



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA



Análise forense de episódios de inundação em bacia hidrográfica urbanizada de São Paulo.

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Prof^a Dr^a Cleide Rodrigues

Linha de pesquisa 4 – Paisagem e planejamento territorial.

IURY TADASHI HIROTA SIMAS

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

S588a Simas, Iury Tadashi Hirota
Análise forense de episódios de inundação em bacia hidrográfica urbanizada de São Paulo. / Iury Tadashi Hirota Simas; orientadora Cleide Rodrigues - São Paulo, 2023.
162 f.

Tese (Doutorado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Análise Forense. 2. LIDAR. 3. inundações. 4. São Paulo. I. Rodrigues, Cleide, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, pois a família é o que mais importa.

Agradeço à minha orientadora Prof^ª Dr^ª Cleide Rodrigues, que me acompanhou em uma jornada de 9 anos de pós-graduação, sendo pessoa determinante no profissional que me tornei e na carreira que estou construindo. O agradecimento também se expande aos demais colegas do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, bem como de outras faculdades em que muito conhecimento foi compartilhado. À coordenação do programa de pós-graduação em geografia física, que colaborou com todas as diligências necessárias em no período totalmente excepcional da pandemia.

Special thanks to Professor Janet Hooke who gently accepted to supervise my Visiting Research Student period at the University of Liverpool's School of Environmental Sciences. Your kindness went beyond academic collaboration and helped me during a very difficult time, making possible a most unique professional experience. Nevertheless, many thanks to all the colleagues from Roxby Building and friends from Tudor Close 14.

Agradeço aos colegas e à direção da Engemap Engenharia pelo fornecimento de informações indispensáveis para a execução desta pesquisa, bem como pela colaboração para que fosse possível conciliar tantas frentes de trabalho.

À CAPES, pelo fornecimento da bolsa que possibilitou dedicação a esta pesquisa e período de doutorado sanduíche no exterior, pelo Programa de Internacionalização da USP, que qualificou de forma substancial os seus resultados.

SUMÁRIO

	RESUMO	8
	ABSTRACT	9
1.	Introdução	10
2.	Objetivos	12
3.	Metodologia	14
3.1.	Referencial teórico metodológico	14
3.1.1.	A abordagem às inundações no ambiente urbano	14
3.1.2.	A divisão do problema em campos do conhecimento	18
3.1.3.	Os conhecimentos dos campos aplicados e a necessidade de aumentar a escala e integração	21
3.1.4.	A metodologia de análise forense e sua aplicação ao nosso contexto	29
3.2.	Bases de dados	37
3.3.	Materiais e métodos	44
3.3.1	Metanálise	44
3.3.2	Análise pluvio/fluviométrica	46
3.3.3	Análise hidrogeomorfológica	54
3.3.4	Análise da impermeabilização e conectividade	56
3.3.5	Modelagem de terreno	59
	Processamento do Modelo Digital de Terreno	59
3.3.5.1		
	Processamento do Modelo Digital de Superfície	60
3.3.5.2		
	Estimativas Volumétricas - perda de capacidade de estocagem	63
3.3.5.3		
3.3.6	Modelagem Hidráulica	68
	Estimativas de Vazão	68
3.3.6.1		
	Análise dinâmica de manchas de inundação	70
3.3.6.2		
3.3.7	Análise de fatores causais de inundações	71
4	Caracterização da área de estudo	76
5	Resultados	90
5.1.	Metanálise	90
5.2.	Análise pluvio/fluviométrica	96
5.3.	Análise hidrogeomorfológica	103
5.4.	Análise da impermeabilização e conectividade	113
5.5.	Modelagem de terreno e perda da capacidade de estocagem	120
5.6.	Modelagem Hidráulica	122
5.7.	Análise dos fatores causais de inundações	136
6	Conclusões	140
	Referências bibliográficas	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da bacia hidrográfica amostral selecionada (Morro do S).	39
Figura 2	Exemplos dos produtos disponibilizados pela Engemap Engenharia	41
Figura 3	Localização das estações telemétricas do SAISP cujos dados foram empregados na pesquisa.	48
Figura 4	Eventos de inundações evidenciados nas séries históricas.	51
Figura 5	Modelo Digital de Terreno, apenas pontos “ground”, reamostrado para 1 metro.	60
Figura 6	Blocos de Lidar (MDS) que intersectam a Planície Fluvial.	61
Figura 7	Blocos de Lidar filtrados para representar apenas edificações (buildings).	61
Figura 8	Perspectiva à jusante da Planície Fluvial, com superfície modelada e elevação de edificações isoladas.	62
Figura 9	Perspectiva à montante da Planície Fluvial, com superfície modelada e elevação de construções isoladas.	62
Figura 10	Obtenção dos footprints das edificações contidas, total ou parcialmente, na Planície Fluvial.	63
Figura 11	Exemplo de superfície de referência de inundação projetada para cálculo volumétrico sob porção correspondente a um bloco Lidar.	64
Figura 12	Exemplo da superfície de referência com adição das edificações.	65
Figura 13	Nível da água ainda contido no canal artificial.	65
Figura 14	Exemplo de preenchimento da PF com extravasamento de 3 metros.	66
Figura 15	Exemplo de extravasamento de 6,5 metros, completo preenchimento da planície fluvial.	66
Figura 16	Exemplo de perfil de inundação gerada para estimativa de volume de estocagem perdido na Planície Fluvial	67
Figura 17	Localização das seções transversais criadas.	68
Figura 18	Geometria das seções transversais no modelo HEC-RAS.	69
Figura 19	Bacia Hidrográfica do Córrego Morro do S e sua divisão em distritos.	77
Figura 20	População por setor censitário na área de estudo.	78
Figura 21	Altimetria na bacia amostral e perfil longitudinal do seu curso principal.	79
Figura 22	Ocupações em morros íngremes na margem esquerda do córrego Morro do S.	80
Figura 23	Declividade na bacia amostral.	80
Figura 24	Hidrografia da Bacia Morro do S e condição atual dos canais.	82
Figura 25	Exemplos de cursos na bacia amostral em canais artificiais subterrâneos e leito “natural”.	83
Figura 26	Zoneamento urbano na região da Bacia do Morro do S.	84
Figura 27	Uso e ocupação do solo predominantes na área de estudo, por quadras.	85
Figura 28	Carta geotécnica e áreas de risco geodinâmico na área de estudo.	86
Figura 29	Localização dos nichos de nascentes da bacia e concentração de loteamentos irregulares.	87
Figura 30	Mapa de vulnerabilidade social (IPVS) da área de estudo.	88
Figura 31	Mapeamento bibliométrico das palavras-chaves encontradas em publicações sobre inundações urbanas na área Meteorologia/Climatologia.	90
Figura 32	Mapeamento bibliométrico das palavras-chaves encontradas em publicações sobre inundações urbanas na área Geomorfologia.	91
Figura 33	Mapeamento bibliométrico das palavras-chaves encontradas em publicações sobre inundações urbanas na área Engenharia Civil.	92
Figura 34	Mapeamento bibliométrico das palavras-chaves encontradas em publicações sobre flash floods por ano de concentração.	92
Figura 35	Mapeamento bibliométrico dos países de origem das publicações com o termo <i>flash floods</i> .	93
Figura 36	Concentração de trabalhos classificados por área.	94
Figura 37	Porcentagem de trabalhos por área que identificaram fatores causais de inundações.	95
Figura 38	Precipitação acumulada no dia 20/03/18 sobre a área de estudo para exemplificar interpolação realizada e altura da coluna d’água medida em cada estação fluviométrica.	97
Figura 39	Cotograma de cheia para o evento de inundação do dia 20/03/2018.	99

Figura 40	Progressão de mancha de inundação do evento de 20/03/2018.	101
Figura 41	Perfil longitudinal do curso principal da bacia do córrego Morro do S.	103
Figura 42	Fotos aéreas de 1962 e área restituída por estereoscopia analógica na bacia do Morro do S.	104
Figura 43	Perfis fluviais em trechos de canal não artificializado e planícies fluviais identificadas por estereoscopia.	106
Figura 44	Projeção de cotas de planície fluvial sobre o curso principal e principais tributários.	107
Figura 45	Validação do modelo espacial sobre a área restituída por estereoscopia.	108
Figura 46	Mapa das morfologias originais de planície fluviais da Bacia Hidrográfica Córrego Morro do S.	110
Figura 47	Registros de campo para o trecho superior da planície fluvial, restituída por estereoscopia.	111
Figura 48	Registros de campo para o trecho inferior da planície fluvial, restituído por modelo espacial.	112
Figura 49	Distribuição dos valores de CN sobre a superfície da bacia analisada.	114
Figura 50	Exemplo de raster produzido pelo cruzamento dos valores de CN e índice normalizado de precipitação do evento de 24/03/2018.	115
Figura 51	Exemplo de raster produzido pelo cruzamento dos valores de CN e índice normalizado de precipitação do evento de 26/02//2018.	116
Figura 52	Mapas calorimétricos de distância em superfície à drenagem mais próxima e comparação.	118
Figura 53	Tendência de perda da capacidade de estocagem e média de volume perdido por metro de coluna d'água da inundação.	121
Figura 54	Comparação de profundidade da mancha de inundação - evento de 20/03/2018.	130
Figura 55	Comparação de velocidade do fluxo - evento de 20/03/2018.	131
Figura 56	Diferença entre indicadores da mancha de inundação (cenário “com edificações” subtraído do cenário “sem edificações”) - evento de 20/03/2018.	132
Figura 57	Comparação de profundidade da mancha de inundação - evento de 24/03/2018.	133
Figura 58	Comparação de velocidade do fluxo - evento de 24/03/2018.	134
Figura 59	Diferença entre indicadores da mancha de inundação (cenário “com edificações” subtraído do cenário “sem edificações”) - evento de 24/03/2018.	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Componentes do banco de dados.	37
Quadro 2	Concatenação de critérios utilizados para levantamento bibliométrico.	45
Quadro 3	Repositórios e periódicos consultados para fichamento de resumos.	46
Quadro 4	Estações telemétricas na área de estudo e dados disponíveis.	47
Quadro 5	Curva-chave (altura da coluna d'água x vazão) na estação P347 antes e após nivelamento	49
Quadro 6	Índices univariados das variáveis hidrológicas das estações trabalhadas	50
Quadro 7	Cotas limiaries do SAISP e altura de coluna d'água calculadas para as estações trabalhadas.	51
Quadro 8	Procedimentos do mapeamento da morfologia original por estereoscopia analógica.	55
Quadro 9	Valores de CN atribuídos a cada classe de uso do solo predominante.	57
Quadro 10	Matriz e composição de índice resultante após aplicação de AHP.	74
Quadro 11	Resumo da composição de fatores e pesos atribuídos pela arbitragem de valores	74
Quadro 12	Relação de técnicas mais utilizadas e fatores causais mais citados de acordo com as áreas.	95
Quadro 13	Concentração dos valores de chuva identificados sobre a bacia com a interpolação para cada evento e altura da coluna d'água registrada pelas estações.	98
Quadro 14	Correlação entre valores de precipitação instantânea e cota, aplicando diferentes atrasos.	99
Quadro 15	Totais de área identificadas para subsistemas de planície fluvial da bacia analisada.	109
Quadro 16	Resumo do índice de conectividade dos cenários original e antrópico.	117
Quadro 17	Índice de concentração das chuvas sobre áreas com incremento em conectividade, em dias com inundações constatadas.	119
Quadro 18	Resumo de quantitativos da análise de perda de capacidade de estocagem.	120
Quadro 19	Volume de estocagem perdida com a presença de edificações na Planície Fluvial de acordo com a altura da coluna d'água sobre as margens plenas e valor correspondente.	120
Quadro 20	Valores de vazão modelados para fluxos sobre planície de inundação	122
Quadro 21	Comparação de variáveis com vazão registrada durante os eventos pela estação P347 (jusante).	123
Quadro 22	Comparação de variáveis com a vazão modelada para a seção da estação P347, incluindo planície fluvial.	123
Quadro 23	Indicadores de área, profundidade e volume modelados para os eventos de inundação constatados.	127
Quadro 24	Indicadores de velocidade e tempo para o pico modelados para os eventos de inundação constatados.	127
Quadro 25	Volumes de chuva em cada evento identificados pela interpolação sobre a bacia e diferença de tempo para o pico da inundação entre os dois cenários modelados.	128
Quadro 26	Resultado da aplicação de AHP para identificação dos fatores causais de inundações em cada um dos 8 eventos analisados.	136

RESUMO

O processo de urbanização da cidade de São Paulo se desenvolveu extensivamente e com alta densidade de construções num meio físico caracterizado por alta densidade de drenagem, além de apropriações em extensas planícies fluviais o que ajudou a tornar as inundações o tipo de risco com o maior número de habitantes expostos. Historicamente, a mitigação dos efeitos negativos das inundações tem envolvido a implementação de canais e estruturas artificiais de reservação, que atualmente são consideradas medidas insatisfatórias. . A atual pesquisa propõe-se a identificar os fatores causais destes eventos hidromorfológicos, enquanto fenômenos marcados no tempo com consequências evidenciáveis, e realizar a avaliação de sua importância relativa na efetivação do risco, por meio de uma abordagem forense. A primeira etapa desta abordagem consiste na metanálise de estudos sobre inundações urbanas, que identificou relativa falta de integração entre os métodos empregados e fatores causais entre as diferentes áreas do conhecimento que abordam a questão como, por exemplo, a quase ausência de interpretações da geomorfologia em estudos desenvolvidos no campo da hidrologia. Esta etapa também permitiu identificar que, à parte das chuvas tropicais intensas e da crescente impermeabilização do solo, a ocupação da planície fluvial por edificações, é crítica para a distribuição dos eventos de inundação devido à perda na capacidade de estocagem em bacias hidrográficas altamente urbanizadas. Com o objetivo de avaliar a participação destes fatores relevantes identificados na metanálise para a ocorrência de inundações constatadas no período recente, foi selecionada uma bacia amostral altamente urbanizada da cidade de São Paulo e obtidos dados de terreno com alta resolução temporal e espacial desta bacia considerada representativa. Dados de estações pluviais e fluviais foram analisados para identificação de eventos de extravasamento de canal na temporada chuvosa 2017/2018, que contou com alta incidência de inundações, sendo também investigados em campo para constatação de ocorrência e extensão. Foi delimitada a planície de inundação original através de restituição estereoscópica, utilizando-se imagens do período pré-urbanização também apoiada pelo modelo de terreno obtido por Lidar classificado. O emprego de técnicas adaptadas da cartografia retrospectiva permitiu identificar as áreas com maior suscetibilidade às inundações, bem como aquelas com maior incremento na impermeabilização e conectividade pela morfologia antrópica durante o processo de urbanização. Foram executadas diversas etapas de modelagem de terreno para isolamento dos objetos construídos sobre a superfície e modelagem hidráulica, para investigação dos efeitos hidrodinâmicos destes sobre a planície fluvial, bem como para a análise longitudinal de cenários. Identificou-se que o volume de armazenamento perdido, devido presença de construções na área de extravasamento natural, supera em 22 vezes a capacidade projetada pelo poder público para instalação de estruturas de reservação artificial. Foram identificados e dimensionados efeitos hidráulicos da alta concentração de edificações no interior na planície fluvial original, como a tendência ao aumento dos impactos de inundações de menor magnitude, ou de diminuição da área afetada em eventos de maior magnitude. Identificou-se diminuição da área afetada (até 24% menores) com proporcional aumento da profundidade média (até 79% mais profunda) quando comparadas as manchas de inundação produzidas em cenários com e sem edificações, utilizando-se dados de entrada de eventos com ocorrências confirmadas. Por fim, os produtos desta pesquisa permitiram identificar limiares quantitativos dentro dos três fatores causais (precipitação / uso do solo / ocupação da planície de inundação), o que possibilitou a elaboração de um índice que apontaria de forma pragmática a participação de cada fator na efetivação de um evento de inundação.

