

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA SUB-BACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS NA CIDADE DE JOINVILLE

Caroline Malheiros¹; Simone Malutta²; Leonardo Romero Monteiro³; Renata Cavion⁴

RESUMO – Inundações são fenômenos naturais que afetam a sociedade desde a formação das cidades. Seus efeitos sobre as áreas urbanas têm causado fortes impactos sociais, físicos e econômicos em diversas cidades do mundo. Dentre as medidas mitigadoras utilizadas, destaca-se o mapeamento de áreas de risco como uma ação inicial que permite o gerenciamento de investimentos de infraestrutura, a reorganização espacial e a análise de parâmetros urbanísticos adequados aos locais afetados pelas inundações. Nesse contexto, este estudo teve por objetivo mapear áreas suscetíveis à inundação na cidade de Joinville em local da sub-bacia do rio Águas Vermelhas que encontra-se em processo de urbanização. Foram utilizados os softwares de modelagem hidrológica e hidráulica HEC-HMS e HEC-RAS que permitiram simulações para eventos com período de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos e seus verificando-se os prováveis impactos sobre a infraestrutura.

ABSTRACT– Floods are natural phenomena that affect society since the formation of cities. The effects of urban flooding have caused social, physical and economic impacts in several cities around the world. Among the mitigating measures used, it is highlighted the mapping of risk areas as an initial action that allows the management of infrastructure investments, the spatial reorganisation and the analysis of urban parameters appropriate to the flood-affected places. In this context, this study aimed to map susceptible flood areas on Joinville city, located at Águas Vermelhas sub-basin. It was used HEC-HMS and HEC-RAS hydrological and hydraulic modelling software, which allowed simulations for events with a return period of 2, 5, 10, 50 and 100 years. The probable social and infrastructure impacts of the floodplain were also evaluated.

Palavras-Chave – Inundações, Mapeamento, Modelagem hidrológica, Modelagem hidráulica.

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de inundações em áreas urbanas tem se intensificado com o passar dos anos. No Brasil, de acordo com os dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em 2008, os efeitos das chuvas já afetavam 8,2 milhões de pessoas, residentes em área de risco no país. Ainda, em 2008, 48% dos 5.568 municípios brasileiros afetados não possuíam instrumentos de gestão de riscos e desastres (OLIVEIRA, 2014).

O desenvolvimento e crescimento acelerado das cidades traz consigo o crescimento do número de construções, a intensificação de pavimentação de vias e outras estruturas que contribuem para um maior escoamento superficial, para o aumento da vazão máxima nos rios e para a antecipação do pico.

1) Engenheira de Infraestrutura, carol.malheiros@hotmail.com

2) Docente da UFSC – Centro Tecnológico de Joinville simone.malutta@ufsc.br

3) Docente da UDESC – Centro de Ciências Tecnológicas leonardo.monteiro@udesc.br

4) Docente da UFSC – Centro Tecnológico de Joinville r.cavion@ufsc.br

A presença de picos elevados de vazão tem como resultado o aumento na frequência e gravidade de inundações, além de intensificar os processos erosivos a partir do aumento da produção, transporte e deposição de sedimentos (PEITER e POLETO, 2012).

A cidade de Joinville, em Santa Catarina, possui um histórico de cheias que relata ocorrência de inundações desde sua colonização em 1850, quando apenas áreas ribeirinhas eram ocupadas. De 1970 até 2014, foram publicados 25 decretos de estado de emergência por enxurradas, chuvas alagamentos e 7 prorrogações (CAVION, 2014). Recentemente, em fevereiro de 2017, houve a declaração de situação de emergência após intensas chuvas que acumularam 143 mm em 24 horas, o correspondente a 60% do que era previsto para o mês pela média histórica (JOINVILLE, 2017).

Tendo em vista a expansão da urbanização em Joinville, o estudo hidrológico das áreas de risco de inundações constitui uma ferramenta importante para o gerenciamento das ações preventivas, de monitoramento e de planejamento urbano. Joinville possui seis bacias hidrográficas, sendo que a sub-bacia do rio Águas Vermelhas (BHRAV), começou a ser ocupada e trazendo registros de cheias a partir de 1958. Os bairros desta sub-bacia encontram-se em constante expansão tornando-se uma importante região a ser estudada.

