

URBANIZAÇÃO E EXPOSIÇÃO AO PERIGO DE INUNDAÇÃO: UM ESTUDO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO HENRIQUE, ERECHIM, RS

Urbanization and exposure to flood hazard: a study in the watershed of Henrique River,
Erechim, RS

Urbanización y exposición al peligro de inundación: Un estudio em cuenca hidrográfica
del Río Henrique, Erechim, RS

André Ricardo Furlan
Universidade Federal de Santa Maria
andre.ricardofurlan@gmail.com

Romario Trentin
Universidade Federal de Santa Maria
romario.trentin@gmail.com

Resumo

O recorte espacial de uma bacia hidrográfica torna-se a escala de análise apropriada para estudos ambientais, visto que em sua área pode ser constatado diferentes alterações, por conseguinte, seus reflexos e impactos. Com o processo de urbanização, visualizam-se interferências na superfície terrestre, em decorrência dessas perturbações, criam-se diferentes componentes que expõe a população ao perigo de inundação. O objetivo da pesquisa consiste em identificar domicílios com diferentes níveis de perigo na bacia hidrográfica do rio Henrique, na área urbana de Erechim, em função do processo de urbanização com planejamento inadequado, ao longo de 40 anos. Para viabilizar o trabalho, foi utilizado processo de fotogrametria para elaborar o modelo digital do terreno, assim elaborando mapa hipsométrico e declividade. Para analisar as transformações ao longo dos anos, foram processadas fotografias aéreas dos anos de 1975 e 1989, e imagens de satélite 2010 e 2015, assim obtendo uma análise temporal de 40 anos. Em direção de verificar o perigo, foram analisadas fontes de dados secundários e criados dados primários a partir da análise de campo, todas as informações tabuladas apresentaram três níveis de perigo para os domicílios afetados por inundação. Os resultados demonstram que foram realizadas construções de loteamentos sobre os canais e terraços fluviais, e ao longo de 40 anos os usos da bacia se alteraram de rural para urbano, e isso resulta na exposição de 68 domicílios ao perigo. Portanto, pode-se afirmar que urbanização sem planejamento adequado expõe a população ao perigo de inundação devido às interferências realizadas na bacia hidrográfica.

Palavras-Chaves: Área Urbana; SIG; Fotogrametria.

Abstract

The spatial clipping of a watershed becomes the appropriate analysis scale for environmental studies, since in its area different alterations can be observed, therefore, their reflexes and impacts. With the urbanization process, interferences in the land surface are visualized, as a result of these disturbances, different components are created that

expose the population to the hazard of flooding. The objective of the research is to identify households with different levels of hazard in the Henrique river basin, in the urban area of Erechim, due to the poorly planned urbanization process over 40 years. To make the work feasible, a photogrammetry process was used to elaborate the digital terrain model, thus elaborating a hypsometric map and slope. To analyze the transformations over the years, aerial photographs from the years 1975 and 1989, and satellite images 2010 and 2015 were processed, thus obtaining a 40-year temporal analysis. In order to verify the hazard, secondary data sources were analyzed and primary data were created from the field analysis; all tabulated information presented three danger levels for flood-affected households. The results show that allotments were built on the canals and river terraces, and over 40 years the watershed uses changed from rural to urban, resulting in 68 households being exposed to the hazard. Therefore, it can be stated that urbanization without proper planning exposes the population to the hazard of flooding due to the interference made in the watershed.

Keywords: Urban Area; SIG; Photogrammetry.

Resumen

El recorte espacial de una cuenca se convierte en la escala de análisis adecuada para los estudios ambientales, ya que en su área se pueden observar diferentes alteraciones, por lo tanto, sus reflejos e impactos. Con el proceso de urbanización, se visualizan las interferencias en la superficie de la tierra, como resultado de estas perturbaciones, se crean diferentes componentes que exponen a la población al peligro de inundaciones. El objetivo de la investigación es identificar hogares con diferentes niveles de peligro en la cuenca del río Henrique, en el área urbana de Erechim, debido al proceso de urbanización mal planificado durante 40 años. Para hacer el trabajo factible, se utilizó un proceso de fotogrametría para elaborar el modelo digital del terreno, elaborando así un mapa y una pendiente hipsométricos. Para analizar las transformaciones a lo largo de los años, se procesaron fotografías aéreas de los años 1975 y 1989, e imágenes satelitales 2010 y 2015, obteniendo así un análisis temporal de 40 años. Para verificar el peligro, se analizaron fuentes de datos secundarias y se crearon datos primarios a partir del análisis de campo; toda la información tabulada presentaba tres niveles de peligro para los hogares afectados por inundaciones.

Palabras clave: Área urbana; SIG; Fotogrametría.

Introdução

O avanço tecnológico experienciado durante as últimas décadas, apresenta um quadro de transformações e alterações do modelado terrestre. Diante desse processo, encontra-se a criação de novas formas sobre a superfície, primordialmente em áreas urbanas. As novas formas, estão condicionadas as interferências antrópicas, destacando a utilização de maquinários para implementação de aterros em áreas de banhado, canalização dos canais fluviais, entre outros. Todas as transfigurações citadas acima alteram toda dinâmica presente em uma bacia hidrográfica.

Destaca-se assim, que a escala de análise propícia para identificação dos efeitos da urbanização corresponde a bacia hidrográfica. Nela as transformações são evidenciadas de maneira mais aguda, e a partir da bacia hidrográfica consegue-se implementar o ordenamento territorial e o planejamento ambiental.

Nesse sentido, as bacias hidrográficas contidas em áreas urbanas apresentam maiores transformações antropogênicas. Isso ocorre devido à demanda para construção de novos loteamentos devido ao aumento constante da população urbana e da especulação imobiliária. Contudo, tendo em vista que a ocupação urbana sem planejamento ambiental adequado amplifica uma série de um grande problema ao longo dos anos (GUERRA e MARÇAL, 2009; JORGE, 2011).

Portanto, a bacia hidrográfica corresponde a uma célula de suma importância para diagnósticos ambientais, apresentando-se como uma escala apropriada para análise geomorfológica e geográfica, em que pode ser inferido ações que venham a contribuir com o planejamento ambiental (MENDONÇA, 2000; BOTELHO e SILVA, 2004; BOTELHO, 2011, 2015; CUNHA e GUERRA, 2012).

A questão das inundações geralmente está relacionada ao aumento da precipitação e a vazão nos picos de cheia, que derivam muitas vezes do estrangulamento das seções transversais dos rios que são causados por canalizações, aterros indevidos, acúmulo de lixo e assoreamento. Todas essas alterações realizadas nos canais fluviais apresentam diversos fatores que imprimem de maneira negativa as intervenções efetuadas pelo ser humano nas dinâmicas naturais do leito maior e menor do canal (CUNHA, 1994; VIEIRA e CUNHA, 2005).

Em decorrência dos processos de inundação em área urbana, surge a discussão no entorno da conceituação dos perigos naturais ou *Natural Hazards*, na língua inglesa. Essa terminologia é ampla, e muitas vezes o termo perigo, pode ser considerado como ameaça, correspondendo a *Amenaza* em espanhol. Uma terminologia também correspondente ao perigo diz respeito a *Aléa*, utilizada na Geografia francesa.

Nesse sentido, verifica-se que um perigo natural pode ser de origem natural ou antrópica, mas sua força motriz constitui por um elemento natural, no caso da inundação o fluxo d'água. Tem-se então que o perigo se torna a possibilidade da ocorrência de um evento natural que afeta a sociedade e pode gerar danos as infraestruturas além de causar diversos prejuízos (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; MARANDOLA Jr e HOGAN, 2004; CASTRO et al., 2005; VEYRET e RICHEMMOND, 2007; THOURET, 2007;

ALMEIDA, 2011; ROBAINA e TRENTIN, 2013; RIFFEL et al, 2016; OLIMPIO e ZANELLA, 2017ab).