Palavras-chave: Análise forense, inundações, Lidar, São Paulo.

ABSTRACT

The urbanization process of the city of São Paulo has developed extensively and with a high density of constructions in a physical environment characterized by a high drainage density. Summed with appropriations in extensive river plains, it helped to make floods the type of risk to which the highest number of inhabitants are exposed. Historically, mitigating the negative effects of flooding has involved the implementation of artificial channels and reservation structures, which are currently considered unsatisfactory measures. The present research proposes to identify the causal factors of these hydromorphological events, understood as phenomena marked in time with evident consequences. To carry out the evaluation of those factors' relative importance in the effectiveness of risk, a forensic approach was used. The first stage of this approach consists of a meta-analysis of studies on urban flooding, which pointed to a relative lack of integration between the methods employed and causal factors identified between the different areas of scientific knowledge that address the issue. For example, there is a near absence of geomorphological interpretations in studies carried out on the hydrology field. This stage also made it possible to identify that, apart from the intense tropical rains and the increasing impermeabilization, the fluvial plain occupation by buildings is critical for the distribution of flood events due to the loss of storage capacity in highly urbanized watersheds. With the objective of assessing the participation of these relevant factors identified in the meta-analysis for the occurrence of floods, a highly urbanized sample basin in the city of São Paulo was selected. Terrain data was obtained with high temporal and spatial resolution for this basin that is considered representative. Data from rain and river gauging stations were analyzed to identify channel overflow events in the 2017/2018 rainy season, which had a high incidence of flooding, and field investigations were also performed to verify its occurrences and extents. The original floodplain was delimited through stereoscopic restitution, using images from the pre-urban period, and supported by the terrain model obtained by classified Lidar. The use of techniques adapted from retrospective cartography made it possible to identify the areas with the greatest susceptibility to flooding, as well as those with the greatest increase in impermeabilization and connectivity due to anthropic actions. Several terrain modeling procedures were carried out to isolate the objects built on the surface. Thus, hydraulic modeling was applied to investigate the buildings hydrodynamic effects on the fluvial plain, as well as for the longitudinal analysis of scenarios. It was identified that the lost storage volume, due to the presence of buildings in the natural overflow area, exceeds by 22 times the capacity projected by the public authorities for artificial reservation structures. The high concentration of buildings hydraulic effects in the original fluvial plain interior were identified and dimensioned, such as the tendency to increase the impacts of smaller floods, or to decrease the affected area in events of greater magnitude. A decrease in the affected area (up to 24% smaller) was identified with a proportional increase in the average depth (up to 79% deeper) when comparing the flood spreads produced in scenarios with and without buildings, using input data from confirmed events. Finally, the products of this research made it possible to identify quantitative thresholds within the three causal factors (precipitation / land use / occupation of the floodplain), which enabled the elaboration of an index that would pragmatically indicate the contribution of each factor in the effectiveness of a flood event.

Keywords: Forensic analysis, floods, Lidar, São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

A metrópole de São Paulo configura-se atualmente como o maior aglomerado urbano do mundo fora da Ásia. Seu processo de urbanização é marcado por transgressões legais, planejamento territorial ineficiente e apropriação de planaltos altamente dissecados do meio tropical úmido, criando um grave cenário de risco a inundações. Soma-se a isso um quadro de enorme segregação socioespacial, onde as populações socioeconomicamente mais vulneráveis tenderam a concentrar-se nos locais mais suscetíveis aos fenômenos naturais que envolvem riscos (SEABRA, 1987). Em São Paulo, as ações para controle de inundações tem sido estruturais e concretizadas mais localmente, sendo recorrente o subdimensionamento de obras, como canalizações e estruturas de reservação (FCTH, 1999, 2015, 2016). Propostas no âmbito da conservação ambiental estão muito longe de serem consideradas pelo poder público. Igualmente, a necessidade de serem conhecidas as características e dinâmicas naturais do meio físico onde a cidade se desenvolveu é pouco reconhecida pelos tomadores de decisão e planejadores locais. Desta forma, os impactos das inundações em São Paulo são recorrentes e persistentes, afetando os fluxos urbanos, comércios, moradias e não raramente causa fatalidades devido a intensidade e velocidade dos eventos.

As pesquisas desenvolvidas sobre este problema partem da premissa de que os agentes sociais e econômicos, através do processo de urbanização, configuram-se como agentes geomorfológicos e de mudança ambiental (DOUGLAS, 1983, GOUDIE, 2004). Então, a compreensão do como a ação antrópica modifica processos, materiais e formas da superfície, orienta nossa proposta de análise antropogeomorfológica (NIR, 1987, RODRIGUES, 1999, 2004, 2005, 2010). A consideração de morfologias e processos originais a partir da interpretação de dados históricos forma a sustentação para avaliação de graus de perturbação, alteração e mudanças no funcionamento de sistemas fluviais impactados por estas ações (HOOKE, 1995, GURNELL et al, 2003, LUZ & RODRIGUES, 2015, RODRIGUES et al, 2019). Pensando pragmaticamente a partir disso, propomos a realização de análises integradas sobre diferentes variáveis do meio físico e a ação dos agentes envolvidos, em busca de fatores causais dos impactos de episódios de inundações recentes na cidade. Se realizadas com resolução temporal e escala espacial compatível, estas análises tornariam possível a criação de cenários de risco e identificação de onde e como instrumentos de planejamento têm falhado. Esta busca por causas e sua participação na efetivação de um risco reconhecido chamamos análise forense de eventos de inundação, alinhando-nos com a proposta FORIN (*Forensic Investigation of Disasters*) do IRDR (*Integrated Research on Disaster Risk*), conforme apresentado por Oliver-Smith et al (2016).

Partindo desta proposta, a pesquisa assume-se multidisciplinar, tendo início na pesquisa bibliométrica de estudos sobre inundações urbanas (metanálise), primeira etapa da análise forense proposta por Oliver-Smith et al (2016) e Burton (2010). Definiu-se que, dada a complexidade da área de estudo, a pesquisa tomaria uma bacia hidrográfica urbanizada representativa para que fosse possível realizar as análises na escala de detalhe desejada. Isso significou selecionar bacia com características litológicas, hidrográficas, e com histórico de uso e ocupação comuns à maior parte do município de São Paulo e ainda que tivessem como curso principal um rio originalmente meândrico que foi retilinizado. Desta forma, seria necessariamente estudada uma bacia onde foi implementada o tipo de medida estrutural mais recorrentemente utilizada no município estudado, o que possui enorme relevância por evidenciar os efeitos encadeados pela ação antrópica dentro do sistema fluvial circunscrito (conforme demonstram estudos de MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010, LUZ, 2014, dentre outros). Neste nível de detalhe, compatível com produtos voltados ao planejamento urbano em nível de lote ou quadra (NUNES et al, 1994), aportamos técnicas da pesquisa de antropogeomorfologia, geomorfologia fluvial, modelagem hidrológica e hidráulica. Isso busca viabilizar análise retrospectiva de episódios de inundações, delineando os fatores críticos para cada ocorrência, o que configura a segunda etapa da análise forense, a análise longitudinal (OLIVER-SMITH et al, 2016).

O estudo é então conduzido a partir de metodologia desenvolvida por Rodrigues (1999, 2004, 2005, 2010), que propõe abordagem principalmente para avaliação a quantificação geomorfológica das mudanças antrópicas em sistemas físicos, como os fluviais no meio tropical úmido, para identificar e dimensionar mudanças geomorfológicas a fim de balizar ações de recuperação desses sistemas. Esta metodologia requer o desenvolvimento do análises geomorfológicas retrospectivas do sistema hidrogeomorfológico, voltada às suas condições pré-urbanas que, neste estudo, foram realizadas através da cartografia retrospectiva para delimitação de compartimentos das planícies fluviais originais. Estas análises, com auxílio de múltiplas ferramentas e tipos de dados, como fotografias aéreas, imagens de satélite, mapas de uso e ocupação do solo, além de fontes históricas de diversos tipos (GURNELL et al, 2003.) e associa essas ferramentas àquelas utilizadas em modelagem hidráulica e hidrológica (BENITO e HUDSON, 2010, VENEZIANI e RODRIGUES, 2019). Com isso, cria-se a possibilidade de análise de cenários reconstituídos (passados) e projetados (futuros) para o tipo de risco de nosso interesse, a terceira e última etapa da análise forense.

Os resultados encontrados corroboram, de forma geral, as hipóteses propostas para a pesquisa. A metanálise revelou a carência de estudos interdisciplinares sobre inundações em cidades do meio tropical úmido, o que pode servir de explicação para a formulação enviesada de intervenções. Foi possível uma reconstituição do sistema de planície fluvial original em bacia amostral e a identificação de eventos de inundação no período recente, com a identificação de padrões de precipitação, vazão e cotas entre eles. Pensando no objetivo de identificar fatores causais, estes resultados permitiram vislumbrar eventos que ocorreram exclusivamente devido a taxas de processos produzidas pela ação antrópica, como a impermeabilização e o incremento de conectividade da superfície pela introdução de estruturas de macro e microdrenagem. Além disso, foi possível analisar estes resultados de forma comparativa, com estudos desenvolvidos no âmbito internacional em ambientes distintos do meio tropical úmido, tanto pelos resultados obtidos, quanto pela identificação de aplicabilidade de metodologias adaptadas inéditas (XIAORONG et al, 2021, HOOKE, 2016, 2019, MACDONALD et al, 2022). Este instrumental permitiu avançar sobre questões há muito discutidas no âmbito do problema das inundações urbanas, como o efeito da perda de capacidade de estocagem na morfologia das planícies fluviais para a intensificação de eventos e efeitos hidráulicos da presença de edificações dentro destes sistemas hidrogeomorfológicos (LUZ e RODRIGUES, 2015, RODRIGUES et al, 2019).

A partir dos resultados sistematizados durante toda a pesquisa, foi possível elaborar um índice para avaliação dos fatores causais de inundações, a ser aplicado em cada evento para ponderação da participação de cada um dos fatores, identificados desde a etapa de meta-análise: precipitação, uso do solo e ocupação da planície fluvial. Isto revelou uma nova possibilidade analítica, que possibilitou, através de uma generalização, a identificação de limiares a partir dos quais cada fator se torna preponderante sobre o outro na efetivação ou amplificação dos efeitos negativos de uma inundação.

2. OBJETIVOS.

O objetivo da pesquisa é identificar fatores causais e avaliar sua importância relativa em episódios de inundações em bacia urbanizada da cidade de São Paulo através de metodologia de análise forense.

Isso será realizado a partir dos seguintes objetivos específicos:

a) Investigar os fatores que foram identificados como causas de episódios de inundações em estudos realizados em diferentes áreas que abordam o tema das inundações urbanas, através da meta análise e mapeamento bibliométrico. Temos a hipótese de que

estudos de áreas específicas tendem a identificar como fatores causais somente fenômenos estudados naquela área;

b) A partir da seleção de uma bacia hidrográfica representativa, identificar os limiares para ocorrência de inundações a partir dos padrões e tendências de variáveis fluviais e pluviométricas com alta resolução. Serão analisados parâmetros como intensidade e distribuição de precipitação, cota e velocidade de fluxo no canal principal, dentre outros, utilizando testes estatísticos, análise rítmica e interpolação de dados climáticos, e modelagem hidráulica. Temos a hipótese de que todas as inundações do período mais recentes possuem características de flash flood, mais semelhantes aos de meios áridos ou montanhosos do que do meio tropical úmido propriamente dito;

c) Nesta mesma bacia amostral, avaliar os efeitos cumulativos das intervenções sobre o sistema hidrogeomorfológico original, como retificação de canais e ocupação de planícies de inundação. Através da modelagem espacial e hidráulica do sistema original e antrópico serão avaliadas mudanças na frequência e magnitude de vazões extremas e supressão de volumes estocáveis das planícies de inundação. Temos a hipótese de que as estruturas de reservação e canais artificiais atuais ou factíveis não são capazes de contrapor a perda de serviços e atributos ambientais provocados pelas mudanças antrópicas.

d) Compreender a importância relativa dos fatores causais para efetivação dos impactos negativos dos eventos de inundação, através da análise de cenários de riscos e processo analítico hierárquico (criação de índice unificado). Temos a hipótese de que, por meio das análises multidisciplinares e por uma seleção de variáveis inédita, é possível chegar a fatores causais de inundações, equilibrando objetos de diferentes campos do conhecimento para a identificação de limiares desses parâmetros e elementos.

3. METODOLOGIA

3.1. Referencial teórico-metodológico.

3.1.1. A divisão do problema em campos do conhecimento.

Propõe-se seguir uma abordagem de fundamentação sistêmica, método utilizado para analisar as estruturas de objetos e atributos unidos por relações definidas (HART, 1986). Isto, pois, o fenômeno de enfoque pertence aos sistemas fluviais, que representam um modelado ideal para estudo de impactos humanos sobre meios físicos, já que funcionam justamente como sistema processo-resposta dentro do qual uma alteração em uma parte pode ter efeito em muitas outras (COOKE & DOORNKAMP, 1990).

A geomorfologia, campo do conhecimento geográfico e de Ciências da Terra, tem como objeto o estudo das formas, processos e materiais da superfície terrestre (TRICART, 1965). Possui a metodologia e categorias analíticas necessárias para o exame de mudanças espaciais em sistemas físicos sejam eles naturais ou antropizados, permitindo, tanto as análises de longo termo, como as análises históricas e de curto prazo dessas modificações (RODRIGUES al 2019, RODRIGUES, 2010). A especialidade da geomorfologia que inclui a abordagem do antrópico é chamada de antropogeomorfologia (THOMAS, 1956, BROWN, 1970, NIR, 1983, CRUTZEN, 2002, RODRIGUES, 1999, 2004, 2005, 2010, GOUDIE, 2013, GOUDIE & VILES, 2016, RODRIGUES e COLTRINARI, 2015).

A antropogeomorfologia, ao colaborar na identificação de mudanças históricas em **sistemas fluviais**, permite também incluir variáveis físicas associadas às interferências antrópicas diretas, e identificar, por via morfológica, os agentes sociais dessas mudanças, já tendo sido testada na metrópole paulistana (RODRIGUES, 2004, 2010, 2015, 2019, LUZ e RODRIGUES, 2015). Nesta abordagem, as ações antrópicas diretas necessárias à produção do espaço urbano são observadas como ações de natureza geomorfológica bem como os processos geomorfológicos delas resultantes. Essas intervenções ou ações diretas trazem consequências como impedimento da formação de solo, formação de depósitos tecnogênicos e solos novos em áreas vegetadas não naturais, mudanças na declividade, curvatura e comprimento das vertentes, aumento de impermeabilização, redução da rede hidrográfica e remanejamento e regulação de bacias (NIR, 1983; RODRIGUES e COLTRINARI, 2015).