Nesse contexto, este trabalho busca apontar possíveis áreas de inundação analisando tempos de retorno e intensidades de precipitações diferentes, além de avaliar os impactos sociais e de infraestrutura gerados pela mancha de inundação.

2. ÁREA DE ESTUDO

Este estudo refere-se à BHRAV, inserida na bacia hidrográfica do rio Pirai (BHRP). Com área de 451,67 km², a BHRP é de grande importância para o município, pois além de contribuir para a manutenção da rizicultura, é responsável por parte do abastecimento de água da cidade de Joinville. A BHRP é dividida em vinte e três sub-bacias, sendo um dos seus principais afluentes o rio Águas Vermelhas (MAIA *et al.*, 2014).

A BHRAV, com 88,64 km² de área, divide-se em sete microbacias: rio Arataca, rio Jativoca, rio Lagoa Bonita, rio Lagoinha, rio Motucas, rio Pirai Novo e rio Águas Vermelhas, conforme ilustrado na Figura 1.

O clima da região é classificado em úmido, superúmido e mesotérmico com curtos períodos de estiagem. De acordo com Uberti (2011), a vegetação pertence ao bioma da Mata Atlântica, estando fragmentada em diferentes ecossistemas naturais. Em cenário de Terras Baixas, em condições de clima Cfa, alternam-se três ecossistemas: Floresta Ombrófila Densa, Restinga e Manguezais.

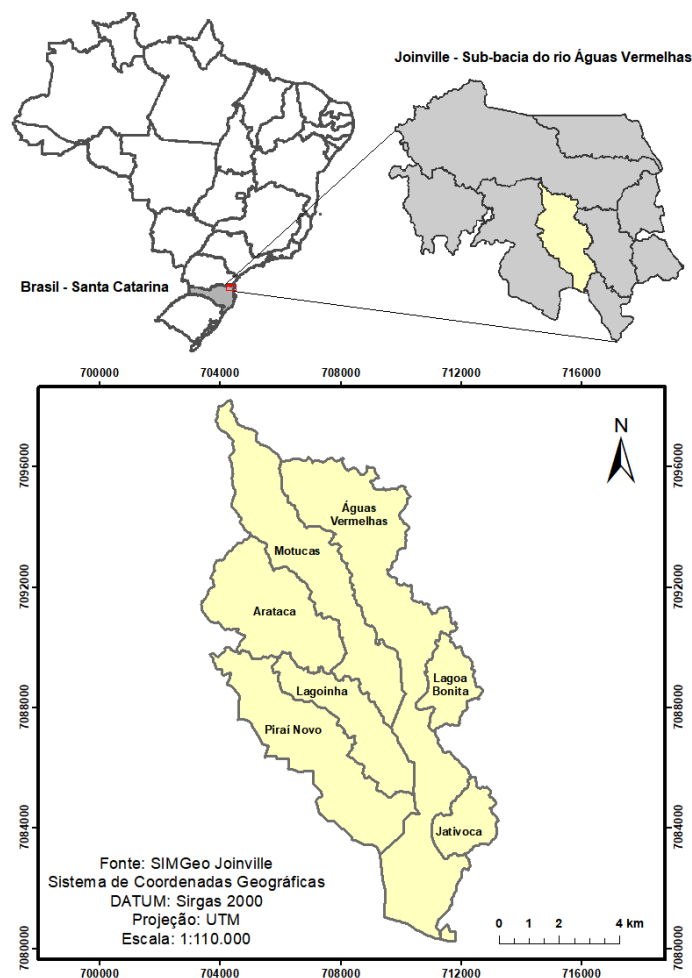


Figura 1 – (a)Localização de Joinville e sub-bacias BHRV (b) sub-bacia BHRV.

De forma geral, além da vegetação, o uso do solo da região, para o desenvolvimento deste estudo, no qual é empregado o método SCS, pode ser dividido em mais três categorias: área urbana, água ou rizicultura e solo exposto ou pastagem (Tabela 1). Estas categorias foram mapeadas com base em imagens observadas pelo satélite Landsat 8.

