrer isoladamente ou de forma combinada em áreas urbanas. As inundações de áreas ribeirinhas ocorrem naturalmente no leito maior dos rios, devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento superficial na bacia hidrográfica. Já as inundações decorrentes da urbanização ocorrem principalmente na drenagem urbana, tendo como causas principais a impermeabilização do solo e a canalização ou mesmo obstrução do escoamento superficial.

De acordo com Marcelino (2008) nas próximas décadas o tipo de desastre ambiental que mais afetará as regiões Sul e Sudeste do Brasil será as inundações bruscas ou enxurradas. Fato pelo qual se faz necessário estabelecer medidas preventivas e de controle, que possam auxiliar na minimização das consequências causadas pelo fenômeno.

Neste contexto, para estabelecer corretamente quais as medidas de prevenção e controle devem ser adotadas, faz-se de extrema importância à definição e entendimento da forma de atuação de todos os fatores que influenciam a ocorrência de inundações. Desta forma, o presente artigo tem como objetivo determinar quantos e quais são os principais fatores que influenciam a ocorrência das inundações, classificando estes de acordo com a origem do fenômeno.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo é classificada em três etapas (Figura 1): (1) Levantamento bibliográfico; (2) Compilação dos dados; e (3) Classificação de acordo com a origem da inundação.

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

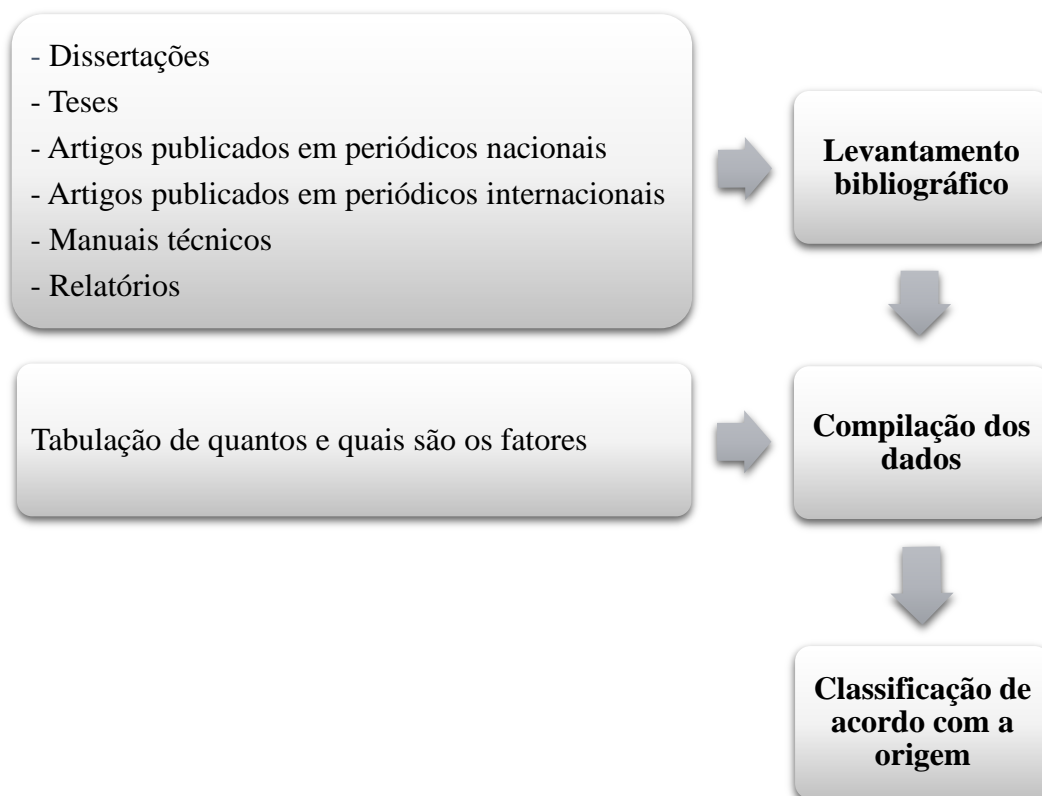


Figura 1 – Esquema de execução dos passos da metodologia.

Na primeira etapa, foram levantados estudos, relatórios e manuais que abordam o tema mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, considerando todos os tipos de instrumentos possíveis de serem empregados. O principal método de pesquisa foi à busca eletrônica em bases de dados tradicionais (SciELO, Science Direct e Springer) e em uma base de dados moderna (Google Acadêmico). As palavras-chave utilizadas para a busca, tanto em português como em inglês, foram: inundação, suscetibilidade, modelagem, mapeamento, SIG, AHP, modelagem hidrológica, modelagem hidráulica e sensoriamento remoto.

Na segunda etapa, foram identificados os fatores de influência adotados em cada documento, sendo estes compilados em planilhas eletrônicas de Excel. Após compilação dos fatores foi realizada a tabulação dos mesmos, identificando quantos e quais foram os principais fatores adotados no conjunto de documentos pesquisados.