Do ponto de vista da geomorfologia e da antropogeomorfologia, e no que concerne aos eventos de inundação de São Paulo, RODRIGUES (2015), LUZ e RODRIGUES (2015) e RODRIGUES et al (2019), por exemplo, identificaram novas tendências dessas áreas urbanizadas, quando comparadas aos eventos naturais, como por exemplo: persistência de

eventos, aumento de cotas, aumento de duração dos eventos pontuais, distribuição espacial, dentre outras. Isto foi possível, principalmente, com emprego da cartografia geomorfológica retrospectiva (retroanálise da intervenção antrópica) com conteúdos da antropogeomorfologia (morfologia original e antropogênica) elaborada a partir da restituição de limites dos compartimentos da planície fluvial em fotografias aéreas do período pré-urbano (conforme definido em RODRIGUES & COLTRINARI, 2004), o que também se pretende neste estudo. No contexto internacional, autores como Chin & Gregory (2009) e HOOKE (2016 e 2019) também identificam tendências de aceleração de processos do meio físico antropizado, de distintos contextos geomorfoclimáticos, como a redução de tempo de recorrência e superação exponencial dos máximos históricos por eventos extremos no período recente. Estes estudos firmam base no aproveitamento de dados de fontes históricas e emprego do conceito de conectividade para demonstrar possibilidades de integração entre diferentes tipos de dados das ciências hidrológicas e meteorológicas (cotas, vazão e precipitação) com diferentes resoluções temporais (SANGSTER et al, 2018, SCHILLEREF et al, 2019). Assim, a conectividade, definida neste campo como a condição pela qual diferentes superfícies ou sub-sistemas são ligados pelo fluxo de energia e matéria mediados pela água (BRACKEN et al, 2013), configura um dos indicadores da morfologia antrópica de alta relevância para observar a aceleração ou ampliação de fenômenos como as inundações, o que será empregado como indicador no presente estudo.

Tal indicador também possui relevância no campo da hidrologia, já que segundo LEOPOLD (1968), de todas as mudanças que afetam a hidrologia de uma área, a urbanização é de longe a mais intensa, pois:

“Os dois principais fatores que controlam o regime de fluxos são a porcentagem de área tornada impermeável e a taxa com a qual a água é transmitida através da superfície para canais. O primeiro é controlado pelo tipo de uso do solo, o último é controlado pela densidade, tamanho, e características de canais tributários e assim pela provisão de galerias pluviais.” (LEOPOLD, 1968, p. 2)

Leopold (1968) aponta que, na perspectiva hidrológica, existem quatro efeitos da mudança de uso do solo para o tipo urbano, e conseqüentemente aumento da cobertura por condutos, sobre a hidrologia de uma área: mudanças nas características de vazões de pico, mudanças em deflúvio (e runoff) total gerado, mudanças na qualidade da água, mudanças nas amenidades hidrológicas (beleza cênica de um rio, p.e.). O aumento de áreas impermeabilizadas e criação de conexões destas aos cursos d'água também tem o efeito de aumentar os picos de inundação durante períodos com precipitação de alta intensidade e

diminuir vazões mínimas e médias (MCDONALD et al, 2022). Ainda, a carga de sedimentos de áreas urbanas tende a ser maior que em áreas não urbanizadas mesmo que haja apenas pequenas e espalhadas unidades de solo exposto (WOLMAN, 1964).

Ainda sobre os efeitos hidrológicos da urbanização, Leopold (1968) realizou a meta-análise de denominadores comuns em estudos enfocados sobre a relação precipitação x runoff. O primeiro conjunto de estudos tentou identificar a relação comparando a porcentagem de área drenada (por estruturas construídas) com a porcentagem de área tornada impermeável. Em um cenário de superfície 80% impermeável e com 100% de cobertura de rede de drenagem, a taxa de deflúvio gerado é 6 vezes maior entre os períodos urbanizado e pré-urbanizado, e as inundações médias anuais aumentam em escala semi-logarítmica. Essa taxa é subestimada para uma metrópole do meio tropical úmido, se considerados os resultados mais recentes encontrados por MOROZ-CACCIA GOUVEIA (2010).

Operacionalmente, para identificar estas tendências e magnitudes de processos, os dados hidrológicos básicos sobre a vazão de pico e o volume de runoff podem ser expressados em termos das características do hidrograma unitário, ou seja, gráfico de distribuição média por tempo de uma tempestade unitária ou padrão. A partir desta sugestão clássica de LEOPOLD (1968) em fator que deve ser buscado e confirma a relação entre a tempestade e o runoff é o *lag*, que se define como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de massa do hidrograma resultante.

Se, por um lado, a temática das inundações interessa à geomorfologia e hidrologia, uma vez que é fenômeno integrante dos sistemas hidrogeomorfológicos, ela também representa a repercussão de um fenômeno atmosférico que, na análise do componente hidrológico, tende a ser considerado mais generalizadamente como *input*. A compreensão da gênese e repercussão destes fenômenos, no caso chuvas intensas ou concentradas, sobre espaços intensamente modificados, é o foco da perspectiva analítica do clima urbano (MONTEIRO, 1976). Quando este é considerado um produto da interação entre a atmosfera e um espaço urbano transformado e apropriado diferencialmente, passa a ser dotado de uma dimensão socioambiental (SANT'ANNA NETO, 2011). Isto, pois, é observável que, enquanto o clima obedece a controles superiores (escalas global e zonal), a ação indireta do antrópico se realiza com a concentração de suas atividades onde seus agentes aglomeram-se demograficamente e produzem economicamente (MONTEIRO, 2009). Então, produzem-se alterações igualmente locais no balanço energético, circulação do ar e fornecimento de núcleos de condensação, que terão impactos diferentemente percebidos e apropriados.

Estudos como os de Monteiro (1976) e Lombardo (1985) demonstram a capacidade da intervenção antrópica, sobre os diferentes mecanismos controladores da chuva, enquanto elemento climático, pela configuração de um ambiente urbano. Então, para acessar as mudanças realizadas sobre este sistema, sugere-se abordagem pela escala do ritmo climático em que o elemento climático seja detalhado no nível cronológico mais fino possível, revelando a gênese dos fenômenos desencadeados dentro de uma realidade regional (MONTEIRO, 1971, apud SANT'ANNA NETO, 2001).

É importante considerar que diferentes disciplinas respondem a diferentes estruturas de recompensa (OLIVER-SMITH et al, 2016). Isso é, objetivam diferentes produtos de pesquisa. A progressão das especializações se expande para incluir ao estudo de desastres especialidades de muitas dimensões sociais, econômicas, culturais e psicológicas (OLIVER-SMITH et al, 2016). O círculo dos conhecimentos e práticas relevantes se estende ainda mais para campos de expertise profissional como as engenharias e a medicina. Se considerarmos também as investigações com fins periciais, outros campos de expertise, como direito, políticas públicas e comunicações são necessariamente envolvidas. Portanto, é evidente a necessidade de metodologia integradora para um estudo de temática tão transversal que, independentemente do canal de interpretação utilizado, sempre tem origem em sistemas físicos e que requerem, portanto, partida em uma análise sistêmica.

Reconhece-se que é justamente a capacidade de prover informações interpretadas e sistematizadas a partir da perspectiva sistêmica que cria interesse de *stakeholders* envolvidos na formulação e implementação de políticas ambientais e de redução de risco, potenciais clientes da informação geomorfológica (BROOK e MARKER, 1988). De acordo com Brook e Marker (1988), tradicionalmente essa informação é repassada na forma de:

A) mapeamentos de elementos factuais (distribuição de tipos de rocha, presença de depósitos tecnogênicos, solos contaminados, etc.);

B) mapas interpretativos (hidrografia e disponibilidade hídrica, suscetibilidade a inundações e eventos geodinâmicos);

C) Bases de dados de informações referentes a recursos viabilizadores e limitantes de desenvolvimento, dados primários como morfologia de terreno necessária para prospecção e orçamento de obras, por exemplo.

Segundo Hooke (1988), nessa interlocução cientista-agente, a argumentação ambiental envolvida tende a ser baseada economicamente, tendo a necessidade de incorporar custos ambientais na avaliação de projetos, algo cada vez mais presente, como o tema da economia ambiental. Enquanto isso, um dos principais motivos para a subutilização de

conhecimentos das ciências da terra no planejamento urbano encontra-se na mudança ocorrida na formação dos planejadores, os quais, gradualmente, para execução de sua função perderam conhecimentos antes considerados pré requisitos das ciências naturais (BROOK e MARKER, 1988).

“Frequentemente as consequências geomorfológicas do desenvolvimento urbano são ignoradas por conta da assunção de controle no ambiente criado pelo homem e por conta da falta de conhecimento sobre os sistemas e processos naturais ainda operando nessas áreas. Políticas cabíveis de controle, de fato, são geralmente deficientes e autoridades públicas são forçadas a colher as consequências de ações privadas, como desenvolvimento de edificações.” (HOOKE, 1988, p. 5)

Os planejadores e tomadores de decisão passaram a ter um perfil mais relacionado a usuários ou consumidores do conhecimento, enquanto o cientista é provedor. O mesmo pode ser dito de agentes jurídicos responsáveis pela apreciação e julgamento de processos que requerem conhecimento específico destes campos para definir ações de responsabilização e indenização por sinistros (MANTOVANI e RODRIGUES, 2018). Logo, isso traz a necessidade de considerar como o conhecimento dos campos que tangem o problema das inundações urbanas podem ser aplicados com maior integração, inteligibilidade e escala de detalhe do que até hoje realizados. Neste estudo, focaremos na abordagem do problema realizado pelos campos da geomorfologia, climatologia e hidrologia.

3.1.2. A abordagem das inundações no ambiente urbano.

Partimos da premissa de que agentes sociais e econômicos, responsáveis pelos processos de produção de novos espaços habitáveis através da urbanização, efetivam-se ao mesmo tempo como agentes de mudanças nos sistemas do meio físico (NIR, 1991, DOUGLAS, 1986). Uma vez que a urbanização, no contexto da grande metrópole nacional, produz historicamente espaços com condições desiguais de qualidade e segurança de habitação, acesso a estruturas de transportes e emprego, esta também produz condições desiguais de exposição a fenômenos naturais como as inundações.

No senso comum da mídia, discurso político e muitas vezes em pesquisas, os impactos associados às inundações, muitas vezes referidos como desastres, são caracterizados essencialmente de duas formas: como eventos inesperados e exógenos, totalmente imprevisíveis e excepcionais a qualquer regra; ou como recorrentes, de

responsabilidade de ninguém e, por já fazerem parte do cálculo de risco, indiferentemente naturalizados. Mas em ambos os casos, suas vítimas são tratadas como se afetadas nestes episódios de forma independente de sua etnia, gênero ou classe social. Assim, a gestão de riscos geralmente reduz suas ações à redução do impacto de externalidades à comunidade e economia. Estudos de caso tendem a refletir e reforçar práticas já codificadas, focando mais no impacto do que em uma busca séria por causas (OLIVER-SMITH et al, 2016).

As inundações em áreas urbanas podem ser classificadas como riscos extensivos, uma vez que são mais proximamente associadas com forçantes oriundas de agentes sociais difusos, como a degradação ambiental, inequidade social e econômica, desenvolvimento urbano mal planejado, e governança fraca ou ineficiente (OLIVER-SMITH et al, 2016).

“Risco de desastres é geralmente definido em termos de três outras variáveis: perigo, exposição e vulnerabilidade. No entanto, estas por sua vez também são variáveis dependentes. A maioria dos perigos é o reflexo de processos tanto fisicamente quanto socialmente construídos; exposição é um reflexo de como relações sociais de produção desenrolam em um território e geografia; enquanto vulnerabilidade caracteriza uma variedade de condições sociais, econômicas, políticas e culturais. (...) Desta perspectiva, desastres não são meramente não-naturais, eles também não existem independentemente como coisas ou objetos. Eles são apenas momentos de compressão espaço-temporal em processos sociais e históricos mais amplos.” (OLIVER-SMITH et al, 2016, p. 5)

Os riscos são construções sociais, pois, são resultados de escolhas humanas e percepção (OLIVER-SMITH, 2013). Isso nos leva a definir a vulnerabilidade como a propensão a sofrer danos, sendo um elemento de análise essencialmente social. A magnitude das perdas e danos pode ser em grande parte explicada pelas ações e escolhas humanas quando em face de perigos físicos, incluindo a escolha por ignorá-los ou descartar sua significância. Esses “perigos” são justamente os fenômenos que, dada sua distribuição, magnitude e frequência, definem os espaços suscetíveis. Logo, o conceito de suscetibilidade está exclusivamente relacionado a variáveis do meio físico.

São decisões humanas que determinam como recursos (incluindo lugares habitáveis) são alocados ou usados. A tomada de decisão é formatada por muitas forças e pressões, na forma tanto de incentivos quanto restrições. As próprias estruturas então são construções sociais e assim são produtos da tomada de decisão e escolhas humanas baseadas em valores culturais e econômicos dominantes. Em decorrência, o aumento da densidade urbana leva a restrições no uso do solo e elevação no preço da terra, que é aquilo que leva as populações urbanas mais vulneráveis a habitações informais e áreas mais suscetíveis (ALCÁNTARA-AYALA, 2010). Assim, nosso vocabulário pode aceitar a expressão

“evento natural”, mas não “desastre natural”, pois os desastres são antropogênicos. Como muito no Antropoceno, eventos que parecem ser naturais são cada vez mais produtos de ações humanas enraizadas em modelos sociais e culturais e nas relações materiais que expressam (OLIVER-SMITH et al., 2016).

Justamente, esta influência intensa dos processos induzidos pela ação antrópica sobre a dinâmica das inundações em ambientes urbanos configura uma das hipóteses centrais da pesquisa. Toma-se como hipótese que os processos fluviais presentes em uma bacia altamente urbanizada, por refletirem grande parte das perturbações do sistema como um todo, poderiam ser analisados ou comparados àqueles presentes em ambientes áridos ou montanhosos, muito diversos de onde a área de estudo se insere (conforme resultados compilados principalmente em RODRIGUES, 1997, 1999, 2004, 2010 e 2015).

Graf (1988) identifica flash floods, como um dos tipos prevalentes de fluxos nos ambientes áridos, sendo dotadas de um nível especialmente alto de independência entre cada evento, uma vez que flash floods são geralmente associados com tempestades isoladas. Exceto pelas inundações de recorrência anual associadas a grandes rios perenes, as inundações em zonas áridas são geralmente caracterizadas por aumentos e diminuições rápidas de vazão, resultando em eventos de curta duração. Portanto, uma abordagem baseada em eventos e em suas características hidro-geomorfológicas providencia o meio mais apropriado para analisar a hidrologia de rios de zonas áridas, onde o coeficiente de runoff (volume precipitado x volume de deflúvio) tende a ser superior a 0,87 (KNIGHTON & NANSON, 2001) e valores máximos de vazão durante um evento de inundação comumente superam em 100 vezes sua média (HOOKE, 2009). Em estudos que abordam ambientes onde processos desta magnitude são encontrados, as metodologias empregadas baseiam-se na identificação de limiares de variáveis climáticas e geomorfológicas indutoras dos fenômenos, bem como em modelagem de alta resolução para comparação de alterações na resposta dos processos de superfície (como a relação precipitação-runoff-vazão) em diferentes cenários (HOOKE, 2016).