O objetivo do trabalho corresponde em analisar as transformações na cobertura e uso da terra ao longo de 40 anos, buscando compreender como o aumento das áreas urbanizadas expõe os domicílios ao perigo de inundação. O desenvolvimento do trabalho ocorreu na bacia hidrográfica do rio Henrique, que se encontra na área urbana de Erechim, estado do Rio Grande do Sul. A estrutura do trabalho encontra-se a partir de breve introdução, apresentando os fundamentos teóricos, na sequência a delimitação e caracterização das áreas de estudo, os materiais e métodos utilizados, a análise dos resultados e as considerações finais.

Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Henrique (2,86 km²), encontra-se situado dentro do limite do perímetro urbano do município de Erechim, este que se situa na porção norte do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A litologia corresponde a Formação Serra Geral representado pela Fácies Paranapanema (K1 beta pr) (CPRM, 2007).

A precipitação varia aproximadamente entre 1700 – 1900 mm ao ano, os meses mais chuvosos ocorrem na primavera com um volume de 175 – 215 mm. As altitudes elevadas do Planalto Basáltico associado ao sistema atmosférico favorecem no volume de precipitação. As formas do relevo dessa área contribuem para os elevados totais pluviométricos, visto que a posição em que se encontra o vale do rio Uruguai, localizado no norte do estado do RS, faz com que ocorra ascensão de ar nas direções de Santa Catarina (norte) e Rio Grande do Sul (sul) (ROSSATO, 2011).

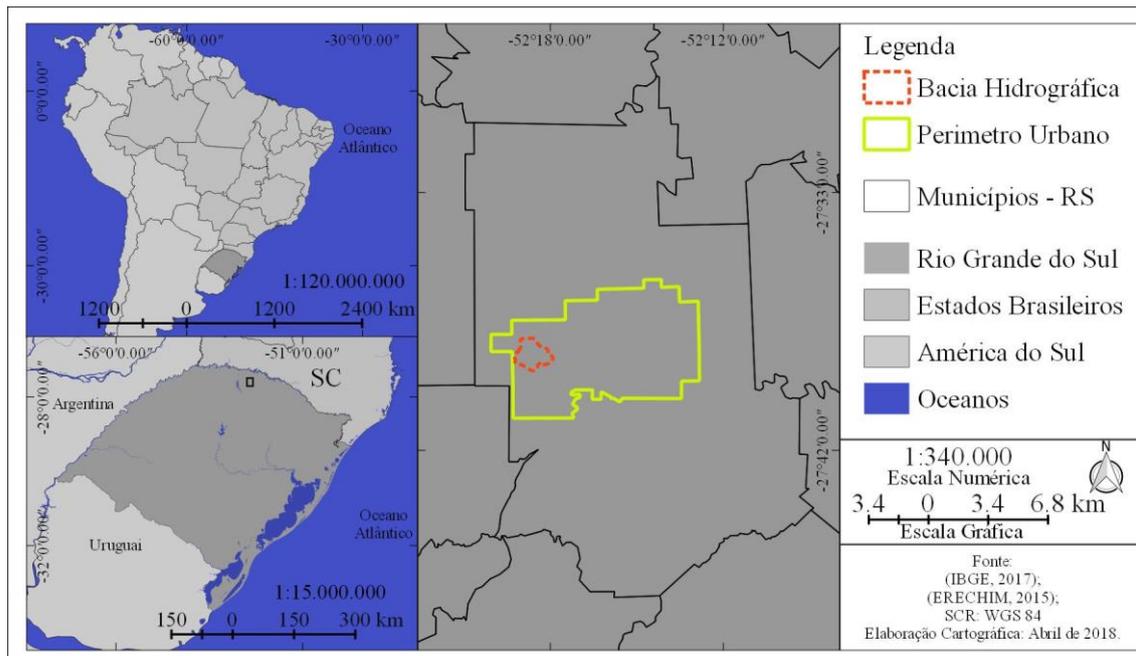


Figura 1: Localização da área de estudo. Elaboração: Autores (2019)

Materiais e métodos

Para atingir o objetivo do trabalho foram avaliadas os dados disponíveis e a escala possível para adequação metodológica, também foram analisadas as possibilidades de execução. Dessa forma as sistematizações dos dados da área de estudo foram a partir das rotinas de trabalho relatadas em Fitz (2008a, 2008b) com utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Modelo Digital do Terreno

Para realizar a análise na bacia do rio Henrique, foi necessária a utilização de fotografias aéreas de 1989, para a construção das bases topográficas, pois, as cartas topográficas 1:2.000 (AGRITEC, 1990) cobrem apenas 75% da área da bacia hidrográfica. Assim, utilizaram-se os pontos cotados coletados nas cartas topográficas, possibilitando realizar o processo de fotogrametria, pois, os pares de fotografias cobrem toda a bacia hidrográfica.

Utilizou-se para o processamento de fotogrametria o software PhotoScan, da Agisoft, versão 1.0.4, modo Trivial. O aplicativo PhotoScan foi de extrema importância para a implementação das rotinas fotogramétricas, e, mesmo com a utilização da versão Trivial do aplicativo, conseguiu-se atingir o objetivo na geração das curvas de nível.

Portanto, se utilizou o Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica dos Pontos Cotados e do Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Superfície (MDS). Para a produção de Produtos Cartográficos Digitais verifica-se que os dados utilizados se encaixam em análises referentes à escala de 1:1.000 como pode-se observar no quadro abaixo.

Quadro 1: Parâmetros utilizados pela DSG (2016). Elaboração: Autores (2019)

Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica (PEC) pontos cotados e Produção de Produtos Cartográficos Digitais (MDT, MDE E MDS) 1989		
	1:1.000 ($Eqd = 1m$)	
	PEC (m)	EP (m)
PEC – PCD (A)	0,27	0,17
Processado Agisoft	0,19	0,07
Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica (PEC) curvas de nível (MDT, MDE E MDS) 1989		
Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica Produção de Produtos Cartográficos Digitais	1:1.000 ($Eqd = 1m$)	
	PEC (m)	EP (m)
PEC – PCD (A)	0,50	0,33
Processado Agisoft	0,19	0,07

Após a obtenção desses dados foi viável, com utilização das geotecnologias, criar Modelos Digitais do Terreno (MDT), a partir desse dado, tornou-se possível distinguir sete classes hipsométricas e quatro classes de declividade.

Elaboração de Carta Imagem

Buscou-se realizar uma análise das transformações da cobertura e uso da terra a partir da sobreposição de fotografias aéreas do levantamento aerofotogramétrico dos anos de 1975 e 1989, e de imagens de satélite de 2010 e 2015. Assim, foi possível identificar distintos estágios de urbanização em uma escala temporal de 40 anos, dessa forma, possibilitou classificar as principais áreas que ocorreram processos de transformações antropogênicas.

A partir de fotogrametria foram criados ortomosaicos no *software* PhotoScan, da Agisoft para o ano de 1975 e 1998. No Quadro 2 identifica-se que o ortomosaico de 1975 corresponde à classe A em uma escala de 1:10.000. O ortomosaico criado para análise de 1989 corresponde ao padrão, classe C, em uma escala de 1:1.000.

Quadro 2: Parâmetros utilizados pela DSG (2016). Elaboração: Autores 2019

Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimétrica dos Produtos Cartográficos Digitais	1:10.000 (1975)	
	PEC (m)	EP (m)
PEC – PCD (A)	2,80	1,70
Processado Agisoft	2,28	1,34
Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica Produção de Produtos Cartográficos Digitais	1:1.000 (1989)	
	PEC (m)	EP (m)
PEC – PCD (C)	0,80	0,33
Processado Agisoft	0,76	0,07

Para análise da imagem de satélite foram utilizados o World View2, com resolução espacial de 0,5 metros. A data da imagem é de 18 de março de 2010. Para o ano de 2015 é utilizada a imagem do satélite Digital Globe de 04 de outubro de 2015. Portanto, as imagens de satélite e o ortomosaico de 1989 possuem definição suficiente para atividades cartográficas com precisão de escala satisfatória até a escala de 1:2000. A imagem de 1975 corresponde ao detalhamento de 1:10.000 e apresenta nitidamente a cobertura e uso da terra.