Tabela 1 – Uso e ocupação do solo da área de estudo.

Uso	Área (km ²)	Área (%)
Área Urbana	15,92	17,96
Vegetação	38,79	43,76
Água/Rizicultura	12,19	13,75
Solo Exposto/Pastagem	21,74	24,53

3. MATERIAIS

Os materiais utilizados para a concepção deste estudo consistiram em: dados pluviométricos de estações de monitoramento, dados topográficos, dados de classificação do solo e de uso e cobertura vegetal.

O município de Joinville possui uma rede de monitoramento composta por onze estações meteorológicas que são operadas pela Defesa Civil, além de outras estações operadas pela Agência Nacional das Águas (ANA), e pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

Os dados de precipitação utilizados para alimentar o software HEC-HMS foram extraídos dos registros de três estações operadas pela Defesa Civil de Joinville: Cachoeira Área Central, Cubatão e Rodovia do Arroz disponível no site da Defesa Civil de Joinville.

Para determinar os dados relacionados à geometria da sub-bacia do rio Águas Vermelhas e dos canais principais que a compõem foram utilizados os dados disponível no SIMGeo, por meio do software ArcGis 9.10 e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Características topográficas da sub-bacia BHRV.

Microbacia	Área (km ²)	Comprimento do curso d' água principal (km)	Declividade média do curso d' água principal (m/m)
Rio Arataca	11,99	6,47	0,0217
Rio Jativoca	3,63	2,50	0,0103
Rio Lagoa Bonita	3,90	2,58	0,0224
Rio Lagoinha	7,69	5,16	0,0077
Rio Motucas	16,26	9,18	0,0078
Rio Piraí Novo	15,04	9,79	0,0043
Rio Águas Vermelhas	30,13	16,94	0,0095

4. MÉTODOS

A Metodologia utilizada neste trabalho está ilustrada na Figura 2. Para a utilização do programa HEC-HMS são necessárias informações referentes à topografia, a geometria e as características hidrológicas da área de estudo. Entre os principais dados de entrada que devem ser fornecidos ao software estão o *curve number* (CN), tempo de concentração e escoamento de base.

O método do CN é utilizado para transformar precipitação em precipitação efetiva. Esta metodologia é fundamentada pelo CN, que leva em conta o tipo de solo e uso e ocupação existente na área de estudo. Os valores de CN foram calculados para todas as sub-bacias da BHRV. A escolha do grupo para o tipo e o uso e ocupação do solo está descrita em Malheiros (2018).

O tempo de concentração usualmente é calculado por fórmulas empíricas, baseadas em dados topográficos. As fórmulas utilizadas foram de Dooge, Giandotti, Pasini e Ventura. A Tabela 3 mostra a média dos tempos de concentração estimados pelo três métodos para as sub-bacias da BHRV.

Para estimativa de escoamento de base se utilizou o método da regionalização de vazões, que permite transferir dados de áreas com características semelhantes para locais onde há ausência de informações.

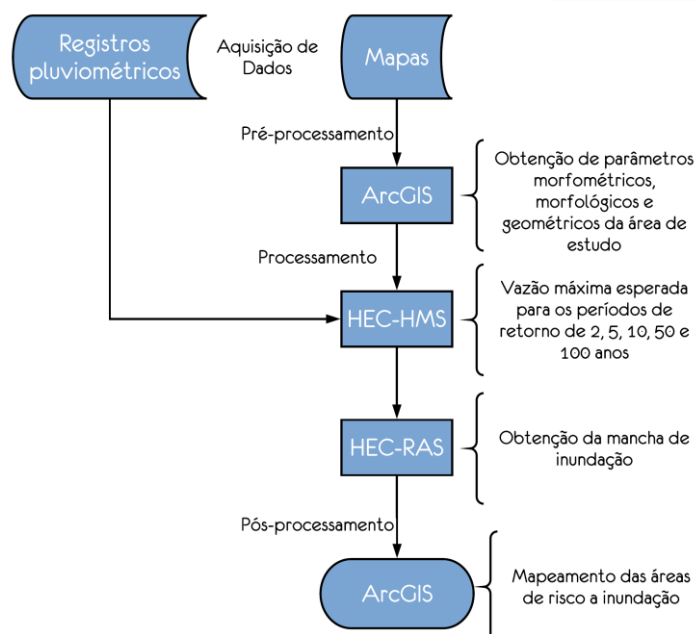


Figura 2 – Fluxograma das principais etapas do trabalho.