Em perspectiva, o estudo e gestão do processo precipitação-runoff e precipitação-vazão (sobretudo em ambientes urbanos) é comumente afetado pela falta de dados com resolução temporal (comprimento e/ou frequência) ou espacial suficientes para os locais de interesse. Assim, os processos são tipicamente estimados utilizando modelos hidrológicos que tentam caracterizar a natureza física das áreas urbanas, assumindo pressupostos e estimativas do comportamento hidrológico da superfície em que variações de pequena dimensão da cobertura da superfície urbana e de conectividade hidráulica, raramente são

considerados no que se refere ao comportamento da precipitação-runoff e precipitação-vazão (REDFERN, 2017).

Mesmo em bacias onde a chuva é o input exclusivo de água para eventos de inundação, esta variável sozinha não pode ser tomada como único fator causal, pois diversos estudos indicam que nem toda precipitação incidente sobre superfícies urbanas é convertida em runoff e subsequentemente em vazão (Hollis e Ovenden, 1988, Wiles e Sharp, 2008, Awadalla et al, 2017). O grau de conectividade entre o sistema de drenagem e as superfícies desempenha papel importante na determinação das propriedades da precipitação-runoff em áreas urbanas (Ebrahimian et al, 2016). Controlar ou reduzir a conectividade das superfícies é citado como um mecanismo pelo qual os impactos da urbanização na hidrologia podem ser reduzidos, e determina estimativas acuradas de DCIA (*Directly Connected Impervious Area*) é reconhecido como importante fator para predição do comportamento hidrológico urbano (Beighley et al, 2009). Não obstante, é reconhecida a importância de outros fatores da morfologia, como o estrangulamento natural de canais, feições mínimas de relevo com características hiperconcentradoras de fluxos, e também o direcionamento do arruamento entre setores de topo de vertentes e fundos de vale. Mas, em resumo, este estudo se direciona a uma lacuna na compreensão de que feições e processos afetam as propriedades da relação precipitação-runoff junto à conectividade de superfícies no ambiente urbano para uso em modelos hidrológicos ou planos de gerenciamento de águas superficiais. Como consequência, decisões de engenharia prática e pesquisa são comumente feitas sobre premissas, parâmetros e outputs incertos de modelos (REDFERN, 2017).

Pode-se considerar, portanto, que a introdução de estruturas urbanas (morfologia antrópica), adiciona novas variáveis necessárias à análise do risco de inundações enquanto também pode suprimir outras, em uma escala não proporcional. Por exemplo, o estudo de McDonald et al (2022) indica que, em uma bacia altamente urbanizada, a vazão de pico torna-se mais sensível à intensidade de precipitações de 10 minutos enquanto a umidade do solo antecedente torna-se menos importante. As formas complexas do ambiente construído exercem forte influência nas características hidrológicas em escala local, não havendo relação direta entre percentual de runoff e precipitação ou umidade do solo antecedente em bacia altamente urbanizada. Por fim, o estudo indica que uma maior sensibilidade é necessária sobre o como os sistemas de drenagem de águas superficiais se conectam hidráulicamente à superfície urbana.

3.1.3. Aplicação dos conhecimentos dos campos e a necessidade de aumentar a escala e integração

Os desafios de identificação de ligações processo-resposta e operação interescalar são persistentes nos estudos de impactos humanos no meio físico, em especial no caso de sistemas fluviais. Isso, pois, não são sistemas lineares, o que torna quase impossível reconstituir qual variável causou qual efeito (JAMES & MARCUS, 2006). Nestes casos, como o objetivo é identificar determinados tipos de mudanças no ambiente, que contribuem mais diretamente a ocorrência de um dado fenômeno, a mesoescala configura enquadramento ideal para início do desenvolvimento dessa análise (TURNER et al, 1990). É justamente esta escala que permite a compreensão mais completa da forma como forças globais (de macroescala) atuam sobre contextos espaciais e culturais específicos (da microescala) aos quais são, então, direcionadas as ferramentas de análise mais fina.

A questão da escala é fundamental em análises que buscam a “responsabilização” de forçantes, justamente por colocar na devida perspectiva os controles de operação do sistema alterado em relação ao fenômeno impactante sobre a sociedade. Isso significa considerar que, no ambiente urbanizado, a superfície original não está mais lá, mas certas magnitudes extremas de eventos são fisicamente possíveis, dependendo de uma rara combinação de controles favoráveis para ocorrer. Ou seja, mesmo que o evento seja extremo, atingindo um limite de processo do qual o sistema não é capaz de se recuperar ele também pode ser parte das condições originais (BRUNSDEN, 1996). Com isso considerado, aqui, o conceito de evento extremo classifica um fenômeno de acordo com seu efeito e repercussão, não necessariamente sua gênese. Pois, o que esse tipo de evento provoca, é obrigatoriamente parte de uma mudança na forma de operação do sistema (expresso, por exemplo, pelo extravasamento de canal artificial) e representa a superação de limites da capacidade mitigatória e de resiliência de um dado território e, por consequência, de uma dada população.

Por endereçarmos aos eventos extremos de inundação o interesse de localizar, identificar, coletar e catalogar evidências físicas dos fatores determinantes à sua ocorrência, isto é, um interesse forense, as ferramentas de sensoriamento remoto são aquelas que providenciam os meios não destrutivos e não invasivos para captura. São necessários instrumentos de alta sensibilidade e processamento de alta precisão para atingir a finalidade proposta, de modo que seja possível avaliar contrastes pequenos sobre a superfície e com frequência muito alta no tempo. Em outras palavras, esta investigação de alto detalhe deve ter amostragem de intervalos pequenos e discretos de um local, enquanto são obtidos dados

de alta qualidade que passaram por procedimentos de validação. Segundo Davenport (2001), os fatores que podem limitar a qualidade do dado obtido são: resolução, taxa de sinal/ruído, contraste e relação tamanho/profundidade.

1) Resolução é definida como a possibilidade de diferenciar objetos que estão muito próximos. A proximidade de objetos pode ser relacionada à sua proximidade física ou à similaridade de propriedades físicas.

2) A intensidade/força do sinal deve ser superior à dos sinais de fundo gerados aleatoriamente (ruído). Procedimentos de campo, filtros e capacidades maiores de processamento computacional provêm meios para melhoria da taxa sinal/ruído, elevando a qualidade e resolução dos dados de sensoriamento remoto.

3) Contraste é medido pela capacidade de diferenciação das propriedades do objeto alvo e do material adjacente.

4) Quanto maior o objeto, mais profundamente pode ser detectado e, geralmente, inputs de menor frequência (que são menos afetados pela terra) são utilizados para obter uma resolução melhor do que sinais de frequência mais alta.

A compreensão de anomalias em dados de sensoriamento remoto é baseada no conhecimento sobre capacidade e limitações de cada método e interpretação dos dados em correlação com outras informações, como solos, geologia e condições climáticas. O que se coloca então é o desafio de aproveitar devidamente essas tecnologias, com os dados mais qualificados e atuais possíveis, para abranger a complexidade dos sistemas hidrogeomorfológicos modificados e fornecer informações mais assertivas.

Douglas (1988), coloca que a aplicação do conhecimento geomorfológico no meio urbano se divide em três tarefas: conhecer o terreno em que a cidade foi construída, compreender os processos geomorfológicos atuais modificados pela urbanização, e prever futuras mudanças que provavelmente resultarão do desenvolvimento urbano. Essencialmente, essas tarefas requerem conhecimento do passado, compreensão do presente e habilidade de previsão do futuro (DOUGLAS, 1988).

Isso é particularmente importante de se ter em mente se considerarmos que a maior parte dos mapas hoje não são de inundações reais, mas de inundações imaginárias utilizadas para ajudar comunidades a ter uma ideia de onde áreas especialmente suscetíveis a inundações provavelmente estão (JONES, 2004). Por exemplo, tomemos os mapas de inundações de 100 anos, cujo nome é enganoso porque ele é baseado em probabilidades estatísticas para algum local específico e não para uma região. Isso significa que sempre há

uma chance de que a “inundação de 100 anos” vá ocorrer em algum lugar da região todos os anos (JONES, 2004).

As previsões mais detalhadas geralmente são realizadas para pontos pouco específicos e elas não dizem se sua casa, comércio, ou estação de tratamento de esgoto está em perigo de ser inundada. Como bem resume Jones (2004), o que o morador, que habita uma residência construída em planície de inundação, quer é um mapa que mostre onde a inundação é esperada. Conforme o mesmo autor, para que seja possível fornecer este produto, é necessário a aquisição de dados de elevação muito precisos da planície de inundação, através de LIDAR; um programa que possa simular fluxos de inundação através de uma planície de inundação à jusante do ponto de previsão; E software de análise espacial (SIG) que transforme os modelos resultantes em mapas e que possa dar uma visão integrada da bacia hidrográfica como um todo.

Portanto, devemos ter como base a unidade elementar de análise dos sistemas fluviais, a bacia hidrográfica, onde o desenvolvimento urbano, a partir da introdução das estruturas que suportam a habitação e produção, altera a natureza dos divisores de água bem como a fonte de água e sedimentos de um canal. A ocupação humana inclui aí a acumulação e remoção de depósitos naturais e artificiais previamente existentes (processos muito mais intensos durante o estágio de perturbação ativa), operando concomitantemente aos seus equivalentes naturais (PRICE et al, 2011). À medida que a bacia é urbanizada, e a densificação consolidada, a produção de sedimentos pode reduzir, mas a produção de lixo tende sempre a aumentar, causando problemas de obstruções maiores e mais rapidamente (TUCCI, 1999). Com o avanço da impermeabilização, o balanço escoamento/infiltração é totalmente desbalanceado em favor da geração de escoamento concentrado. Isso significa alterações exponenciais na diferença dos tempos de entrada e saída do sistema bacia, sendo perceptíveis pela elevação dos picos de cheia e as curvas de subida e descida das cotas atingidas, assim, espera-se aumento de altura e frequência mesmo para cheias menores (COOKE & DOORNKAMP, 1990). Na tentativa de corrigir esta tendência, o conhecimento da hidráulica aplicada traz diversas soluções de drenagem urbana, nas quais são dois os equívocos mais comuns: A confiança no princípio equivocado de que “a melhor drenagem é a que retira a água excedente o mais rápido possível do seu local de origem”; e o ato de não considerar a bacia como sistema de controle: os impactos gerados por um projeto são transmitidos ao longo da bacia através de condutos e canalizações (TUCCI, 1999).

Segundo Tucci (1999), isso distingue as enchentes entre aquelas ocorridas em áreas ribeirinhas e aquelas devido à urbanização. O primeiro tipo se refere ao processo natural de

ocupação do leito maior. Estas destinam-se a ocupação em períodos secos por representarem espaço urbano pertencente ao poder público ou desprezado economicamente pelo poder privado, e são essencialmente inundações ocorridas em bacias extensas e geralmente intermunicipais com uma porcentagem relativamente pequena de superfície urbanizada. Já no segundo caso:

“As enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamento. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento; este tipo de inundação ocorre principalmente devido a forma como a drenagem urbana é projetada nas cidades e pela impermeabilização das superfícies que produzem aumento de escoamento superficial em detrimento do escoamento subterrâneo”. TUCCI, 1999, p. 2).

Com isso, vemos a relevância de estudos direcionados às mudanças no uso e ocupação do solo como uma das vias preferenciais pela qual o conhecimento geomorfológico é aplicado ao problema das inundações urbanas. Essencialmente, as vazões mais frequentes (médias), têm aumento em taxas menores que a vazão de máxima inundação anual (LEOPOLD, 1968). De acordo com o mesmo autor, essas vazões mais frequentes também são reduzidas em número porque as vazões menores de uma área urbanizada não são sustentadas pela água subsuperficial como em uma bacia natural. Isso tem influência de um dos efeitos mais importantes da urbanização que é a introdução de efluentes de esgoto, tratado e não tratado, nos canais (LEOPOLD, 1968). Deve-se considerar que esse volume é advindo de águas transpostas entre bacias, através da rede de distribuição de água.

“Os dois principais fatores que controlam o regime de fluxos são a porcentagem de área tornada impermeável e a taxa com a qual a água é transmitida através da superfície para canais. O primeiro é controlado pelo tipo de uso do solo, o último é controlado pela densidade, tamanho, e características de canais tributários e assim pela provisão de galerias pluviais.” (LEOPOLD, 1968, p. 2).

No âmbito das experiências internacionais, tradicionalmente, a gestão de águas pluviais era centrada em práticas para remover a água superficial o mais rápido e eficientemente possível, enquanto as tecnologias contemporâneas buscam: reduzir e desconectar superfície impermeabilizadas do sistema de drenagem, utilizar materiais permeáveis que aumentem infiltração e recarga de águas subsuperficiais e construção de estruturas de armazenamento artificial dentro das bacias urbanizadas (Walsh et al, 2005. Hamel et al, 2013; Woods-Ballard et al, 2007). As duas primeiras medidas citadas

essencialmente se baseiam em realizar o retrofitting do ambiente já construído, com técnicas e materiais desenvolvidos pela engenharia moderna. Já a terceira medida citada, mais recentemente, tem sido repensada a partir de soluções baseadas na natureza: *Nature Based Solutions* (REDFERN, 2017).

A partir do conhecimento acumulado pelas práticas de gestão internacionais, sabe-se que o foco exagerado na capacidade de geração de runoff das superfícies simplesmente por serem impermeabilizadas, desconsiderando outras variáveis do meio físico urbano, leva em último caso à restrição da habilitação de esquemas de gestão de águas pluviais focadas em retro-fitting e NBS na atração de financiamento, bem como leva à inflação das estimativas de custos de construção (REDFERN, 2017, MACDONALD et al, 2022).

Em contraste, consideremos duas das intervenções de drenagem urbana mais comuns do contexto estudado que, na melhor das hipóteses, aplicam parcialmente os conhecimentos de ciências geográficas físicas: reservatórios de armazenamento e canalizações. Primeiramente, a canalização envolve manipulação de uma ou mais variáveis dependentes como declividade, profundidade, largura e rugosidade, então os efeitos de resposta incorrem em um novo estado de equilíbrio (BROOKS & GREGORY, 1988). Projetos de canalização, particularmente se seu design é baseado em dados básicos inadequados, podem induzir instabilidade não apenas no alcance imediato do canal modificado, mas também à jusante e/ou à montante. Brooks e Gregory (1988), apontam que os ajustes mais dramáticos ocorrem em resposta a mudanças de declividade associadas com a retificação ou regressão de canais, ou com a extensão da largura de fundo.

“A retilinação de canais meândricos aumentam a declividade do canal devido ao encurtamento do caminho. Um aumento de declividade permite o transporte de mais sedimento do que é fornecido pelo canal natural à montante, de forma que o suprimento adicional de sedimento é obtido do leito de canais aluviais pela degradação, com tendência de progressão à montante (PARKER & ANDRES, 1976). A carga excessiva elevada pela erosão é então transportada para a porção à jusante do segmento retilinizado, e por conta do segmento natural mais plano à jusante, os sedimentos são depositados neste leito.” (BROOKS & GREGORY, 1988, p.149).