Identificação de áreas suscetíveis a partir de inventário e classificação do perigo

Para realizar o diagnóstico do perigo, primeiramente foi necessário efetivar o levantamento espaço-temporal das inundações. Foi necessário distinguir a periodicidade e os principais locais em que ocorrem os processos. Assim, foi possível espacializar as áreas com processos de inundação, onde foi realizada pesquisa de dados disponíveis para análise dessa área.

Salienta-se que em decorrência de a escala de trabalho adotada na pesquisa não foi possível obter dados com medições precisas, como a de precipitação, por efeito de inexistência de estações meteorológicas na área de estudo. Dessa forma buscou-se realizar uma análise focada na bacia hidrográfica, realizando um levantamento de detalhe e de cadastro, possibilitando coleta de dados primários realizados a partir de trabalhos de campo.

Dessa forma, foi realizado levantamento nos órgãos competentes (Defesa Civil) e no arquivo histórico municipal, averiguando, assim, as datas de ocorrência de eventos nos jornais de circulação municipal para construção de banco de dado.

Após o levantamento do inventário temporal das inundações, passou-se a delimitar os recortes espaciais com registros de inundação, visualizado a partir da investigação do inventário de inundação e a partir de trabalho de campo. Para hierarquizar as áreas de perigo em três classes (alto, médio e baixo) foi necessário estabelecer parâmetros baseados na recorrência do episódio, na cota altimétrica da compartimentação da bacia hidrográfica, e na potencialidade da ocorrência de inundação.

A composição da variável Inventário de Inundação (II) corresponde as ruas que não possuem registros e recebem nota menor (1), as ruas que apresentam até um registro de processo de inundação ganham nota intermediária (2), as ruas cujo processo está registrado com mais de dois episódios de inundação recebem nota máxima (3), assim demonstrando a recorrência do processo (Quadro 5).

A segunda variável elaborada Potencialidade da Inundação (PI) foi empregada a partir de análise empírica e laboratorial que consiste basicamente em três etapas descritas no Quadro 3.

Quadro 3 - Etapas do trabalho de campo. Elaboração: Autores (2019)

1ª Etapa	2ª Etapa	3ª Etapa
<ul style="list-style-type: none"> • Análise morfométrica da bacia hidrográfica; • Elaboração de croquis em laboratório; • Conferência em campo das alterações antropogênicas, dos locais planos próximo ao canal e de áreas de fluxo convergente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação dos domicílios encontrados sobre área de possível inundação; • Diálogo com moradores para identificação da magnitude do processo, identificando os domicílios e o total da área atingida, assim como o nível da água durante o processo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conferência dos domicílios que se encontram sobre o processo de inundação; • Identificação das principais transformações no uso da terra e no leito fluvial nas áreas inundadas; • Categorização da variável potencialidade de inundação.

O último dado apresentado consta da posição topográfica (PB) das residências correspondentes as bacias hidrográficas (Quadro 4). Assim, foram divididos os domicílios que estão em cotas altimétricas altas, essas que se encontram próxima as nascentes dos canais, assim recebendo nota menor (1), pois, o fluxo da água não se encontra com volume alto. A classe intermediária corresponde as cotas do médio curso, onde o fluxo e volume da água começam a ficar concentrado e recebe nota intermediária (2). A última classe está relacionada a compartimentação mais baixa da bacia hidrográfica, nessa área o fluxo

torna-se concentrado e o volume da água maior, assim ocasionando maior perigo a população e corresponde a maior nota (3).

Quadro 4: Descrição das classes de perigo. Elaboração: Autores (2019)

Parâmetro	Nota	Henrique
Alto	1	765 – 761 m
Médio	2	758 – 755 m
Baixo	3	732 – 726 m

O que agrava o processo de inundação está relacionando à canalização e ao tamponamento dos canais originais. Pois, isso faz com que o fluxo da água se concentre, e a probabilidade de obstrução desses canais é maior, assim fazendo com que as pressões sobre as tubulações aumentam, assim acentuando a suscetibilidade da ocorrência da inundação.

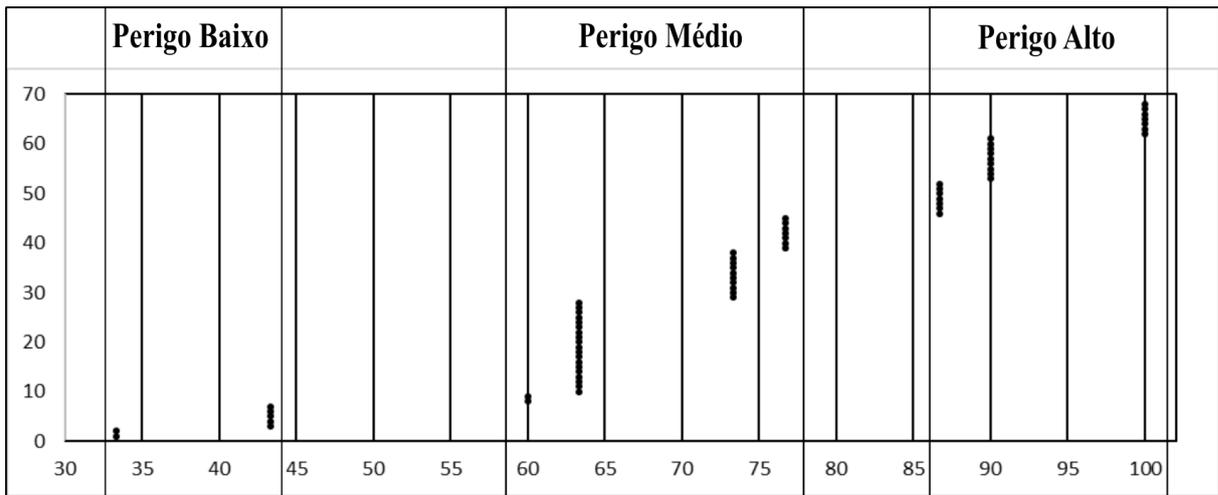
O Quadro 5 apresenta os parâmetros utilizados para classificação do perigo, a partir das três variáveis, em que cada parâmetro utilizado corresponde a uma nota que condiz a uma porcentagem, que possui um total de 100%.

Quadro 5: Descrição das classes de perigo. Elaboração: Autores (2019)

Perigo de Inundação dos Domicílios								
Inventário de Inundação (II)			Potencialidade da Inundação (PI)			Posição na BH (PB)		
Parâmetro	Nota	Peso 30%	Parâmetro	Nota	Peso 40%	Parâmetro	Nota	Peso 30%
0	1		Baixa	1		Alto	1	
1	2		Média	2		Médio	2	
1 <	3		Alta	3		Baixo	3	

A partir da somatória dos dados foram definidas às três classes que compõe a análise do perigo como apontados no Gráfico 1.

Gráfico 1: Dispersão das classes de perigo. Elaboração: Autores (2019)



A partir do Gráfico 1 identifica-se que a classe Perigo Baixo se encontra entre as porcentagens que varam entre 33 e 47, o Perigo Médio distribuem-se entre as porcentagens 60 e 77. O Perigo Alto concentra-se entre as porcentagens 87 e 100, desta forma, pode-se classificar o Perigo em três diferentes níveis.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Características administrativas e morfométricas

A Figura 2 apresenta a delimitação dos sete bairros do Perímetro Urbano que se encontram sobre a bacia hidrográfica, também pode ser verificado três recortes espaciais em que foi identificado processos de inundação. Na Figura 2, ainda pode ser identificada uma Carta Imagem de 2015, em que se visualiza a delimitação das ruas e quadras consolidadas na bacia hidrográfica.