Desta forma, com base no estudo realizado por Michels (2015), observou-se os dados de vazões medidos em campo para o rio Águas Vermelhas, e através de uma relação entre vazão e área, calculou-se a vazão de base para cada microbacia que compõem a área de estudo, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Estimativa do tempo de concentração médio e vazão de base para cada microbacia da BHRAV.

Microbacia	Tempo de concentração médio (horas)	Vazão de base (m ³ /s)
Rio Arataca	2,88	0,58
Rio Jativoca	2,47	0,46
Rio Lagoa Bonita	1,79	0,19
Rio Lagoinha	3,84	0,37
Rio Motucas	5,27	0,78
Rio Piráí Novo	6,79	0,72
Rio Águas Vermelhas	6,44	1,45

Para validar o modelo hidrológico, utilizou-se os níveis d'água registrados pela estação hidrometeorológica do Jativoca operada pela Defesa Civil, que foram utilizados para calcular as vazões através da fórmula de Manning.

As informações utilizadas para fórmula de Manning, tais como características da seção e coeficiente rugosidade, foram extraídos do estudo elaborado por Michels (2015).

Para obter a chuva de projeto foram utilizadas curvas IDF de Joinville (Junior, 2017) gerando os hietogramas de projetos. Das curvas geradas, a equação mais próxima da área de estudo foi elaborada a partir de dados pluviométricos da estação do Cubatão, sendo apresentada na equação

$$i = \frac{200,48 \ln(T) + 1507,5}{(t + 16)^{0,016 \ln(T) + 0,8582}} \quad (1)$$

onde:

i é a intensidade de precipitação (mm/h);

T é o período de retorno (anos);

t é a duração da chuva (min).

Com base na Equação 1 gerou-se os hietogramas para as chuvas de projetos de 2, 5, 10, 50 e 100 anos de cada sub-bacia que compõem a região de estudo. Com as chuvas de projeto foram gerados os hidrograma correspondente a cada período de retorno.

A modelagem no HEC-RAS consiste na criação de um modelo hidráulico capaz de distribuir a vazão de entrada sobre a superfície do terreno. Ou seja, esta fase do estudo teve como objetivo utilizar as vazões calculadas no HEC-HMS, provenientes dos hidrogramas de projeto, para simular a mancha de inundação de uma região que está em constante desenvolvimento dentro da BHRAV.

A Figura 3 apresenta a BHRAV com imagens de satélite e traz em destaque a região onde foi mapeada a mancha de inundação, onde se empregou a extensão *2D Flood Modelling* presente no modelo.