Se já é sabido que a urbanização tende a aumentar tanto os volumes das inundações quanto as vazões de pico, parece óbvia ao planejador e projetista a solução de armazenamento por reservação. Esta é planejada para ser instalada em um rio com objetivo de reduzir a magnitude de vazões de pico distribuindo o fluxo por um período mais longo de tempo. Sua efetividade vai depender do volume de armazenamento relativo ao volume de

entrada durante um período de pico de chuva. Leopold (1968) aponta que, se feita a escolha por esta solução, há também necessidade crescente de criar reservação temporária à montante para contrapor a tendência da urbanização em aumentar o número e tamanho de altas vazões. Isso é, projeta-se uma nova intervenção que tem a função exata de providenciar um serviço ambiental naturalmente exercido pela planície fluvial.

Isto nos leva a considerações que são fundamentais na orientação de uma busca por causas de inundações em uma bacia altamente urbanizada no meio tropical úmido. Como apontado por Rodrigues et al (2019) bacias hidrográficas urbanas do Alto Tietê tiveram canalizações dos cursos principais que resultaram no encurtamento dos canais principais pela metade (na maioria dos casos) e aprofundamentos progressivos acompanhados de perdas de até 90% da capacidade de estocagem das planícies fluviais. Como já citado, Moroz-Caccia Gouveia (2010) aponta que os índices de aumento de vazões extremas tradicionalmente referenciados pela hidrologia são bastante conservadores, podendo ser dezenas de vezes maiores no contexto de meio físico profundamente alterado com regime intenso de precipitação. Isto, pois, no contexto de nosso interesse, o planejamento da macrodrenagem ocorre com a visão particular de trechos considerados críticos, fazendo com que o processo sempre ocorra de acordo com uma sequência de três estágios, segundo Tucci (1999):

Estágio 1: a área que corresponde à bacia começa a ser urbanizada, com maior densificação urbana no setor de jusante, com ocorrências de inundações devido a estrangulamentos naturais ao longo do seu curso;

Estágio 2: são realizadas as primeiras canalizações a jusante, com base na urbanização já instaurada. Com isso, o hidrograma a jusante aumenta (velocidade x volume), mas é ainda contido pelas áreas inundáveis a montante (reservatórios de amortecimento);

Estágio 3: com a densificação da ocupação urbana, cria-se pressão pública pela continuidade da canalização para montante. Com isso, as inundações retornam a jusante, devido ao aumento da vazão máxima e pela velocidade de transferência da água das áreas que serviam ao amortecimento. Como não haverá espaços laterais para ampliar os canais a jusante (devido a ocupação por vias marginais, por exemplo), a solução que se apresenta mais imediatamente é o aprofundamento do canal. Esta medida de engenharia possui custos extremamente altos (aumentando exponencialmente dependendo do subsolo, largura, revestimento, etc.).

Existem exemplos de políticas que foram elaboradas com base em uma premissa de que processos naturais foram totalmente negados ou modificados pela construção de sistemas de drenagem, esgotamento e reservatórios. Obviamente, isso levou a decisões

equivocadas baseadas em conhecimentos técnicos que tinham completa falta de consideração pelo como um rio muda como resultado da urbanização e como processos naturais respondem a essas mudanças. O que podemos concluir é que, do ponto de vista aplicado, a geomorfologia como um todo é vista como um fator de fundo ao invés de ser vista como elemento dinâmico na paisagem (DOUGLAS, 1988).

Políticas de planejamento urbano geralmente incorporam algum conhecimento do passado em termos de restrições para o desenvolvimento urbano, mas geralmente prestam relativamente pouca atenção ao presente e ao futuro (DOUGLAS, 1988). Isso é importante de se considerar quando pensamos no como o dimensionamento de obras é dependente de séries históricas e tempos de recorrência, mas que apenas atualmente têm considerado a modelagem de cenários futuros para os sistemas como um todo.

Uma das possibilidades para ampliar o potencial de devida aplicação das ciências tangenciadas pelo tema das inundações, é considerar que o planejador é particularmente preocupado com tanto as restrições quanto as oportunidades oferecidas pelas principais características fisiográficas da área, especialmente a localização de áreas de maior declividade, solos, cursos.

“Estradas, habitações, indústrias, e outras feições feitas pelo homem são mais ou menos permanentes e exercem sua maior influência no seu efeito sobre futuro desenvolvimento, especialmente através da valoração da terra.” (LEOPOLD, 1968, p. 1).

Ou seja, vemos o potencial de infiltração do conhecimento aplicado junto às aspirações sobre habitação, em todos seus aspectos desde diretrizes para obras de infraestrutura urbana à avaliação de riscos de sinistros. Como observa Tucci (1999), não existe nenhum programa sistemático para controle das ocupações das áreas de risco de inundação no Brasil. O instrumental técnico-jurídico com possibilidade de cobrir esta lacuna é o plano diretor urbano, instituído junto da Constituição de 1988. O PDU contém os planos de micro e macrodrenagem, que serão dependentes da legislação municipal quanto a ocupação de áreas inundáveis e sobre a impermeabilização do solo (reconhecimento da participação individual no aumento das cheias). O autor indica que na legislação municipal é recomendável incluir quatro diretrizes: a) manutenção e vazão de pré-desenvolvimento; b) dimensão do volume de controle necessário à manutenção da vazão de pré-desenvolvimento; c) incentivo ao uso de pavimento permeável; d) definição da faixa de domínio de acordo com o código florestal e incentivo a sua preservação no parcelamento.

Tucci (1999) complementa ainda que um plano de drenagem urbano deve prever a minimização do impacto ambiental devido ao escoamento pluvial através da compatibilização com o planejamento do saneamento ambiental, controle do material sólido e a redução da carga poluente nas águas pluviais que escoam para o sistema fluvial externo a cidade. O que representa um desafio para a cidade de São Paulo, uma vez que sequer existem informações sistematizadas sobre a própria localização das galerias pluviais e a companhia de saneamento concessionada admite possuir centenas de pontos de lançamento do esgoto coletado diretamente nestas galerias.

Sem o domínio das informações básicas sobre as estruturas e domínio das tecnologias que permitam a análise integrada destas, não há como se pensar em controle permanente de enchentes. Isso é, o controle de enchentes como processo permanente, com atenção aos potenciais de violação da legislação na expansão da ocupação do solo das áreas de risco. Ao lado do ideal de universalização do saneamento, formam um par de conceitos em voga no planejamento urbano e ambiental, mas insuficientemente articulados do ponto de vista técnico metodológico.

Se por um lado as políticas de planejamento urbano devem ser questionadas quando informações e expertise disponíveis não são utilizadas, igualmente, os especialistas serão questionados quando não utilizarem as informações e técnicas mais qualificadas disponíveis. Então, com vista às lacunas tratadas, vemos a emergência de métodos de investigação das inundações urbanas como as análises longitudinais e retrospectivas, a modelagem de cenários e a metanálise interdisciplinar. Com a aglomeração destes métodos, é fundamentada a análise forense de episódios de inundação, que pode apropriar-se de tecnologias e técnicas emergentes para a investigação das causas mais radicais deste tipo de risco.

3.1.4. A metodologia de análise forense e sua aplicação ao nosso contexto.

Ciência forense, *strictu senso*, significa a aplicação da ciência para investigação legal (RUFFELL e MCINLEY, 2005), ou seja, com finalidade de *foro*. A geomorfologia foi muito recentemente incorporada com aplicações pouco numerosas em casos que envolvem intervenções em sistemas físicos. Muitas investigações forenses geomorfológicas envolvem a água, como em problemas de litígio sobre o suprimento, poluição, inundação, subsidência e erosão. O princípio é o exame de materiais, ligando suspeitos a atividades e ocorrências locais, mas nem sempre com a ideal de processo civil (RUFFELL e MCINLEY, 2005).

Isso pode ser devido a lacunas sistemáticas principalmente no que se refere ao potencial do conhecimento geomorfológico como discriminador em situações de maior

complexidade (MANTOVANI & RODRIGUES, 2019). Apesar disso, a partir dos resultados de uma metanálise, Mantovani e Rodrigues (2019) apontam que, do arcabouço técnico da geomorfologia, os produtos de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital são os mais empregados em casos que envolvem ameaça à vida humana. São destacadas as aplicações de produtos na identificação de mudanças na paisagem em perspectiva evolutiva temporal: fotografias aéreas, ortofotos, levantamentos a laser (LIDAR), dentre outras (DAVENPORT, 2001; RUFFELL e DAWSON, 2009; PRINGLE et al., 2012), instrumentais que se pretende empregar neste estudo. O que se reforça é a importância de complementar técnicas investigativas das ciências da terra para finalidade forense, sendo necessário selecionar o instrumental mais adequado de acordo com os recursos disponíveis (MANTOVANI & RODRIGUES, 2019).

“A visão de conjunto e a abordagem multiescalar, no tempo e no espaço, são as principais características e metas da disciplina, que permitem o entendimento mais completo dos processos geomorfológicos, seu dimensionamento espacial, e a compreensão da duração e da permanência destes processos. São, também, as características que permitem estabelecer previsões e prognósticos de tendências futuras de processos geomorfológicos e mudanças ambientais, frequentemente solicitadas nas perícias ambientais.” (MANTOVANI & RODRIGUES, 2019, p. 74).

Agora, em um contexto mais amplo e interdisciplinar as assim batizadas “investigações forenses de desastres” são um esforço de grupos internacionais de cientistas para retirar o termo “natural” de “desastres naturais” (BURTON, 2010). Segundo Burton (2010) estas investigações devem se distinguir em ao menos três importantes formas de estudos de casos:

1 – Entrar mais profundamente nas causas fundamentais dos desastres, de forma ampla e multidisciplinar;

2 – Para serem efetivamente investigativos e forenses em sentido, os estudos devem buscar por evidências, para serem capazes de reportar quanto à cadeia de eventos, responsabilidade e ações que interferem nos riscos. Isso não deve ser confundido com uma caça por responsáveis, uma vez que a responsabilidade por perdas ligadas a um desastre é amplamente pulverizada ao longo de instituições, locais e tempos.

3 – Pela razão já mencionada, o resultado não deve ser uma precisa identificação de um locus específico de responsabilidade, mas sim trazer um paradigma ou mudança cultural na forma como desastres são manejados e compreendidos.

“O termo forense é utilizado para indicar a busca por causas radicais, com efeito de identificar as feições e forças sociais e os atores sociais e institucionais associados que alimentam e energizam as forçantes dos riscos que são terminalmente expressos nos padrões de vulnerabilidade e exposição os quais, quando afetados por perigos naturais ou tecnológicos, produzem um desastre.” (OLIVER-SMITH et al, 2016, p. 14).

Aplicando-se esta visão no presente estudo, pretende-se uma leitura mais completa e integradora entre as variáveis que descrevem o fenômeno das inundações urbanas, levando à ponderação da responsabilidade dos diferentes fatores. Ressalta-se que, como já dito, a responsabilidade por perdas em desastres é amplamente espalhada por instituições e processos sociais em diversos lugares e tempos. Não obstante, devemos concordar com Oliver-Smith et al (2016) quando afirmam categoricamente que evitar a questão de responsabilidade causal constitui uma subversão das obrigações científicas. No que tange responsabilidade legal por fatores radicais, é sabido que é impossível haver atribuição nominal, uma vez que processos históricos como a formação de uma sociedade socioespacialmente segregada possui atores sociais e econômicos conhecidos, mas não nomeados. No entanto:

“Provar causalidade direta em um sentido legal tem potencial para refrear a construção do risco se as responsabilidades puderem ser formalmente identificadas e legalmente perseguidas.” (OLIVER-SMITH et al., 2016, p. 49).

Percebe-se, então, que a investigação forense de desastres se afasta de uma orientação que foca nos eventos e mecanismos de causa/consequência da perspectiva geofísica para o reconhecimento de que as consequências estão ligadas aos padrões e decisões da vida cotidiana. Isso é, compreendemos esta como uma proposta metodológica para avançar pragmaticamente, mas com base nas informações levantadas e sistematizadas pela análise sistêmica, nosso ponto de início.

Burton (2010) sintetiza a análise forense de desastres como uma análise de causa crítica. Isso é, parte do princípio de que um problema é mais bem resolvido quando se tenta corrigir ou eliminar a causa raiz, ao invés de se direcionar aos sintomas imediatos mais óbvios. Envolve também a identificação de medidas preventivas que foram ou podem ser aplicadas para evitar, controlar ou limitar as perdas e cada processo na sequência de risco a desastre e identificar aqueles que causaram danos ou falharam em evitá-los. Isso torne indispensável a definição de limites críticos, valores máximos e mínimos de fatores em relação a avisos, evacuações, segurança de edificações, etc., para prevenir, eliminar ou

reduzir perdas a um nível aceitável (BURTON, 2010). Isso já é em parte feito pelos órgãos que monitoram a o risco a inundações na área de estudo. Trata-se de uma aplicação prática do conceito de limiares de processos e eventos gatilhos, cujo sucesso depende da qualidade e precisão dos dados básicos bem como da completude da análise sistêmica que fornece os parâmetros.

As buscas por explicações das raízes do processo de construção do risco devem primeiro ser capazes de discernir e descrever padrões de perda e danos e seus impactos sociais. A sistematização descritiva de perdas e danos sob determinado perigo e condições de exposição permitem uma introdução ao primeiro nível da vulnerabilidade, particularmente onde os elementos sociais sofreram os impactos mais graves apesar da intensidade do evento gatilho ou da localização em áreas mais expostas ou suscetíveis (OLIVER-SMITH et al, 2016). Isso é importante de ser aproximado pois, do outro lado, também é possível a ocorrência de evento cuja intensidade provocará danos e repercussões apesar das estruturas de contenção e resiliência dos elementos expostos. A análise causal requer o entendimento do porquê controles sociais existiam ou não e, quando sim, porque não foram aplicados ou mal aplicados. Conforme propõem Oliver-Smith et al (2016), para o nível descritivo da investigação, existem 4 objetos então:

A- **o evento gatilho**, sua escala, intensidade, informações sobre frequência de ocorrência, o conhecimento público sobre sua ocorrência, precisão de projeções sobre ele, até que nível ele ocorre naturalmente.

B- **os elementos sociais e ambientais**, como a intervenção humana debilitou o ambiente, expondo-o a maiores danos do que seria o caso sem essa modificação humana. Como a distribuição da exposição evoluiu com relação ao desenvolvimento territorial não planejado, e se as regulações de ocupação e zoneamentos foram adequadas para os níveis de risco existentes nas localidades.

C- **a estrutura econômica e social das comunidades expostas**, como as perdas e danos impactam e afetam diferencialmente entre áreas, grupos sociais e tipos de estruturas, e no caso de eventos desastrosos sucessivos em um local, se houveram processos identificáveis de resposta/recuperação que aumentaram/diminuíram as perdas (práticas dos moradores afetados, agência de controle de trânsito, etc.).

D- **elementos institucionais e governamentais**, existe legislação apropriada, em níveis locais e regionais, incluindo regulações de construção, o grau de cumprimento destas normas e especificidade para os problemas de gerenciamento de riscos.