Por fim, na terceira etapa da pesquisa, foi realizada a classificação dos fatores de influência de acordo com a origem da inundação. Para a execução desta etapa foi adotada a classificação de inundação proposta por Tucci (2008), a qual se divide em: inundações



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

ribeirinhas e inundações urbanas, sendo esta última diretamente relacionada com problemas na drenagem urbana e aumento do escoamento pluvial.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontrados 62 documentos, englobando Dissertações, Teses e artigos publicados em periódicos científicos nacionais e internacionais, perfazendo uma linha de tempo de 9 anos (período analisado de 2006 a 2015). Destaca-se que os estudos selecionados abordam diferentes métodos de mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações, possibilitando a obtenção de um panorama completo dos fatores que influenciam a ocorrência do fenômeno.

Dentre os 62 documentos analisados, 33 são referências internacionais e 29 nacionais, dos quais, 17 utilizaram o método SIG, 14 utilizaram modelagem hidráulica, 6 utilizaram modelagem hidrológica, outros 6 utilizaram o método AHP, 2 utilizaram o sensoriamento remoto e 17 utilizaram dois ou três destes métodos associados. A Tabela 1 apresenta de uma forma geral o número de trabalhos, em nível nacional e internacional, em que cada método é utilizado, sendo consideradas as associações entre estes.

Tabela 1 – Número de trabalhos em que cada instrumento é utilizado.

Método	Número de trabalhos em que é adotado	
	Nacionais	Internacionais
Modelagem Hidrológica	7	10
Modelagem Hidráulica	5	16
Sensoriamento remoto	1	5
AHP	16	3
SIG	6	10

Tanto em nível nacional, como internacional, os estudos elencaram a falta de dados em quantidade e qualidade como a principal limitação para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundação, citando desde bases cartográficas antigas e imagens de satélite com baixa resolução, até séries históricas com falhas de dados ou mesmo inexistentes. Outras limitações elencadas pelos autores são referentes à necessidade de *hardwares* com grande capacidade de processamento, *softwares* comerciais com licenças dispendiosas e conhecimento técnico específico para utilização de cada método. O planejamento e a gestão da drenagem urbana no Brasil, utilizando as metodologias como ferramenta de apoio à decisão, enfrentam, segundo o Plano Diretor Participativo (BRASIL, 2004) dificuldades operacionais, devido à absoluta falta de estrutura administrativa, pessoal qualificado e instrumental apropriado de trabalho, o que na maioria das vezes inviabiliza o emprego das tecnologias. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB (BRASIL, 2013) a baixa qualidade técnica do

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

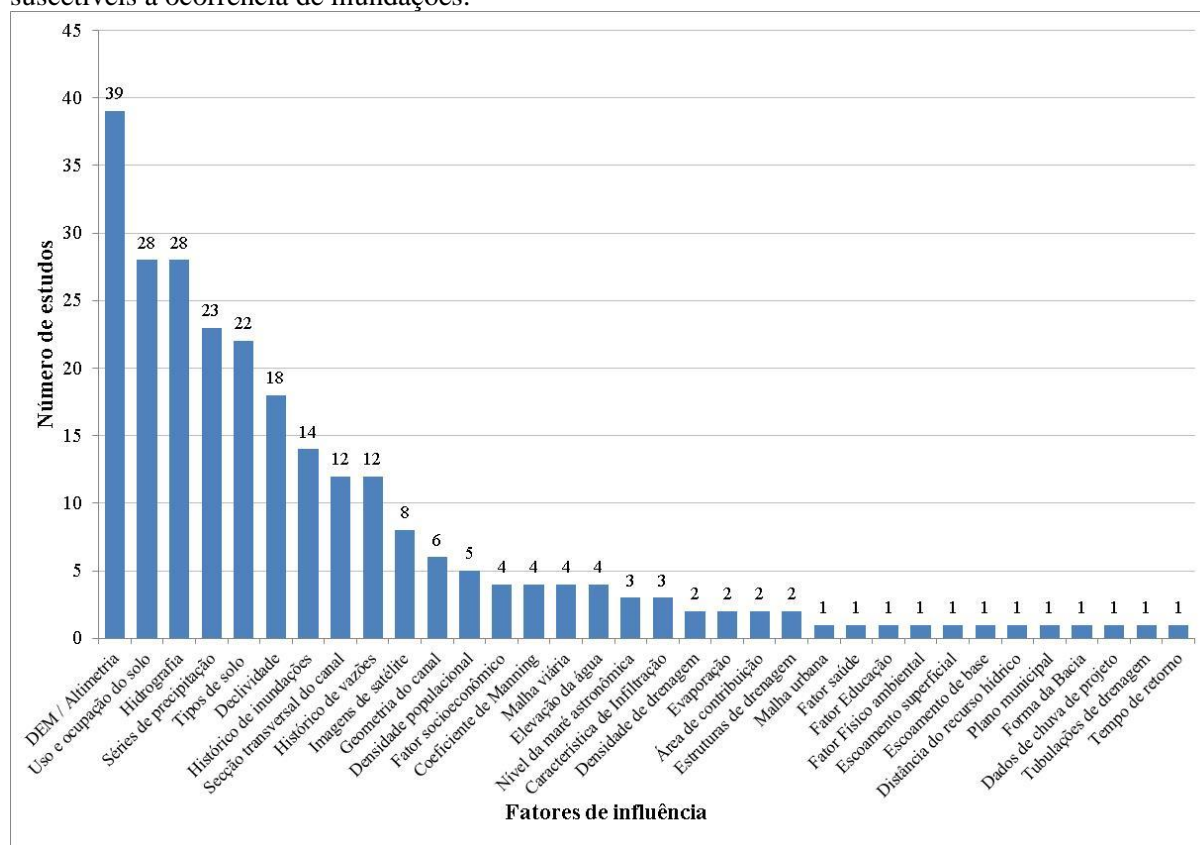
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