Com a realização da delimitação da bacia hidrográfica e a identificação de ruas com processo de inundação, foi realizado trabalhos de campo, esses que auxiliaram na definição dos domicílios com ocorrência de inundação, ainda possibilitou o diálogo com os atingidos, assim, possibilitando identificar mais duas ruas que não constavam no inventário. A primeira, no bairro Paiol Grande especificamente na rua Arno Nicolini e outra, no bairro Agrícola, rua Normélio Reginnatto.

Verifica-se também a análise de um dos elementos do terreno, que consiste na diferenciação das cotas altimétricas na bacia hidrográfica, representada a partir da hipsometria.

A primeira classe em verde-escuro (708-724m) apresenta menor porção com aproximadamente 5,99% (0,17 km²) da área total da bacia, se encontra no baixo curso. A segunda classe hipsométrica em verde-brilhante (724-738m), também se localiza no baixo curso em uma pequena porção que contempla a segunda menor área na bacia com 11,27% (0,32 km²) do total, nessa área que se encontra o terceiro recorte espacial com ocorrência de inundação.

A terceira classe na cor verde (738-754m), corresponde à quarta menor área totalizando 15,85% (0,45 km²). Esses locais quando associados aos canais fluviais podem ser considerados como planícies e terraços fluviais. A quarta classe em amarelo (754-768m) é a terceira maior porção na área analisada e possui 20,42% (0,58 km²) do total, nessa classe também podem ocorrer áreas de banhado e terraços fluviais quando se encontram próximo ao canal fluvial e em declividades baixas. Nessas cotas, estão contidos o primeiro e o segundo recorte espacial com ocorrência de inundação na bacia hidrográfica do rio Henrique.

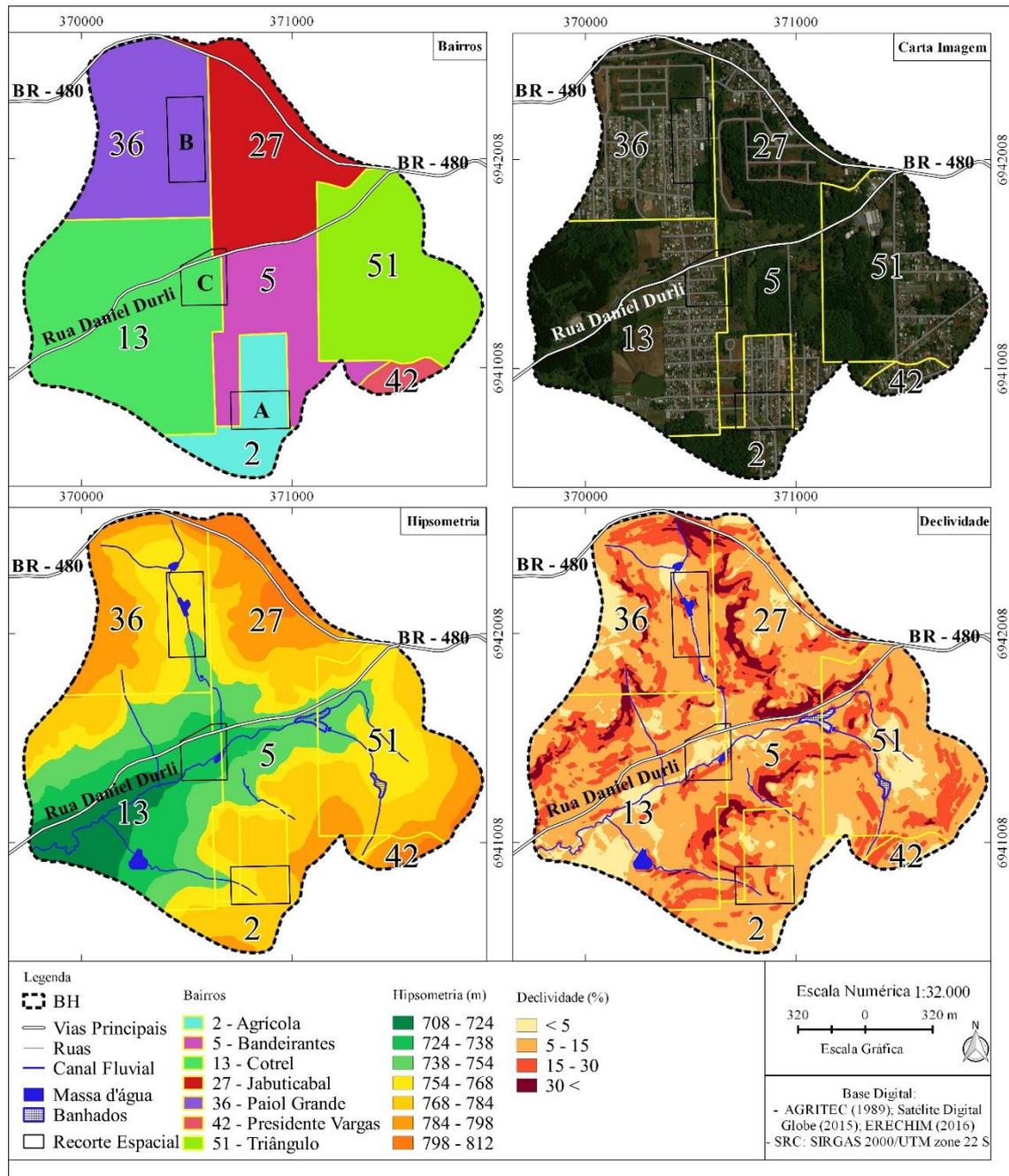


Figura 2: Bairros, Carta Imagem, Hipsometria e Declividade. Elaboração: Autores (2019)

A quinta classe na cor ouro (768-784 m), totaliza 26,41% (0,75 km²) da área da bacia, é identificada principalmente em áreas de encosta no baixo curso, e no alto curso quando está sobre áreas planas, correspondem a banhados. A sexta classe em laranja (784-798 m), possui a mesma porcentagem que a terceira, totalizando 15,85% (0,45 km²), está relacionada às áreas de alta encosta e os topos dos morros. Em laranja-escuro encontra-se

a última classe (798-812 m), está relacionada aos topos dos morros e interflúvios correspondendo a terceira menor porção 4,23% (0,12 km²) do total da bacia.

Outro elemento analisado, a declividade, a primeira classe em amarelo-claro (> 5 %), corresponde a terceira maior porção da bacia hidrográfica abrangendo 12,32% (0,35 km²), associa-se nessas áreas, processos de deposição sedimentar formando planícies e terraços fluviais quando próximo ao canal fluvial. Quando essa classe se verifica próximo ao interflúvio, encontram-se processos de denudação por estarem nos topos dos morros.

A segunda classe em laranja (5–15%), corresponde a maior porção da bacia hidrográfica contemplando 59,15% (1,68 km²). A terceira classe corresponde a segunda maior porção na cor vermelho (15–30%), é encontrada na baixa e média encosta totaliza 23,24% (0,66 km²) em área da bacia, são áreas que propiciam processos erosivos devido à inclinação.

A última classe (30 <%) possui a menor porção e pode ser visualizada nas áreas de média e alta encosta em vermelho-escuro, corresponde a 5,28% (0,15 km²), essas áreas com declividade acentuada não são recomendadas para construção de moradias.

Dessa forma a partir da Hipsometria e Declividade pode-se indagar, que a bacia se encontra sobre um relevo movimentado, associado a derrames vulcânicos em que ocorrem falhamentos estruturais horizontais e verticais, favorecendo a dissecação do relevo.

Transformações da cobertura e uso da terra

A partir das quatro cartas imagem abaixo (Figura 3), pode-se acompanhar as transformações espaciais que a área da bacia recebe ao longo de 40 anos, identifica-se que nos recortes espaciais a transformação ocorreu de maneira abrupta. Pode-se indagar, que os bairros que se encontram no alto curso da bacia hidrográfica foram os primeiros a serem urbanizados. Verifica-se, portanto, que no transcorrer de 40 anos a função da bacia hidrográfica vai se alterando de propriedades rurais para áreas urbanas, e nesse período essas alterações impactam o ecossistema.