Distinguir as consequenciais evitáveis e inevitáveis na relação entre fator causal (*root cause*) e processo dinâmico (*risk driver*) é fundamental. Os processos dinâmicos, forçantes de riscos, são essencialmente processos “fortes” como o desmatamento, erosão acelerada, aumento descontrolado da população e sua distribuição, padrões problemáticos de uso e ocupação do solo urbano, etc. (OLIVER-SMITH et al, 2016). No nosso caso, a análise desses processos dinâmicos deve responder perguntas como: “em relação às áreas suscetíveis a inundações, qual foi a lógica por trás da alocação de diferentes estratos sociais, atividades econômicas e infraestruturas?” e “há alguma relação clara entre a exposição aos riscos e os níveis de pobreza da população afetada?”, “Como a existência de fatores de risco crônicos cotidianos como desemprego, falta de saneamento, tráfico de drogas, violência social e pessoal diminuíram a percepção de outros riscos, mais intermitentes?”.

Ao invés do foco em eventos extremos, em um sentido físico, a preocupação central deve estar em contextos e eventos de alto impacto, onde a análise de fatores condicionantes sociais associados com o risco devem ser prioridade. Assim, se aplica efetivamente o conceito de evento “extremo” como anteriormente apresentado, que passa a ser entendido não como aquele em que há maior descarga de energia física, mas aquele que tem maiores danos e perdas associados.

Na metodologia forense, a forma de responder essas ponderações sobre eventos causais, quais são e como geralmente são identificados pelos estudos realizados sobre um tipo específico de risco, é através da metanálise. Metanálise é a revisão sistemática da literatura utilizada para identificar e avaliar descobertas relevantes através de diferentes estudos (BURTON, 2010). Por exemplo, é o estudo multivariado e estatístico de centenas de trabalhos sobre inundações ocorridas em contexto urbano semelhante em busca dos fatores causais. A metanálise é comumente utilizada como procedimento para sistematizar resultados de estudos similares baseado em um modelo de pesquisa consistente.

Esta abordagem analítica oferece potencial para investigação sistemática de desastres onde as descobertas dos estudos de caso ou observações de pesquisa são suficientemente comparáveis para uma ou múltiplas variáveis. Como apontam Oliver-Smith et al (2016), a maioria dos estudos adota a perspectiva meta analítica para atingir e avaliar padrões consistentes de causas, fatores condicionantes e resultantes da ocorrência de eventos naturais e desastres através de uma grande quantidade de categorias definidoras. Isso é particularmente relevante para um tipo de risco interdisciplinar entre ciências físicas da terra, em que cada uma tenderá a dar maior relevância a variáveis de sua expertise ao longo dos estudos, potencialmente enviesando a identificação de fatores causais.

Associadamente, a metodologia forense inclui também a Análise Longitudinal, que muito se assemelha ao que é mais comumente referido como análise retrospectiva de episódios. Permite a observação repetida de mesmos itens que, no contexto de estudos sobre desastres, são reanálises em nível local de eventos particulares (OLIVER-SMITH et al, 2016). Conforme Erickson (1976), sendo especialmente adaptadas aos estudos sobre inundações, essas análises reconstitutivas podem ser comparativas geograficamente: dois locais diferentes, mas essencialmente comparáveis por características similares de eventos, onde a sequência de ações e decisões que levaram ao risco de desastres e seus efeitos específicos sejam examinados de forma cruzada com efeito comparativo. Igualmente, podem ser comparativos in situ, o mesmo local, dois eventos temporalmente diferentes, repetidos, ou mesmo local com dois perigos diferentes.

Por fim, dentro do que é proposto como plano de trabalho e pesquisa com a perspectiva forense (FORIN), há a necessidade de incluir a análise de cenários de desastre. Este método reconstrói e especifica retrospectivamente as condições, causas e respostas envolvidas em eventos particularmente destrutivos (OLIVER-SMITH et al, 2016). Parte do pressuposto de que é inegável e inevitável que uma inundação voltará a ocorrer. Este tipo de trabalho forense pode ser referido como perícia preditiva ou projetiva, já que projeta perdas e suas causas no futuro de forma oposta ao exame e explicação de perdas reais no passado. Este tipo de estudo está fortemente apoiado no uso de modelos, tanto físicos (hidrológicos), quanto de análise de sinistros, que estimam em valores e número de vidas o impacto de certos tipos de desastres.

Segundo os principais sistematizadores da metodologia (OLIVER-SMITH et al, 2016), o princípio de construção de cenários deve ser empregado para informar governo, sociedade civil e comunidades sobre os riscos específicos que existem em seu ambiente social e físico e como eles atuariam em caso de efetivação dos riscos. Criação de cenários é uma ferramenta apropriada para analisar como diferentes fatores podem influenciar os efeitos de um futuro episódio e a avaliar as incertezas associadas. Cenários requerem que legisladores e executivos considerem uma variedade mais ampla de eventualidades e respostas. No entanto, a construção de cenários em geral é precária pois não apenas não lidamos com intensidade de perigos projetados, mas também com várias trajetórias físicas, sociais e de infraestruturas futuras. Ou seja, a questão é projetar não apenas eventos possíveis como também condições de exposição possíveis.

Neste tocante, mais recentemente, foram elaborados os Cadernos de Bacias Hidrográficas da Cidade de São Paulo. Seria a proposta sistemática mais próxima de uma

avaliação de cenários com fins propositivos. Foi realizado mapeamento de áreas sujeitas às inundações a partir de informações obtidas da SIURB (do PDMAT 3) e com aferição em campo pela FCTH. Para estimativa da vazão de projeto foi utilizado modelo SWMM – *Storm Water Management Model*, desenvolvido pela EPA – *Environmental Protection Agency*. Para integrar a taxa de deflúvio gerado, utilizaram um *curve number* generalizado por sub-bacia, além de taxas de impermeabilização atual e máxima permitida pela Lei de Parcelamento Uso e Ocupação do Solo, ou seja, foi criado cenário de máxima impermeabilização futura permitida (com base no instrumental de ordenamento existente). As entradas consideradas foram chuvas de diferentes tempos de recorrência, e não eventos efetivamente registrados e nem interpolados de forma a respeitar a natural heterogeneidade de distribuição da precipitação sobre uma área irregular.

Para exemplificar as proposições resultantes de tais análises, quando aplicados sobre uma bacia hidrográfica altamente urbanizada (córrego do Morro do S, na zona sul de São Paulo), as propostas apresentadas em FCTH (2016) para redução dos riscos de inundação foram: Construção de reservatórios (capacidade total de 172.500 m³ a 332.500 m³ com um túnel de desvio de 1350 m), um único parque linear (4000 m²) e canalizações (7420 m). Para as estimativas de custos de desapropriações utilizaram referência da Coordenadoria de Gestão de Programas (CPO) da SEHAB/PMSP (ajustados para a base da época). Os valores das estimativas para ambos os cenários de risco são muito próximos, entre 335 e 518 milhões de reais. Utilizaram também um Índice de qualidade ambiental para avaliar os efeitos das intervenções propostas, com base em uma pontuação subjetiva que considera a água integrada ao ambiente urbano e visualizada pela população. A pontuação levou em consideração a permanência da água na bacia através da reservação e sua integração e possíveis benefícios com a paisagem urbana, admitindo a dupla funcionalidade da medida. O resultado apresentado, no entanto, é bem limitado: somente uma tabela apresentando o resultado de cada alternativa como um IQA muito alto, alto, médio ou baixo.

“Os Cadernos de Bacia Hidrográfica introduziram o zoneamento de áreas sujeitas a inundações partindo da formulação de alternativas de controle de cheias dimensionadas para chuvas com TR de 25 anos. O estudo propõe para chuvas com período de retorno entre 25 e 100 anos que as áreas sujeitas a inundações passem por regulamentação através de seu zoneamento. Para esta faixa de TR as restrições de uso e ocupação diminuem conforme aumenta o período de retorno.” (FCTH, 2016, p. 114)

Estes resultados servem para demonstrar o como as diretrizes para redução do problema das inundações urbanas, até o momento, são formuladas com a aplicação de

técnicas que, em maior ou menor medida, compõem a proposta forense, mas sem a integração, detalhe e preocupação com o fator radical social. Assim, se fundamenta a proposição de que a análise forense de desastres pode ser aplicada à área de interesse, tendo como primeiro passo a composição de base de dados fluviais, pluviométricos, topográficos, sociais e econômicos sistematizados em escala compatível com o planejamento urbano.

3.2. BASES DE DADOS.

Dados o objetivo e hipóteses que guiam esta pesquisa, foi composto banco de dados espaciais (bases cartográficas, dados vetoriais e matriciais diversos) e tabulares (dados de estações pluviométricas e fluviométricas, dados socioeconômicos, etc.). Compõem o banco de dados deste estudo:

Quadro 1: Componentes do banco de dados.

Informação	Fonte	Resolução/escala	Ano
Primeiro conjunto – Base de dados para o Município de São Paulo.			
Dados do censo 2010 (domicílio e população)	IBGE	Setores censitários	2010
Limites municipais, distritais e de bairros	PMSP	1:10.000	2018
Eixos de logradouro, caixas de quadra, alinhamentos prediais e áreas verdes	PMSP	1:2.000	2018
Edificações (incompleto), obras de arte e equipamentos urbanos	PMSP	1:1.000	2018
Hidrografia (bacias hidrográficas, áreas de contribuição difusa, rios, reservatórios e canais artificiais)	IG, PMSP	1:10.000	2014
Curvas de nível	IG, PMSP	1 metro	2014
Carta geotécnica	IPT	1:5.000	2015
Aglomerados subnormais e loteamentos irregulares	IBGE, PMSP	1:5.000	2016
Áreas de risco (geodinâmico e inundações)	IPT	1:5.000	2016
Estações pluviométricas (localização e precipitação)	CEMADEN	Dados diários, mínimo 10 anos	2018
Zoneamento Urbano	PMSP	-	2015
Mapeamento de uso do solo	PMSP	1:2.000	2018
Segundo conjunto – Base de Dados para a Bacia Hidrográfica Córrego Morro do S.			
Estações pluviométricas e fluviométricas (precipitação, cota e vazão)	SAISP	10 minutos, últimos 7 anos	2018
Redes coletoras de esgoto e drenagem (incompleto)	SABESP	-	2018
Dados topográficos LIDAR (terreno e superfície)	Engemap, PMSP	20 pontos por m ²	2018
Ortofotos	Engemap, PMSP	12 x 12 cm	2018
Aerofotos – período pré-urbano	AFA-USP	1:25.000	1962

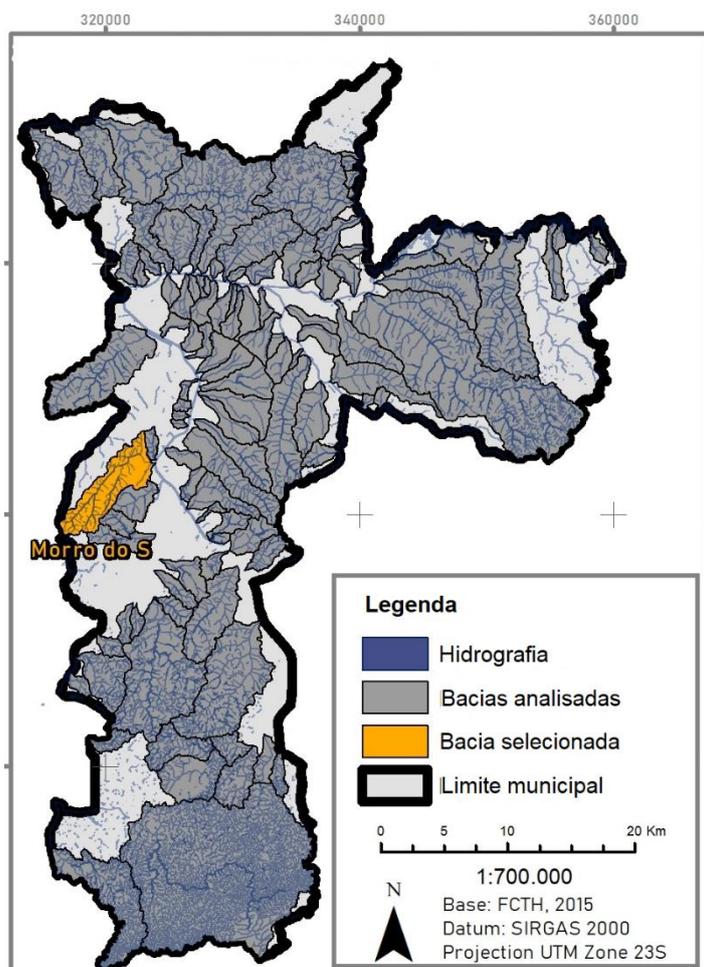
Este banco de dados foi estruturado em dois conjuntos: O primeiro, compreende dados para todo o município de São Paulo. Estão aí incluídos dados como limites administrativos (distritos, bairros, municípios), hidrografia revisada do município, curvas de nível de 1 metro, uso e ocupação do solo, dentre outros. Também estão incluídos dados cuja distribuição não é limitada às restrições físicas de uma bacia hidrográfica, como dados de precipitação e aqueles espacializados por setores censitários, como densidade demográfica e características socioeconômicas da população. Estes dados foram necessários em um

primeiro momento para obtenção de um quadro mais geral do universo de estudo e então seleção de uma área amostral. Isso é necessário dado o reconhecimento da dimensão e complexidade da área estudada, sendo preferível trabalhar com uma área menor que se suponha ter representatividade e, portanto, possibilidade de extrapolação de resultados ao universo de estudo (LUZ, 2010, MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010, VENEZIANI, 2014, SIMAS, 2017, RODRIGUES et al, 2019). Portanto, somente sobre esta área, selecionada com base nas informações do primeiro conjunto, pretende-se aplicar os métodos de análise detalhada de episódios proposta na metodologia forense.

Foram diversos os mapeamentos temáticos realizados com base nas informações deste primeiro conjunto para seleção de bacia hidrográfica amostral, representativa para todo o município de São Paulo. Foram considerados os temas: 1- Área média das bacias hidrográficas do município; 2- Comprimento total de cursos e densidade de drenagem das bacias; 3- Gradiente altimétrico; 4- Declividade média; 5- Presença de áreas de risco mapeadas e aglomerados subnormais; 6- População nos setores censitários circunscritos na bacia; 7- Uso do solo predominante; 8- Concentração de Zonas de Interesse Social; 9 – Disponibilidade de estações fluviométricas e pluviométricas intra bacia.

Para composição do segundo conjunto do banco de dados (com maior resolução, adequada a escala de uma bacia hidrográfica), foram utilizados estes mapeamentos temáticos como base, empregando o critério de selecionar uma bacia com maior proximidade às médias encontradas para as 148 bacias do município, e conhecida recorrência de episódios de inundações. A planilha com a caracterização completa das bacias (totalmente localizadas em São Paulo) encontra-se no **APÊNDICE 1**. Assim, os dados do segundo conjunto foram coletados especificamente para a bacia do córrego Morro do S (BMHS, na zona Sul do Município).

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica amostral selecionada (Morro do S).



Uma vez que parte do objetivo da pesquisa é justamente demonstrar que a metodologia de análise forense de desastres naturais é aplicável no caso das inundações ocorridas na cidade de São Paulo, é importante notar que todos os dados que compõem a base de dados são de domínio público, ou seja, já são existentes e disponíveis para as instituições públicas responsáveis pelo planejamento urbano, medidas de mitigação e aumento da resiliência.