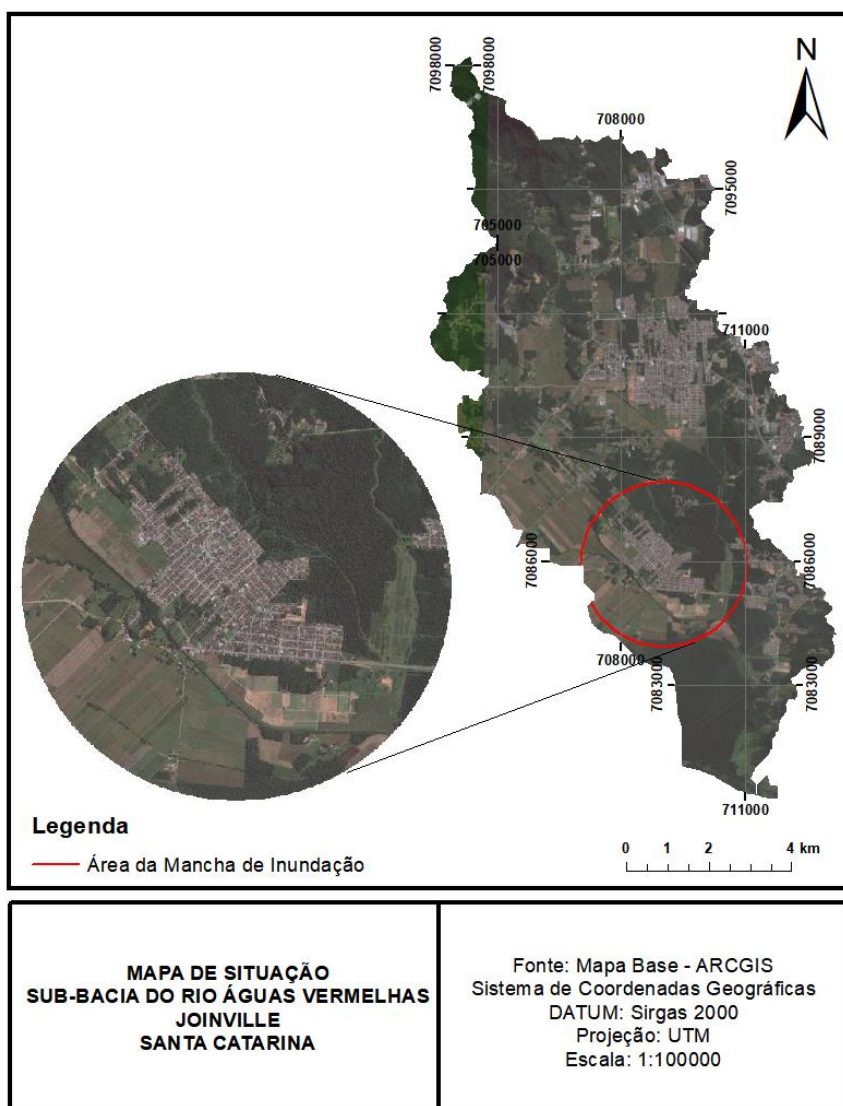


Figura 3 - Imagens de satélite com destaque a região onde foi mapeada a mancha de inundação

Por fim, a macha de inundação foi sobreposta com o mapa populacional e de domicílios para estimar quantitativamente a população atingida e o número de domicílios.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da simulação hidrológica realizada no HEC-HMS, obtiveram-se as vazões de pico para cada microbacia que compõe a sub-bacia do rio Águas Vermelhas, e para o exutório da mesma. As vazões calculadas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Vazão de projeto para os períodos de retorno nas microbacias da BHRVAV

Microbacia	Período de Retorno				
	2 anos	5 anos	10 anos	50 anos	100 anos
Rio Arataca	23,00	30,70	37,40	56,20	65,80
Rio Jativoca	5,20	7,00	8,90	14,30	17,20
Rio Lagoa Bonita	10,00	13,40	16,30	24,40	28,60
Rio Lagoinha	12,30	16,40	20,00	30,10	35,30
Rio Motucas	18,60	25,30	31,20	48,00	56,80
Rio Pirai Novo	18,70	24,40	29,40	43,40	50,60
Rio Águas Vermelhas	29,60	30,90	31,90	34,50	35,80
Exutória	73,00	89,00	103,20	143,70	164,90

O mapa de inundação que representa a mancha gerada para o período de retorno de 2 anos está exibido na Figura 4.

A área de estudo do mapeamento da mancha de inundação pertence parte ao bairro Morro do Meio e parte se encontra em área rural e possui 12,5 km². Ao analisar os mapas de inundação expostos anteriormente, nota-se que a mancha de inundação ocupa uma área de 6,5 km² da extensão analisada, o equivalente a 52% de toda a região mapeada. Deste percentual, aproximadamente 37,6% é de área construída e conta com uma população de 11.001 habitantes (SEPUD, 2017).

Parte desta mancha afeta áreas urbanizadas (ocupadas ou que que em processo de parcelamento do solo para a instalação de novas edificações).

O mapa apresentado na Figura 5 foi construído na região mapeada com a mancha de inundação com o objetivo de levantar o número de moradores que se encontravam sobre a mancha. Este mapa foi elaborado com base nos dados do IBGE (2010), onde a região foi dividida em uma malha quadriculada e cada cor representa um número, indicando a quantidade de moradores que residem em cada divisão desta malha. A malha foi dividida em quadrículas com 329 cores que variam em um *grid* de tonalidades laranjadas. Os valores de cada cor representam números (de 0 até 329 pessoas).