Dessa forma, torna-se importante analisar os três estágios da urbanização descritos por Vieira e Cunha (2005) e Rodrigues e Moroz-Caccia Gouveia (2013). O primeiro consiste no estágio pré-urbano, o qual se caracteriza pela retirada da vegetação de pequeno e grande porte, edificação dos lotes. O processo que se instala nesse estágio é o aumento da vazão e da sedimentação, os quais iniciam o processo de contaminação do solo e da água. No entanto, nessa etapa não ocorrem mudanças significativas nas características

morfológicas, preservando os processos no sistema, alterando minimamente algumas taxas de erodibilidade.

O segundo estágio consiste no processo intermediário de urbanização e caracteriza-se pela instalação de ruas e constituição de terrenos para edificação, nos quais são realizados cortes, aterros e calçamento das ruas. Nesse período são liberados materiais superficiais com baixa coesão interna, apresentando descontinuidades morfológicas e induzindo processos de escoamento superficiais, concentrados pela diminuição da infiltração. Além disso, é possível identificar a falta do tratamento de lixo e esgoto, acentuando o processo de poluição do solo e das águas.

O último estágio caracteriza-se pela urbanização consolidada e configura-se por elevar duas vezes a taxa de deposição, comparada com a fase pré-urbana. Aumenta-se, de maneira drástica, o escoamento superficial, acelerando os picos de cheias, necessitando mais demanda de espaço ocupado pela água nos perfis transversais dos canais de drenagem, os quais não suportam grandes volumes de água a partir de elevadas precipitações.

Ao analisar a Figura 3, o bairro Triângulo (51) encontra-se sob a área da bacia, e em 1975 verifica-se a presença de algumas casas esparsas, em 1989 observa-se a consolidação dos loteamentos iniciados em 1975. No ano de 2010 identifica-se maior densificação nas áreas já urbanizadas e também a presença da construção de novos loteamentos, e essa lógica segue até o ano de 2015, onde representa acréscimo de alguns domicílios.

Na Figura 3, o bairro Presidente Vargas (42) em 1975 não se verifica construções, apenas em 1989 identifica-se a presença de um aglomerado de casas em uma pequena porção. Já em 2010, observa-se que este bairro se encontra completamente urbanizado, e essa densificação aumenta progressivamente em 2015.

O bairro Agrícola (2) representado na Figura 2 identifica-se que em 1975 a cobertura e o uso da terra predominava capões de mato, vegetações rasteiras e áreas destinadas às lavouras. No ano de 1989 ocorre aumento da vegetação em densificação, porém, já é observado a presença da abertura de rua para construção de um novo loteamento. Dessa forma, em 2010 ocorre a consolidação do loteamento, mas observa-se ainda a presença de uma porção de mata, e no ano de 2015 se consolida mais um loteamento aumentando a impermeabilização na porção do bairro que se encontra sobre a bacia.

Em relação às informações apresentadas na Figura 3, no bairro Bandeirantes (5) em 1975 a cobertura e uso da terra constituía-se de vegetação densa, vegetação rasteira e lavouras, contando com a presença de poucas casas, para o ano de 1989 consolidam-se as áreas de vegetação densa. No ano de 2010 observa-se aumento nas áreas vegetadas e a construção de um loteamento na direção sudoeste. A cobertura e uso da terra no ano de 2015 aumenta-se expressivamente esse loteamento, e também é possível identificar a abertura de ruas para construção de novos loteamentos.

No Jabuticabal (27) que se encontra acima da RS-480 (Figura 3) no ano de 1975 verifica-se a estruturação de um loteamento com a presença de ruas e casas ainda esparsas, também se identifica a existência de vegetação densa, vegetação rasteira e lavouras temporárias. No ano de 1989 verifica-se a estabilização do loteamento próximo a RS-480. Em 2010 o loteamento a norte e a nordeste encontra-se consolidado e com alta densidade de casas. Em 2015 observa-se a estruturação das áreas já urbanizadas e é possível identificar a construção de um novo loteamento, e a abertura de ruas em área com vegetação densa.

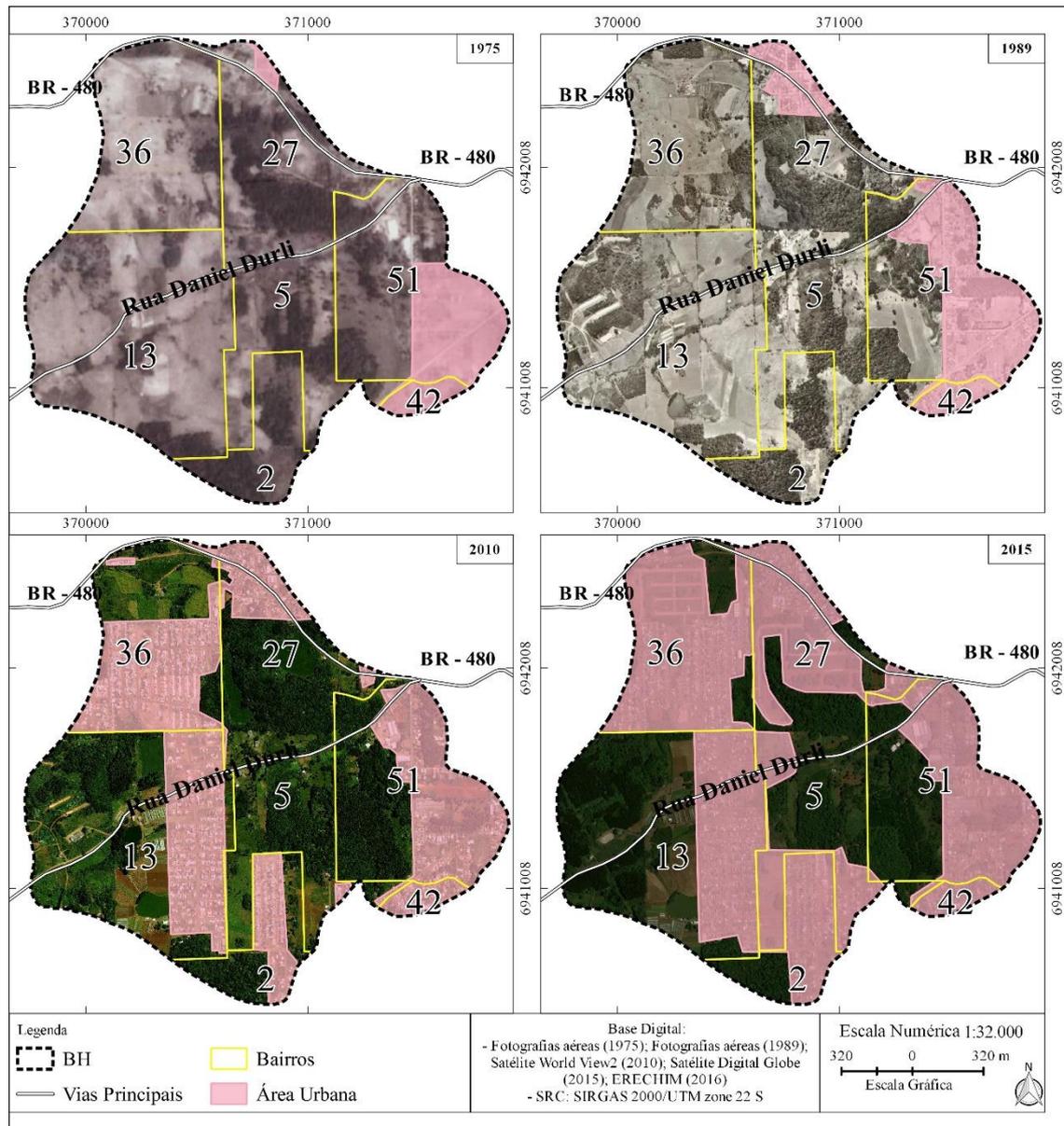


Figura 3: Carta Imagem, 1975, 1989, 2010 e 2015. Elaboração: Autores (2019)

O bairro Cotrel (36) no ano de 1975 possuía algumas propriedades rurais, os usos eram basicamente vegetações densas e rasteiras, também algumas áreas de lavouras. Em 1989, identificam-se corpos d'água e a pouca presença de mata ciliar no canal. No ano de 2010 visualiza-se a criação de um loteamento na direção norte — sul, e a presença de propriedade rural, em direção oeste observa-se a existência de plantio de silvicultura. Em 2015 o loteamento Cotrel se consolida principalmente ao sul da rua Daniel Durli, ao norte ainda se encontra uma urbanização esparsa, o que induz a lógica que o valor dos terrenos nessa área é elevado em comparação aos demais do bairro.