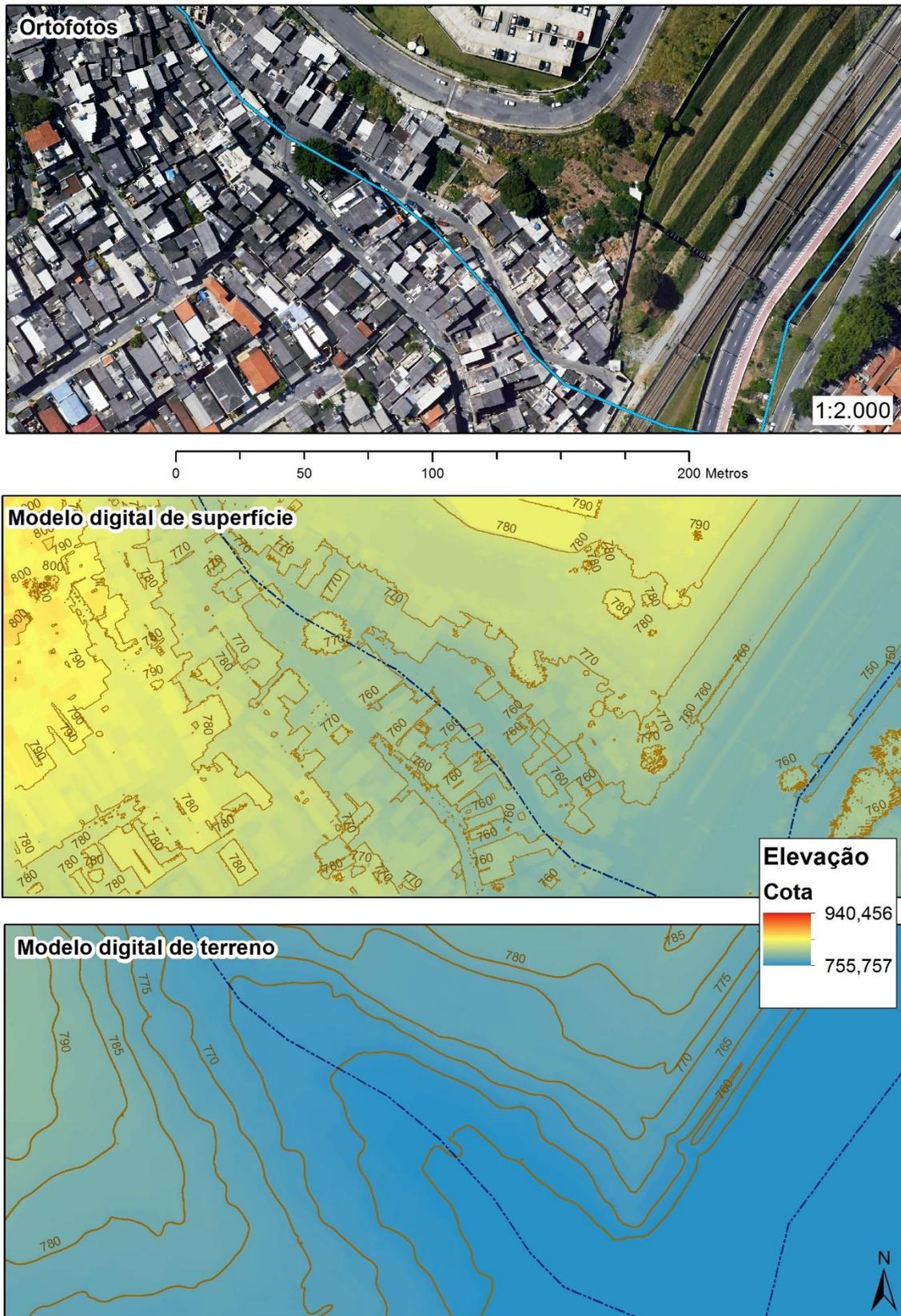
Algumas informações, resultantes deste levantamento e triagem de diversas fontes de dados conhecidas para o primeiro conjunto, isso é, dados levantados para todo o município de São Paulo, passaram então por outros processos de refinamento. Isso foi feito com o objetivo de representarem com maior confiabilidade a área amostral selecionada, já que entre os dois conjuntos de dados haviam diferenças escalares. A hidrografia foi revisada com base em dados topográficos de LIDAR e ortofotos de altíssima resolução, para correção de traçados, e correlacionada com as informações sobre estruturas coletoras de esgoto e drenagem pluvial, para sua classificação como “cursos em canal artificial”, “cursos canalizados em subterrâneo” e “cursos em canal natural”. O mapeamento do uso do solo e a

delimitação de aglomerados subnormais também foram revisados de acordo com as ortofotos de 2018, sendo seguidas as definições de classes originais conforme mapeamento da Prefeitura Municipal de São Paulo.

As referidas ortofotos, por sua vez, consistem em produto de aerofotolevanteamento de 12 cm GSD com correção de distorção por perspectiva realizada pelo *software OrthoVista* e de rugosidade por dados topográficos LIDAR, ambos produzidos pelo consórcio Engemap/Aerocarta (que cedeu seus produtos para fins acadêmicos), contratado pela Prefeitura. As ortofotos que recobrem a área de estudo foram compostas em ortomosaico através do software ERDAS Imagine.

O processamento dos dados LIDAR para geração dos modelos digitais de terreno e superfície da área de estudo configurou uma etapa particular. Os dados foram obtidos através de levantamento topográfico por perfilamento a laser realizado com sensor LIDAR Optech GEMINI acoplado a aeronave em altura constante de 2870 metros. Os dados topográficos capturados foram calibrados por pontos de controle com GNSS em campo e então pós-processados, tendo como resultado nuvem de pontos com as respostas válidas do sensor (ruídos excluídos), identificando todos os objetos de superfície. Este produto, separado em conjuntos de arquivos *.las*, foi organizado na forma de um *Lidar Dataset*, utilizado por sua vez na geração de um Modelo Digital de Superfície (MDS) com resolução igual às ortofotos geradas pelo mesmo projeto, de 12 centímetros.

Figura 2: Exemplos dos produtos disponibilizados pela Engemap Engenharia – Ortofotos de 12cm, MDS e MDT resultantes de levantamento LIDAR, em área com córrego de canalização subterrânea.



Com os dados do perfilamento da superfície, foi realizada etapa de extensiva reclassificação dos pontos, por parte de uma equipe de produção, para as seguintes

categorias: edificações e obras de arte, terreno (chão), vegetação, linhas de condução elétrica, corpos hídricos e outros objetos de superfície (veículos, postes, etc.). Com isso, apenas os pontos que representavam o terreno puderam ser separados, possibilitando agrupar os pontos armazenados em extensão *.las* em novo *Lidar Dataset* utilizado então na geração de um modelo digital de terreno (MDT), também com resolução de 12 centímetros.

Reitera-se que, como o objetivo desta pesquisa passa pela aplicação de uma metodologia de análise em escala de detalhe que pretende oferecer resultados viáveis ao planejamento urbano, os dados foram trabalhados de forma a apresentar resultados com Padrão de Exatidão Cartográfica A na escala de 1:1000. Isso significa que foi assumido um erro planimétrico máximo de 0,5 metro para todos os mapeamentos produzidos, configurando escala compatível com a maioria dos projetos de infraestrutura urbana. Com o objetivo de atender esta mesma escala, foram utilizadas as Aerofotos do período pré-urbano (1962) para delimitação vetorial georreferenciada, via estereoscopia (e posteriormente de modelo espacial derivado do Lidar), dos compartimentos da Planície Fluvial original (Planície de inundação, níveis 1 e 2 de terraços e backswamps).

Para análise sistematizada dos dados socioeconômicos da área amostral selecionada, foi utilizado o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS, conforme SEADE, 2010). Tal metodologia foi selecionada para análise da componente vulnerabilidade por considerar particularidades de condições socioeconômicas dos habitantes da cidade de São Paulo, ponderando fatores mais relevantes na determinação da condição de vulnerabilidade. Essa seleção se justifica também pelo teste realizado em estudo de Simas (2017), em que se demonstrou a possibilidade da integração dos mapeamentos de variáveis sociais, gerados em escala desintegrada (como setores censitários), com os mapeamentos que apresentam suscetibilidade do meio físico (como mapeamento de morfologias fluviais originais).

Esse índice considera fatores socioeconômicos e demográficos que agrupam variáveis sobre a população de um setor censitário, consideradas as mais indicativas de vulnerabilidade a partir de scores fatoriais. SEADE (2010) indica que, através de análise fatorial, 73% da variabilidade total das variáveis utilizadas no IPVS pode ser explicada pela combinação linear das mesmas entre fatores socioeconômicos e demográficos. Assim, foram considerados: Renda domiciliar per capita, % de domicílios com renda domiciliar per capita de até $\frac{1}{2}$ salário mínimo; Rendimento médio do responsável pelo domicílio, % de pessoas responsáveis alfabetizadas; Idade média das pessoas responsáveis, % de crianças até 5 anos de idade; localização em aglomerado subnormal (sim/não).

Os valores das variáveis socioeconômicas são expressos num fator composto por três classes (alto, médio e baixo). Esse fator, assim composto, deve ser combinado ao fator das variáveis demográficas, composto por duas classes: famílias adultas/idosas e famílias jovens. Estes grupos compostos são então combinados com a informação de se o setor censitário constitui aglomerado urbano ou não. Considerado essa estrutura, os grupos de vulnerabilidade social definidos pela metodologia do IPVS (SEADE, 2010) são:

Grupo 1 - Nenhuma vulnerabilidade: engloba os setores censitários em melhor situação socioeconômica (muito alta), com os responsáveis pelo domicílio possuindo os mais elevados níveis de renda e escolaridade. Neste grupo os chefes de família tendem a ser mais velhos do que a média do Estado de São Paulo;

Grupo 2 – Vulnerabilidade Muito Baixa: abrange os setores censitários que se classificam em segundo lugar em termos da dimensão socioeconômica (média ou alta). Nessas áreas concentram-se, em média, as famílias mais velhas;

Grupo 3 – Vulnerabilidade Baixa: formado pelos setores que se classificam nos níveis altos ou médios da dimensão socioeconômica e seu perfil demográfico caracteriza-se pela predominância de famílias jovens e adultas;

Grupo 4 – Vulnerabilidade Média: composto pelos setores que apresentam níveis médios na dimensão socioeconômica, estando em quarto lugar na escala em termos de renda e escolaridade do responsável pelo domicílio. Nesses setores concentram-se famílias jovens, isto é, com forte presença de chefes jovens (com menos de 30 anos) e de crianças pequenas;

Grupo 5 – Vulnerabilidade Alta: engloba os setores que possuem as piores condições na dimensão socioeconômica (baixa), estando entre os dois grupos em que os chefes de domicílios apresentam, em média, os níveis mais baixos de renda e escolaridade. Concentra famílias mais velhas, com menor presença de crianças pequenas;

Grupo 6 – Vulnerabilidade Muito Alta: o segundo dos dois anteriores grupos em termos da dimensão socioeconômica (baixa), com grande concentração de famílias jovens. A combinação entre chefes jovens, com baixos níveis de renda e de escolaridade e presença significativa de crianças pequenas permite inferir ser este o grupo de maior vulnerabilidade à pobreza;

Grupo 7 – Vulnerabilidade Altíssima: Características de composição do quadro social e econômico da população idêntico ao identificado para o Grupo 6, somado à habitação, necessariamente, em aglomerados subnormais.

3.3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1. Metanálise.

A meta análise configura um dos métodos de pesquisa propostos para a análise forense de desastres naturais. Pode ser definida como a revisão sistemática de bibliografia disponível, realizada para identificação e avaliação de descobertas consistentes e contrastantes em estudos diversos sobre o mesmo tipo de fenômeno ou risco (OLIVER-SMITH et al, 2016). A maioria dos estudos adota a perspectiva meta analítica para identificar e avaliar padrões consistentes de causas, fatores condicionantes e resultantes da ocorrência de eventos naturais e desastres. Em resumo, a metanálise se diferencia da pesquisa bibliográfica propriamente dita por objetivar obtenção de parâmetros quantificáveis e padrões dentro das componentes (palavras-chave, metodologias empregadas, etc.) das pesquisas.

Para execução da meta análise sobre riscos e episódios de inundações em condições análogas à área de estudo desta pesquisa, primeiramente foi realizado o levantamento por produções científicas a respeito de inundações urbanas na base Web of Science. Considerando a hipótese que se busca testar com a aplicação deste método, a de que estudos enquadrados na área da climatologia tendem a identificar como fatores causais apenas variáveis meteorológicas e estudos da geomorfologia e geociências tendem a apontar como causas as mudanças no uso do solo e ocupação de áreas suscetíveis, foram realizadas buscas na base de dados com diferentes combinações dos termos: *floods*, *flash floods*, *urban floods*, *civil engineering*, *geomorphology*, *meteorology*, *climatology*, *geosciences*, *hydrology*. A escolha por esses termos buscou englobar as duas adjetivações de inundações que mais interessam e as cinco áreas com maior número de produções para o termo “*floods*”.

Tomando em consideração a quantidade de resultados encontrados para a palavra-chave “*Floods*”, cerca de 20.000 (em agosto de 2019), considerou-se que a concatenação de palavras-chave e filtros de áreas de concentração das publicações deveriam ser combinados de forma a obterem correspondência em ao menos 10% desse total. Esta parcela do universo de publicações pode ser considerada representativa com base no alto grau de transdisciplinaridade e variação de enfoques esperados entre estudos desta temática (RUDEL, 2007, OLIVER-SMITH, 2016). Com o objetivo de categorização, as combinações no Quadro 4 apresentaram os resultados mais representativos para a discriminação das publicações sobre a temática entre as diferentes áreas de concentração.

Quadro 2: Concatenação de critérios utilizados para levantamento bibliométrico.

Palavra-chave 1	Palavra-chave 2	Filtro de área	Resultados
Flash floods	Urban	Nenhum	414
Floods	Urban	Engenharia Civil	231
Floods	Urban	Geociências	1424
Floods	Urban	Meteorologia	704
Floods	Urban	Geomorfologia	241
TOTAL			2106

Nenhuma outra combinação de palavras-chave correlatas ao tema obteve mais de 200 resultados em cinco categorias de áreas diferentes, permitindo a concatenação de critérios e filtros utilizada. A substituição do termo “*flood*” por outros termos como “*overflow*” ou “*hydrologic extreme*” obteve trabalhos de contextos muito diferenciados e menos relacionados ao termo “*urban*”.

Os cinco conjuntos de publicações resultantes das buscas foram exportados com resumos completos de informações (títulos, lista de autores, lista de palavras-chave, resumo, instituição de pesquisa, agência financiadora, ano de publicação, etc.). Com vistas à maximização do tempo de análise do volume bibliográfico levantado, os dados indexados foram interpretados através de mapeamentos bibliométricos produzidos pelo software VOSviewer.

Dada a baixa quantidade de estudos sobre riscos e impactos em cidades brasileiras obtida neste levantamento, o que já era esperado, uma segunda etapa de meta análise foi requerida com método de pesquisa diferente. Considera-se a que a maioria das publicações sobre riscos e episódios de inundação no Brasil encontram-se em língua portuguesa, estando, portanto, em uma “zona de sombra” para ferramentas de busca em bases de dados como as empregadas na primeira etapa. Desta forma, a busca por estas publicações foi realizada a partir de uma seleção de bancos de teses/dissertações e periódicos promissores. Tal seleção se deu com etapa preliminar de sondagem de acordo com a disponibilidade de consulta digital a acervos, sendo preferidas, assim, os seguintes tipos de fonte de informação:

1- Bibliotecas de instituições nacionais com ampla produção reconhecida na temática de riscos a inundações;

2- Periódicos e anais de eventos especializados na temática de riscos a inundações e eventos extremos fluviais e de precipitação.