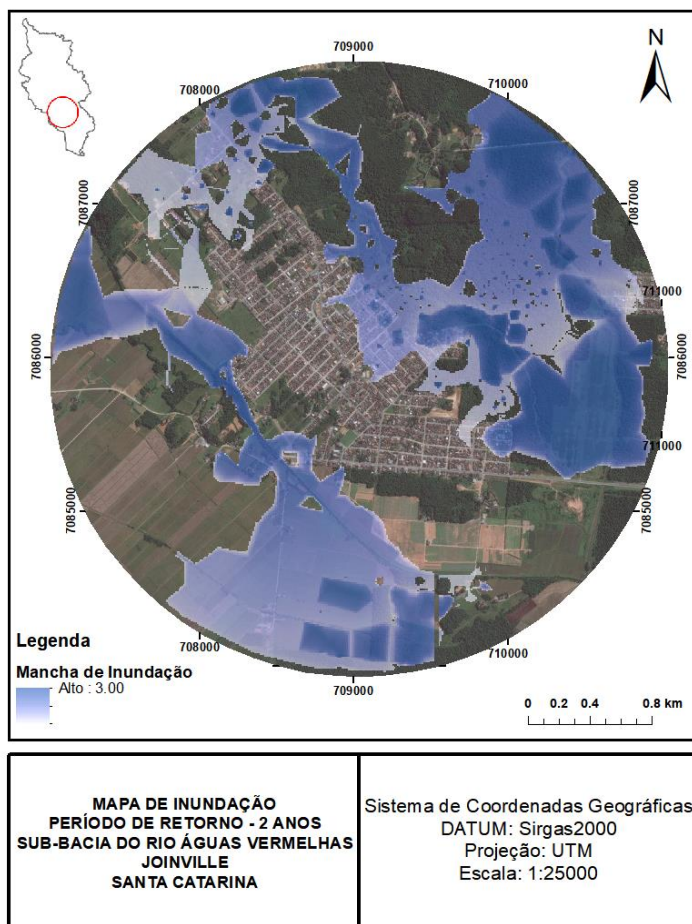


Figura 4 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 2 anos

Nota-se, ao analisar a Figura 5, que a maior concentração de pessoas está na região central da área analisada (2.984 domicílios encontravam-se sobre a mancha durante o ano de 2010), isto porque é neste local que encontra-se o bairro Morro do Meio. As regiões ao entorno desta área, onde as cores indicam uma menor concentração de pessoas pertencem à área rural do município. De acordo com a base de dados utilizada para a construção deste mapa, aproximadamente 10.629 pessoas residiam sobre a mancha de inundação no ano de 2010.

O levantamento realizado pelo IBGE durante o Censo de 2010 também contabilizou o número de domicílios ocupados nos municípios brasileiros. A representação destas edificações segue a mesma linha da análise anterior, onde a região foi dividida em quadrículas e cada cor representa um número. Neste caso, a malha foi dividida em 93 cores, como mostra a Figura 5b, que variam em um *grid* de cores marrons.