Na Figura 3, o bairro Paiol Grande (13) em 1975 a cobertura e uso da terra encontra-se com predomínio de pequenas propriedades rurais, com utilização de lavouras, vegetação rasteira e reduzidas porções de vegetação densa, e segue o mesmo padrão em 1989. Em 2010 é criado um loteamento, porém, ainda se verifica a presença de uma pequena propriedade rural na direção norte, abaixo da RS-480. Para o ano de 2015, identifica-se a construção de novos loteamentos, onde ocorreu a estruturação de novas casa e aberturas de ruas, nas áreas loteadas em 2010, no ano de 2015 observa maior impermeabilização da terra.

Verifica-se, portanto, que no decorrer de 40 anos a função da bacia hidrográfica vai se alterando, de propriedades rurais, para área urbana, e no perpassar dos anos essas alterações impactam o ecossistema, e esse se manifesta de maneira pontual como nas áreas em que ocorrem as inundações. Esse problema que se tornou corriqueiro principalmente para o bairro Paiol Grande e Cotrel, devido à construção dos loteamentos sobre terraços fluviais e sobre os próprios canais de drenagem que foram sendo retificados, canalizados e tamponados.

Inventário, caracterização, origem e classificação do perigo de inundação

O levantamento do inventário dos registros de inundação apresenta a periodicidade da ocorrência do processo, dessa forma, em dois anos existem sete registros na área analisada. No Quadro 6, contém os principais nomes de ruas com apontamentos, assim, foi identificado no inventário uma área com episódios de inundação, no bairro Paiol Grande, localizando-se na rua Anselmo Parmeggiani.

Quadro 6: Ocorrência de processos superficiais. Elaboração: Autores (2019)

Ano	Dia e mês	Estação do Ano	Rua	Fonte
2014	12/fev	Verão		AUOnline
2014	26/jun	Inverno		Rádio Guaíba
2015	14/jul	Inverno	Rua Angelina Pagliosa Lôra - R. Baltazar Gáspar Sponchiado	AUOnline
2015	02/dez	Primavera	Daniel Durli, Silvio Leonel Marangone, Angelina, Pagliosa Lôra, Balthazar Gáspar Sponchiado (Cotrel) Anselmo Parmeggiani (Paiol Grande)	Defesa Civil AUOnline JBVonline
2015	21/dez	Verão	Daniel Durli, Silvio Leonel Marangone, Angelina, Pagliosa Lôra, Balthazar Gáspar Sponchiado (Cotrel)	AUOnline
2016	31/jan	Verão	Daniel Durli, Silvio Leonel Marangone, Angelina, Pagliosa Lôra, Balthazar Gáspar Sponchiado (Cotrel) Anselmo Parmeggiani (Paiol Grande)	AUOnline

2016	17/fev	Verão	Daniel Durli, Silvio Leonel Marangone, Angelina, Pagliosa Lôra, Balthazar Gáspar Sponchiado (Cotrel) Anselmo Parmeggiani (Paiol Grande)	AUOnline
------	--------	-------	--	----------

No bairro Cotrel a partir do inventário de inundação constatou a ocorrência de processos de inundação, no Figura 4 pode-se observar alguns registros da ocorrência do processo de inundação, abrangendo algumas casas e interrompendo o trânsito. Os registros fotográficos dos episódios foram feitos nas ruas Daniel Durli (A), Balthazar Gáspar Sponchiado (B), Silvio Leonel Marangone (C) e Angelina Pagliosa Lôra (D).



Figura 4: Processos de inundação. Elaboração: Autores (2019).

Partindo para análise do Perigo, identificou-se que o Perigo Baixo corresponde à menor porção, contemplando 10,29% entre os domicílios. O Perigo Médio corresponde a segunda maior porção, e foram identificados 66,18% dos domicílios. O Perigo Alto com segunda maior porção, apresenta 16 domicílios. Os valores podem ser identificados no Quadro 7.

Quadro 7: Classificação do Perigo. Elaboração: Autores (2019)

Perigo		Classificação	Domicílios	%
Perigo Baixo	P1	33 - 47	7	10,29
Perigo Médio	P2	60 - 77	45	66,18
Perigo Alto	P3	87 - 100	16	23,53

Ao analisar os dados a respeito do perigo, nota-se que o Perigo Médio predomina de maneira pontual, a partir do reconhecimento dos recortes espaciais selecionados para análise busca-se compreender a natureza do processo, o que levou a ocorrência dessa inundação. Nesse sentido, vale ressaltar que nas áreas urbanas, novos elementos são somados pelo homem, a construção de pavimentos e edificações aliados à canalização e retificação de canais fluviais reduz “[...] drasticamente a infiltração e favorecem o escoamento das águas que atingem seu exutório mais rapidamente e de forma mais concentrada, gerando o aumento da magnitude e da frequência das enchentes nessa área” (BOTELHO, 2011, p. 72-73).

Na Figura 5, é possível visualizar que no primeiro recorte espacial, contém quatro domicílios identificados que se encontram entre as cotas 764 metros e 761 metros, nesse local existem dois domicílios com Perigo Baixo em verde e dois domicílios com Perigo Médio em amarelo.

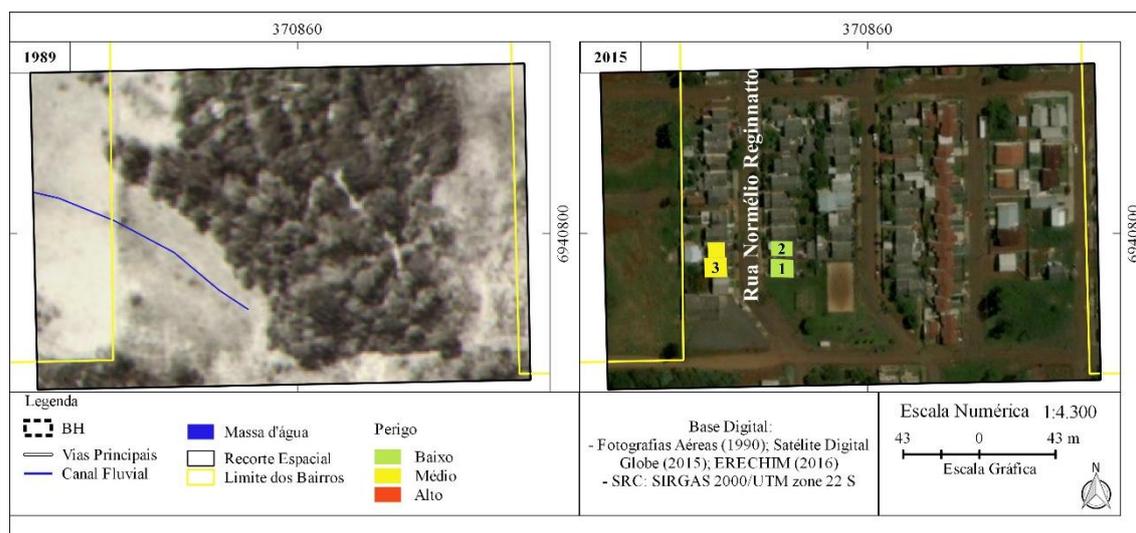


Figura 5: Perigo de Inundação recorte espacial A. Elaboração: Autores (2019).