corpo de funcionários é devida, principalmente, à baixa remuneração salarial, a falta de interesse do pessoal qualificado e à forte influência de empresas prestadoras de serviço.

No geral foram levantados 34 fatores diferentes para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações, variando em função do objetivo do trabalho, do método adotado para o mapeamento e do foco da aplicação, abrangendo desde características físicas, ambientais, demográficas e socioeconômicas das áreas em estudo, até complexas informações da infraestrutura das redes de macro e microdrenagem. A Figura 2 ilustra a frequência de uso dos fatores de influência, considerados pelos estudos analisados como condicionantes para um bom mapeamento das áreas de suscetibilidade a inundação.

Figura 2 – Sintetização dos fatores condicionantes utilizados em estudos de mapeamento de áreas suscetíveis a ocorrência de inundações.



Dentre todos os fatores de influência analisados, a altimetria foi a que apresentou maior repetição, sendo adotada em 39 dos 62 estudos. Outros fatores que merecem destaque são: uso e ocupação do solo, hidrografia, séries de precipitação e tipos de solo, sendo adotados em mais de 20 estudos.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

Utilizando a classificação proposta por Tucci (2008), dentre os 34 fatores que influenciam a ocorrência de inundação, apenas 10 estão diretamente relacionados com as inundações urbanas, sendo estes: altimetria, uso e ocupação do solo, hidrografia, séries de precipitação, tipos de solo, declividade, histórico de inundações, malha viária, estruturas e tubulações de drenagem. Já para as inundações ribeirinhas, todos os fatores levantados apresentam influência, devendo ser adotados os fatores de influência de acordo com o objetivo de cada estudo.

CONCLUSÃO

Por meio de levantamento bibliográfico foram elencados 34 fatores que influenciam a ocorrência de inundações, dos quais, apenas 10 foram considerados de maior relevância influenciando diretamente a ocorrência de inundações em regiões urbanas. Dentre os fatores considerados de maior relevância destacam-se a altimetria, o uso e ocupação do solo, a hidrografia, as séries de precipitações e os tipos de solo, sendo estes mencionados em mais de 20 estudos. Apesar de serem citados em menor quantidade, os fatores declividade, histórico de inundações, malha viária, estruturas e tubulações de drenagem, também são considerados influentes na ocorrência de inundações urbanas.

Os estudos analisados abordaram diferentes métodos de modelagem e mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações, possibilitando a obtenção de um panorama completo dos fatores que influenciam a ocorrência do fenômeno. Salienta-se que não existe um fator específico que caracterize com precisão as áreas de suscetibilidade à ocorrência de inundações, sendo necessária para obter tal resultado a combinação de diversos fatores ambientais e antrópicos.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. (2012). Inundações e enchentes. In *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. Org. por Tominaga, L.K; SANTORO, J. e AMARAL, R., São Paulo: Instituto Geológico, pp. 39 – 52.
- BENINI, R.M.; MEDIONDO, E.M. (2015). Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na bacia do Mineirinho. *Floresta e Ambiente* 22(2), pp. 211 – 222.
- BRASIL, Ministério das Cidades. Plano diretor participativo: guia para a elaboração pelos municípios e cidadãos. Brasília: Confea, 2004.
- _____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB. Brasília, 2013.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

- CASTRO, A.L.C. (2003). *Manual de desastres*. Brasília: Ministérios da Integração Nacional, 174 p.
- MARCELINO, E.V. (2008). *Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos*. Caderno didático nº. 1. Santa Maria: Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 40 p.
- REIS, P.E. (2011). O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências.
- SOUZA, C.R.G. (2005). Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 6(1), pp. 45 – 61.
- TUCCI, C.E.M. (2008). Águas Urbanas. *Estudos avançados* 22(63), pp. 97 – 112.
- YANG, J; ENTEKHABI, D; CASTELLI, F; CHUA, L. (2014). Hydrologic response of tropical watershed to urbanization. *Journal of Hydrology* 517, pp. 338 – 546.
- YANNOPOULOS, S.I.; GRIVAKI, G.; GIANNOPOULOU, I.; BASBAS, S.; OIKONOMOU, E.K. (2011) Environmental impacts and best management of urban stormwater runoff: measures and legislative framework. In *Anais da 12th International Conference on Environmental Science and Technology*, Grécia, Set 2011, pp. 2049 – 2056.