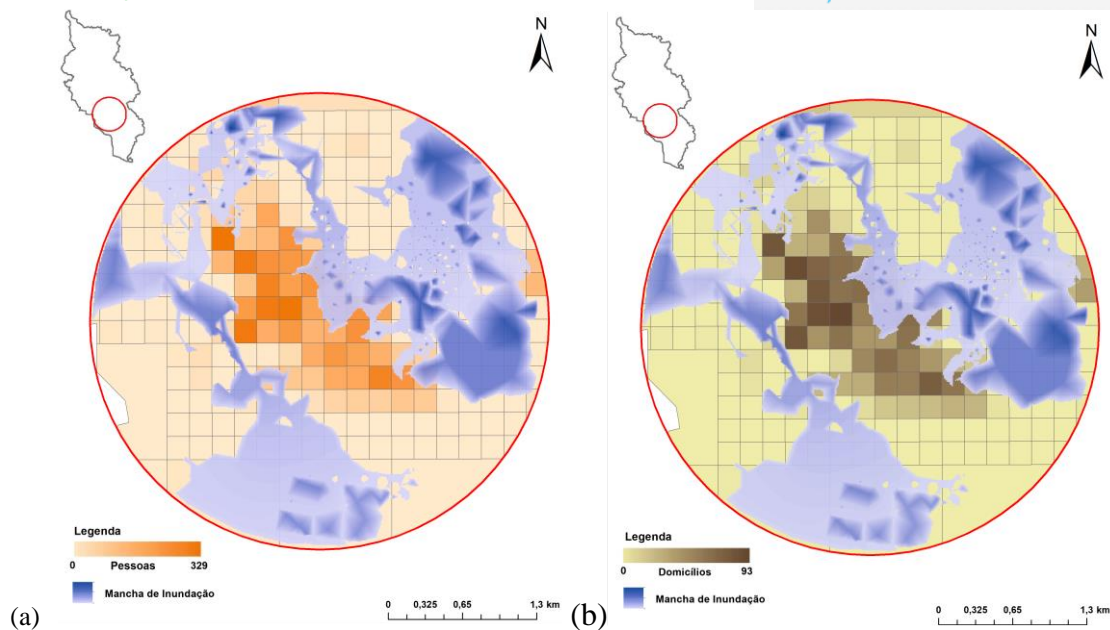


Figura 5 – Mapa (a) populacional e (b) de domicílios sobre a mancha de inundação

6. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho mostram que a mancha de inundação com o TR de 2 anos já afeta significativamente a população do bairro. Considerando os números apresentados e levando em conta as áreas de expansão urbana, salienta-se a importância de revisão do planejamento urbano para o controle de ocupação destas áreas, prevendo medidas de restritivas.

Na legislação municipal em vigor (Lei 470/2017), a área do bairro Morro do Meio é classificada como Setor de Adensamento Controlado 04 (SA-04), apresentando restrições de gabarito (permite a construção de edificações de dois pavimentos – ou até 9 metros de altura, índice mínimo na legislação) e coeficiente de aproveitamento de 1,5, sendo que outros pontos da cidade apresentam restrições de 1,0. É permitida a ocupação de até 60% da área do lote (o mesmo permitido para os setores de adensamento prioritário). Para empreendimento de loteamento urbano, a legislação trata este local com os mesmos requisitos solicitados em áreas fora de risco ou de adensamento prioritário. Esses dados mostram que a legislação atual não leva em consideração os riscos de inundação presentes na área, não garantindo uma ocupação urbana segura.

REFERÊNCIAS

- CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controles de enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- CAVION, R. *Cidade Sob(re) as Águas: estratégias de ação e de políticas urbanas*. 2014. 191f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- JOINVILLE decreta situação de emergência após temporal. *GI Santa Catarina*. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2017/02/joinville-decreta-situacao-de-emergencia-apos-temporal.html>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

JUNIOR, R. S. (2017) *Desenvolvimento de equações de chuvas intensas a partir de dados pluviográficos no município de Joinville*. 2017.76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro e Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville.

MAIA, B. G. de O. et al. (2014). Bacias hidrográficas da região de Joinville. Disponível em: <http://www.cubataojoinville.org.br/_publicacoes/bacias-hidrograficasda-regiao-de-joinville.pdf>.

MICHELS, B. (2015) *Caracterização de níveis hidrométricos de alerta e emergência de inundações dentro do contexto da política nacional de proteção da Defesa Civil - Aplicação da bacia hidrográfica do rio Águas Vermelhas, Joinville, SC*. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville.

OLIVEIRA, N.(2014). IBGE: enchentes deixam 1,4 milhões de desabrigados entre 2008 e 2012. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2014-04/ibge-27-dos-municipios-brasileiros-foram-atingidos-poe-enchentes-afetando-14>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

PEITER, T. V.; POLETO, C. Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 14, n. 2, p. 56–66, 2012.

SILVEIRA, W. N. (2008) *Análise histórica de inundação no município de Joinville–SC, com enfoque na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte*. 165 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

UBERTI, A. A. A. *Boletim Técnico do Levantamento da Cobertura Pedológica do Município de Joinville* . p. 1–159, 2011.