Ainda na Figura 5, onde se realiza uma verificação temporal de 26 anos, observa-se que a área em que se encontra os domicílios sob situação de perigo tratava-se de local

que possuía presença de um canal fluvial. Em decorrência da supressão dos canais e do predomínio de feições do terreno convergentes o fluxo d'água concentra-se em direção as áreas mais baixas, dessa forma, com acréscimo de áreas impermeabilizadas as tubulações alocadas não conseguem dar vazão para o volume de água durante grande precipitação. Pois, vale salientar que as obras de engenharia no ambiente fluvial apresentam impactos drásticos nos canais fluviais, e esses ocasionam diversos efeitos em sequência, estes que no que lhe concerne são irreversíveis (CUNHA, 1994).

Portanto, se verifica uma transformação considerável nesse recorte, em que a mata nativa foi substituída por lotes urbanos. Assim, essa área que deveria ser de preservação permanente, por se tratar de um leito maior de um canal de 1º Ordem. À vista disso, os processos de inundação recorrentes nessa área tornam-se um processo completamente antropogênico.

O segundo recorte espacial analisado corresponde às cotas que variam entre 760 metros e 750 metros, apresenta 37 domicílios, deste total, cinco domicílios encontram-se sobre Perigo Baixo em verde, 28 sobre Perigo Médio em amarelo, e quatro correspondem ao Perigo Alto em vermelho.

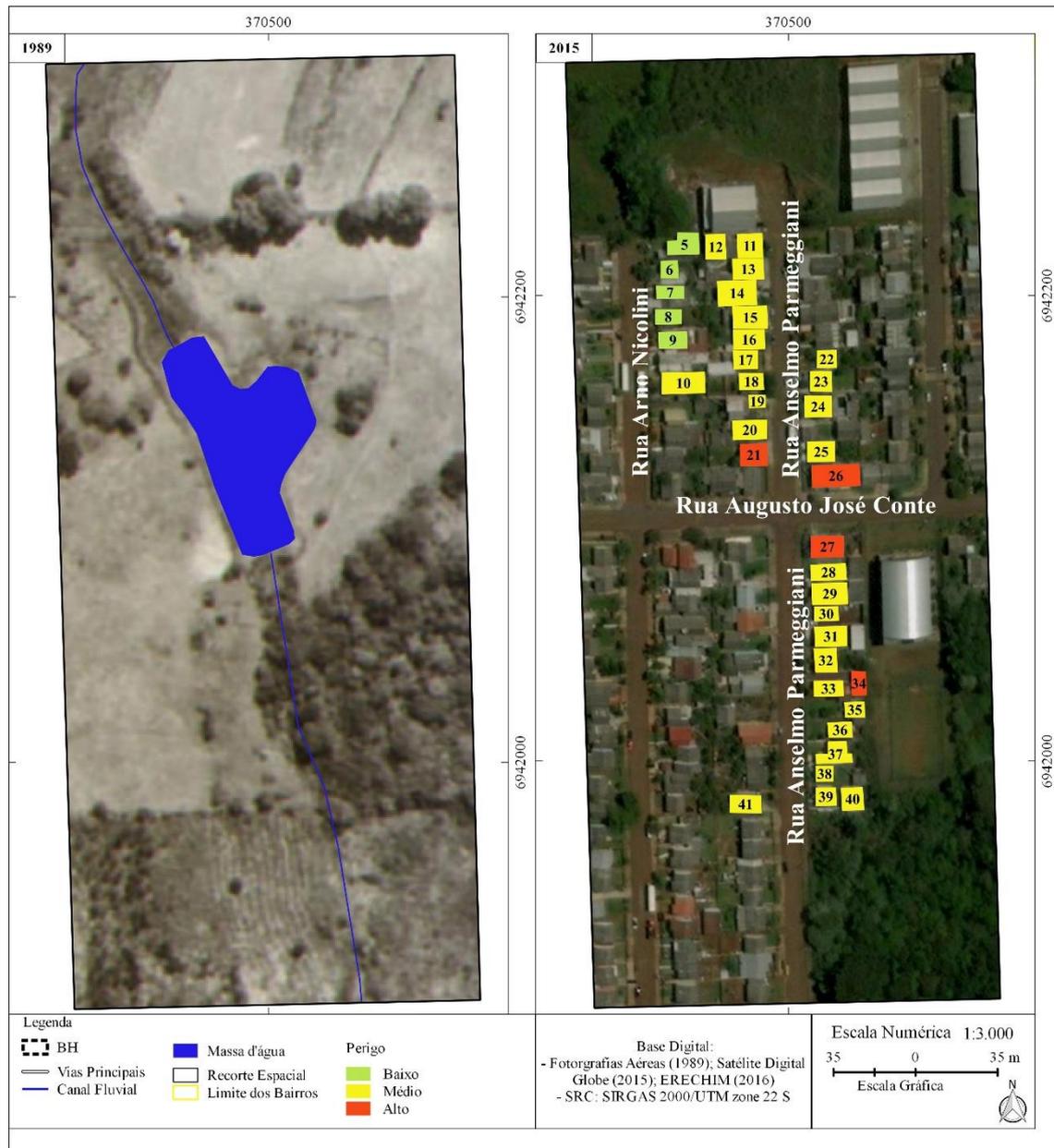


Figura 6: Perigo de Inundação recorte espacial B. Elaboração: Autores (2019).

Ao verificar a Figura 6, nota-se que nesse recorte espacial, a natureza da inundação também é provocada por interferências antropogênicas, percebe-se que a construção das moradias foi realizada sob área de deposição e sob o leito maior do canal fluvial. Torna-se perceptível ao avaliar a evolução espacial da área em 26 anos, pois, em 1989 a área possuía usos rurais de campo e lavoura, também pode ser identificado área de mata nativa. Para o ano de 2015, a funcionalidade da área se altera completamente e passa a ser uma área urbanizada com adensamento residencial.

Nesse sentido, com o crescimento urbano os rios acabam perdendo suas características naturais, em virtude das consecutivas intervenções alicerçadas em obras de engenharia, as quais, na maioria das vezes, não consideram os processos fluviais em todo o canal. Dessa forma, são efetuadas alterações na eficiência do fluxo líquido, em decorrência de modificações nas seções transversais e nos perfis longitudinais (VIEIRA; CUNHA, 2005).

O último recorte espacial, conforme a Figura 7, analisado corresponde às cotas 730 metros até 726 metros, foram identificados 27 domicílios, 15 domicílios correspondem ao Perigo Médio, os demais (12) foram classificados como Perigo Alto. A partir da análise espacial do recorte, percebe-se que as inundações são de origem antropogênica, pois, em 1989 existiam apenas dois domicílios na área, em que se pode identificar a presença do canal fluvial.

Nesse sentido, para Cunha (1994), como resultados das canalizações e retificações obtém-se o aumento considerável da carga sólida e o assoreamento imediato após dragagem, os eventos torrenciais contribuem com aceleração da erosão. Os sedimentos produzidos durante o período de dragagem aumentam a quantidade de sua deposição em direção à foz do rio principal, esse efeito ocasiona a origem de novas formas deposicionais alterando o equilíbrio natural. Nas planícies de inundação, as alterações no leito transformam meandros em lagos ou bacias de decantação, elevando o nível do terraço fluvial.

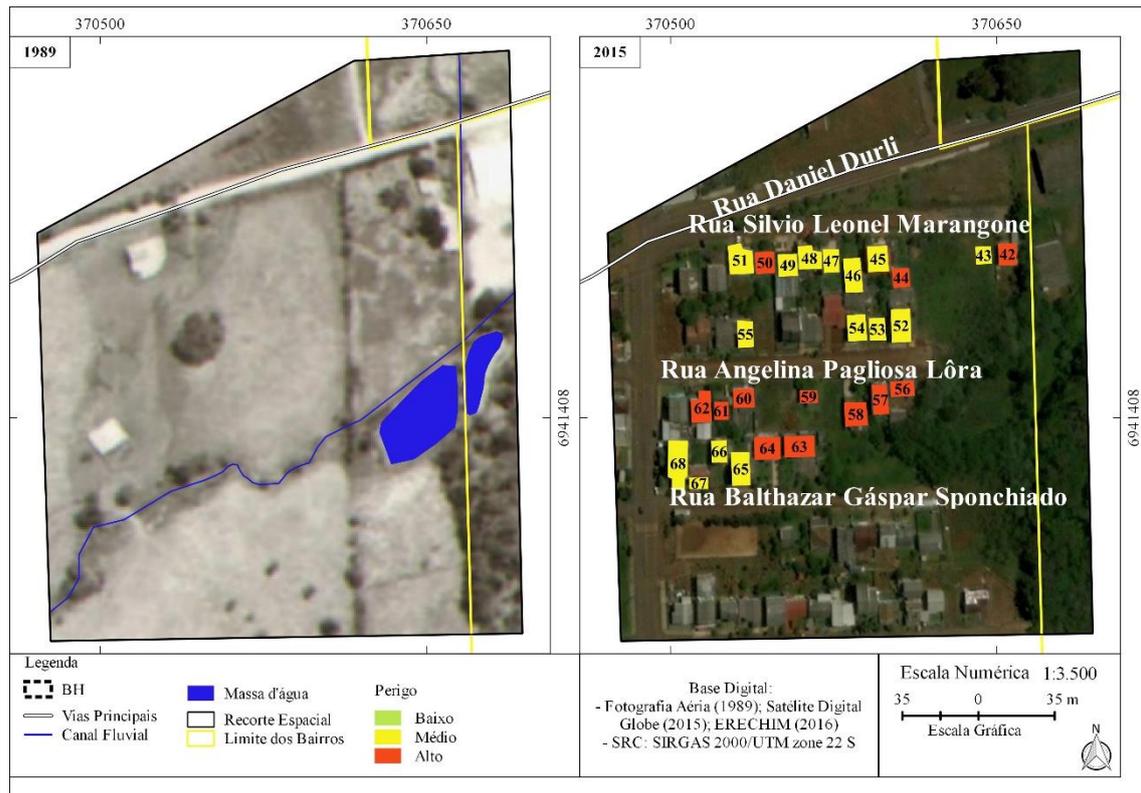


Figura 7: Perigo de Inundação recorte espacial C. Elaboração: Autores (2019)

No ano de 2015 a área encontra-se totalmente modificada e com a presença de dezenas de domicílios, portanto, foram construídas edificações sobre o leito maior do canal, e sobre área de planície e de deposição. Salienta-se que esse modo intenso de urbanização expõe os domicílios ao perigo de inundação, por intensificar o loteamento de terrenos em áreas suscetíveis.

Considerações Finais

Os episódios de inundação ocorrem em três bairros situados na bacia hidrográfica do rio Henrique, sendo o primeiro no bairro Agrícola na rua Normélio Reginatto, o segundo no bairro Paiol Grande principalmente na rua Anselmo Parmegiani. No bairro Cotrel, que apresenta diversos problemas de cunho hidrológico. Esses transtornos foram registrados nas ruas Daniel Durli, Angelina Pagliosa Lôra, Balthazar Gáspar Sponchiado e Mauro Antônio Pagliosa. Nessa área, também se efetivou a construção de um loteamento sobre um canal fluvial.

A partir do exposto verifica-se que os processos de inundação na bacia hidrográfica ocorrem devido à forte interferência antropogênica que ocorreu na bacia hidrográfica ao longo de 40 anos. As interferências enfatizadas, na análise, ligadas ao canal fluvial, que

foram retificados e canalizados para efetivação de loteamentos sobre essas áreas pouco valorizadas da cidade.

Outro intensificador das inundações corresponde a partir da impermeabilização de áreas a montante, assim a canalização empregada na construção dos loteamentos tornou-se insuficiente, por conseguinte as tubulações não dão conta de escoar toda água, tornando-se um problema para a população. Adverte-se que com a urbanização e impermeabilização a montante das áreas de perigo tem se intensificado os processos superficiais caracterizados como inundação.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disaster in developing countries. *Geomorphology*, v.47, p.107-124, 2002.

ALMEIDA; L. Q. de. Por uma ciência dos riscos e vulnerabilidades na geografia. *Mercator*, Fortaleza, v. 10, n. 23, p. 83-99, 2011.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. T. (Org.). *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 153-192.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. T. (ORG.). *Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 71-115.

_____. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015, p. 270-300.

CASTRO, C. M; PEIXOTO, M. N. O; DO RIO, G. A. P. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 28, 2005, p. 11-34.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. *Gravataí – SH,22-X-CV, escala 1:100.000*: nota explicativa. Porto Alegre: UFRGS/CPRM, 2007

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA; A. J. T; CUNHA; S. B (Org.). *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994, p. 211-252.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, p. 337-379.

DSG. Diretoria de Serviço Geográfico. *Norma da Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET ADGV Defesa F Ter)*. 2ª Edição. Brasília, 2016.

- FITZ, P. R. *Cartografia básica*. São Paulo: Oficina de textos, 2008a.
- _____. *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina de textos, 2008b.
- GUERRA, A. J. T; MARÇAL, M. dos S. *Geomorfologia Ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.
- JORGE, M. DO. C. O. Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). *Geomorfologia urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p.117-145.
- MARANDOLA JR; E. J; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. *Ambiente e Sociedade*, Campinas, v. 7, n. 2, p. 95-110, 2004. DOI: 10.1590/S1414-753X2004000200006
- MENDONÇA, F. A. Diagnóstico e análise ambiental de microbacia hidrográfica: Proposição metodológica na perspectiva do zoneamento, planejamento e gestão ambiental. *RA' EGA*, v. 3, p. 67-90, 2000. DOI: 10.5380/raega.v3i0.18225
- OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Avaliação intermunicipal dos riscos de desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, v. 21, n. 1, p. 156-176, 2017a. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.110719
- _____. Riscos naturais: conceitos, componentes e relações entre natureza e sociedade. *RA' E GA*. Curitiba, v.40, p. 94 -109, 2017b. DOI: 10.5380/raega.v40i0.45870
- RIFFEL, E. S; GUASSELLI, L. A; BRESSANI, L. A. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 36, n. 2, p. 285-306, mai./jul. 2016. DOI: 10.5216/bgg.v36i2.42796
- ROBAINA, L. E. DE S, TRENTIN, R. Áreas de risco por processos de dinâmica geomorfológica no Rio Grande do Sul: fundamentos e conceitos. *GEOGRAFIA*, Rio Claro, v. 38, n. 3, p. 589-607, 2013.
- RODRIGUES, C; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. A importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na grande São Paulo. In: GUERRA, A. J. T; JORGE, M. DO C. O (Org.). *Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, p. 66-94.
- ROSSATO, M. S. *Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologias*. Tese (Tese em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.
- THOURET, J. C. Avaliação, prevenção e gestão dos riscos naturais nas cidades da América Latina. In: VEYRET, Y (Org.). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. Tradução Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007, p. 83-112.
- VEYRET, Y; RICHEMMOND, N. M. de. O risco, os riscos. In: VEYRET, Y. (Org.). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. Tradução Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007, p. 23-79.
- VIEIRA, V. T; CUNHA, S. B. Mudanças na Rede de Drenagem Urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S.B (Org.). *Impactos Urbanos no Brasil*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil., 2005, p. 111-145.