Especificamente, foram consultados:

Quadro 3: Repositórios e periódicos consultados para fichamento de resumos.

Repositórios	Periódicos
Teses USP	Revista Brasileira de Geomorfologia
Produção Científica e Intelectual Unicamp	Revista Brasileira de Recursos Hídricos
Institucional da UNESP	Revista do Departamento de Geografia da USP
Biblioteca Digital de Teses UFPR	Revista Geo-USP: Espaço e Tempo
Institucional UFScar	Revista Brasileira de Climatologia
Institucional UFMG	Anuário IGEO-UFRJ
Institucional UFSC	Journal of Hydrology
Institucional UFG	REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina
Institucional UFES	International Journal of Climatology
Institucional UFRGS	Natural Hazards
Publicações IPT/SP	Geomorphology
	Revista Geografia de Rio Claro
	Quaternary and Environmental Geosciences
	Revista GEO/UERJ
	Climep: Climatologia e Estudos da Paisagem
	Hydrological Processes

Nestas fontes de publicações foram utilizadas como palavras-chave de busca: Inundações, enchentes, drenagem urbana, eventos hidrológicos extremos, águas pluviais urbanas, *urban floods*, *flash floods*, *stormwater management*, *hydrological extremes*.

Dos resultados, foram coletados e fichados somente os trabalhos realizados sobre impactos e riscos de inundações, não ocasionadas por marés, em bacias urbanas de cidades do meio tropical úmido. Ao final do levantamento, foi feito fichamento de 180 estudos que atenderam aos critérios de busca, podendo ser considerado conjunto representativo para o tipo altamente específico de análise sobre fatores causais de impactos de inundações objetivo desta pesquisa.

3.3.2. Análise pluvio/fluviométrica.

Para realizar a análise das variáveis fluviométricas e pluviométricas necessárias à investigação dos eventos de inundações na área de estudo, foram obtidos dados das três estações telemétricas do Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo instaladas no córrego Morro do S. Tratam-se de estações de leitura automática e remota, parte de uma rede composta por um total de 28 estações da rede telemétrica do Alto Tietê.

Todas as estações possuem dados coletados em intervalos de 10 minutos, com uma série histórica iniciada em janeiro de 2012 até agosto de 2018 (data da solicitação junto ao SAISP).

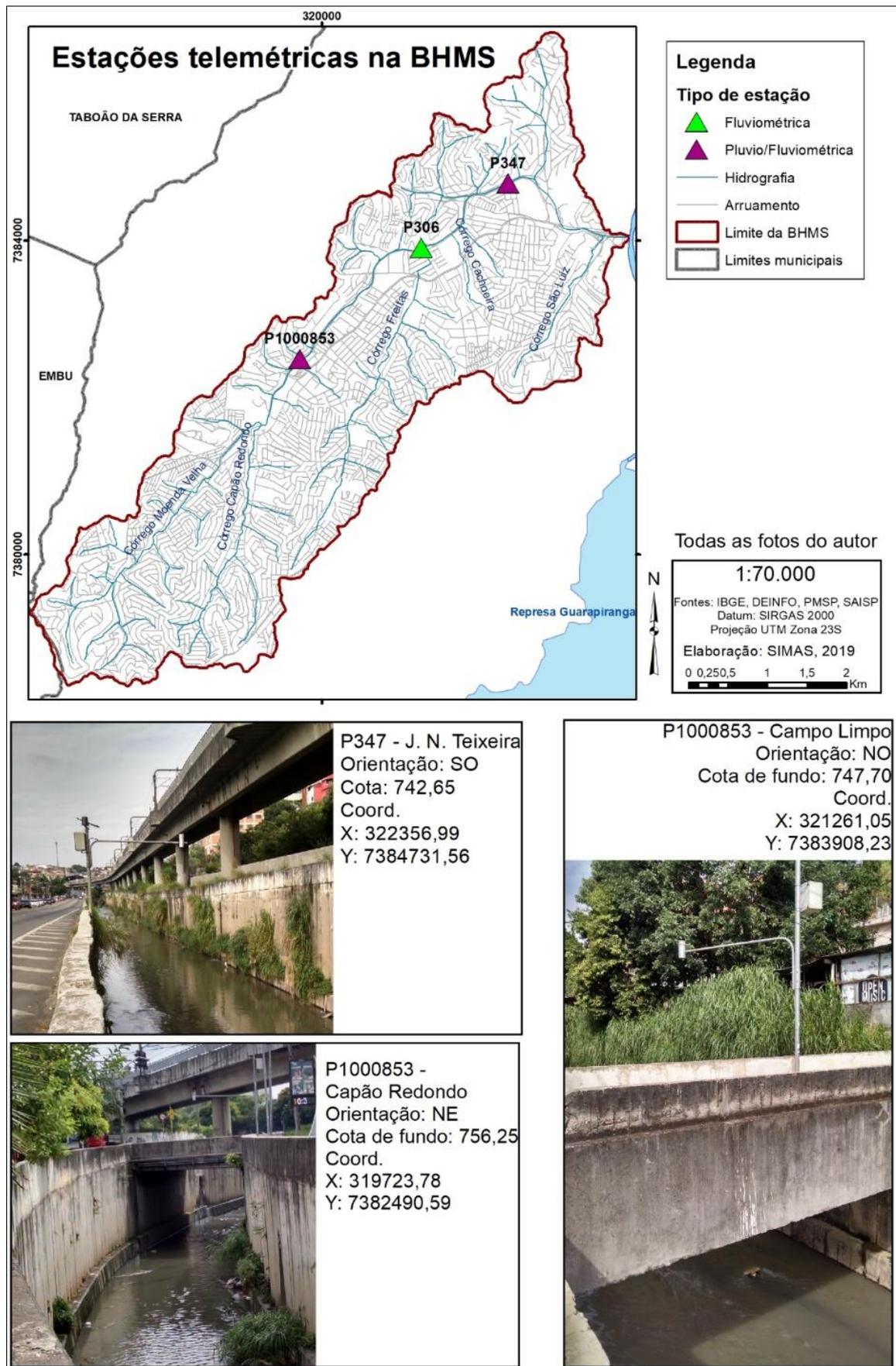
Quadro 4: Estações telemétricas na área de estudo e dados disponíveis.

Dados/Estações	P347 – Joaquim Nunes Teixeira	P306 – Campo Limpo	P1000853 – Capão Redondo
Cota	Sim	Sim	Sim
Vazão	Sim	Não	Não
Precipitação	Sim	Não	Sim

Dentre as estações, apenas a estação P347 possui leitura completa das três principais variáveis a serem empregadas na pesquisa. Por este motivo e por se localizar mais à jusante do curso que as demais, foi considerada estação-controle.

Os dados das três estações podem ser considerados como de alta qualidade para o tipo de investigação objetivada dado sua distribuição quase equidistante ao longo do curso principal da bacia (**Figura 3**). Com esta distribuição regular e pequeno intervalo entre leituras, os dados obtidos permitem, portanto, a observação de eventos com resolução temporal e espacial muito alta, capturando a dinâmica de propagação linear de matéria e energia em curtos espaços de tempo esperada para o tipo de sistema fluvial alterado analisado.

Figura 3: Localização das estações telemétricas do SAISP cujos dados foram empregados na pesquisa.



Obtidos os dados, estes foram tabulados em base de dados Access, dada a grande quantidade de entradas que tornou a sua utilização por programas de planilhas comuns como Microsoft Excel inadequada, justamente devido à necessidade futura de uso de consultas de definição (*query*) nestes conjuntos de dados. Alguns tratamentos iniciais da base incluíram:

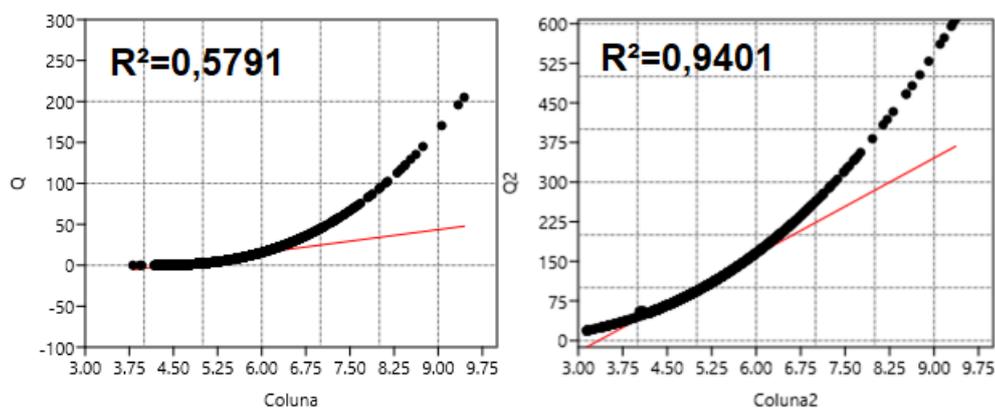
- Busca na base de dados por leituras nulas, para descartar dias que tivessem mais de ¼ de dados faltantes;

- Desintegração dos dados de pluviometria, registrados como totais acumulados (zerados às 9h local), para valores instantaneamente medidos;

- Obtenção de índices univariados, através do software Past, para cada tipo de variável de todas as estações (média, máximo, mínimo, variância, desvio padrão, percentil 99, etc.).

Através deste último tratamento citado foi identificada grande inconsistência interna quanto aos dados de cotas registradas nas estações Campo Limpo e Capão Redondo e nos dados de vazão, especialmente no caso da estação P347. Identificou-se que, a partir do ano de 2015, todas as estações tiveram mudança drástica nos índices univariados, permitindo traçar hipótese de que houve alteração na forma de referenciamento dos dados brutos transmitidos pelas estações. Isto foi confirmado por meio de contato com equipe responsável do SAISP, que informou a realização de trabalho de levantamento planialtimétrico na localidade das estações para calibração dos níveis referenciais utilizados nos registros de cotas. Isso, conseqüentemente, alterou a curva-chave na estação P347, o que também explicou a alteração nas leituras de vazão. Com esta confirmação, optou-se por fazer a consolidação entre diferentes períodos (antes e após nivelamento), a partir dos valores de “altura da coluna d’água”, subtraindo a cota lida pela estação e a cota de fundo informada pelo levantamento mais recente e confiável.

Quadro 5: Curva-chave (altura da coluna d’água x vazão) na estação P347 antes e após nivelamento.



Quadro 6: Índices univariados das variáveis hidrológicas das estações trabalhadas. P1 refere-se às leituras realizadas antes do nivelamento em 2015.

Estação P347 - Joaquim Nunes Teixeira													
Vazão (m³/s) P1													
Média	Max	Min	Desvio Pd	N	Erro Pd	Varianc	Mediana	Perc25	Perc75	Perc99	Skew	Coef Var	
0,283129	205,163	0,004	1,970983	186209	0,004567541	3,884773	0,15	0,10	0,20	2,59	4522,652	696,1442	
Vazão (m³/s) P2													
Média	Max	Min	Desvio Pd	N	Erro Pd	Varianc	Mediana	Perc25	Perc75	Perc99	Skew	Coef Var	
56,21266	607,812	18,871	9,762662	163067	0,02417604	95,30957	55,04	53,96	56,27	88,34	585,6519	17,36737	
Cota (m)													
Média	Max	Min	Desvio Pd	N	Erro Pd	Varianc	Mediana	Perc25	Perc75	Perc99	Skew	Coef Var	
737,34	742,44	736,15	0,1749623	350044	0,000295722	0,03061182	737,31	737,25	737,40	737,97	-363,458	0,023729	
Estação 306 – Campo Limpo													
Nível (m) P1													
Média	Max	Min	Desvio Pd	N	Erro Pd	Varianc	Mediana	Perc25	Perc75	Perc99	Skew	Coef Var	
3,587933	7,557	3,114	0,1651539	165035	0,000406538	0,0272758	3,631	3,603	3,652	3,933	58,28631	4,603036	
Cota (m) P2													
Média	Max	Min	Desvio Pd	N	Erro Pd	Varianc	Mediana	Perc25	Perc75	Perc99	Skew	Coef Var	
741,451	744,97	741,292	0,1061535	185058	0,000246763	0,01126856	741,438	741,422	741,454	741,8524	-3494,15	0,014317	
Estação 1000853 – Capão Redondo													
Nível (m) P1													
Média	Max	Min	Desvio Pd	N	Erro Pd	Varianc	Mediana	Perc25	Perc75	Perc99	Skew	Coef Var	
3,126948	6,28	3	0,1002002	169718	0,000243223	0,01004007	3,11	3,09	3,13	3,508	-238,511	3,204407	
Cota (m) P2													
Média	Max	Min	Desvio Pd	N	Erro Pd	Varianc	Mediana	Perc25	Perc75	Perc99	Skew	Coef Var	
750,9124	753,54	750,79	0,8988425	184292	0,000209378	0,008079179	750,9	750,88	750,92	751,281	-879,831	0,01197	

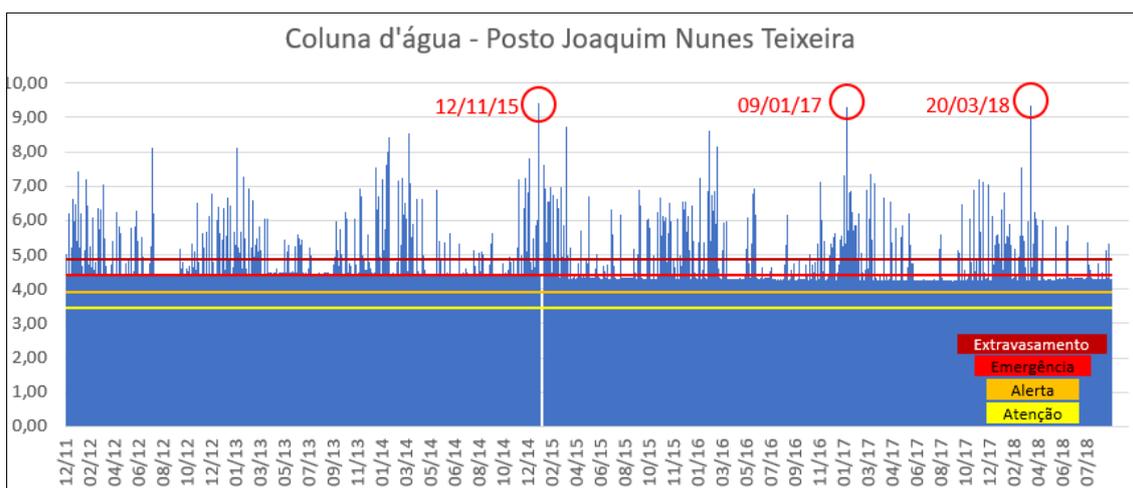
A partir da consolidação dos dados fluviométricos e pluviométricos, a busca por registros de eventos de inundações nas séries foi feita considerando-se os limiares de cotas (e altura de coluna d'água calculada) de Atenção, Alerta, Emergência e Extravasamento definidas pelo SAISP para cada estação.

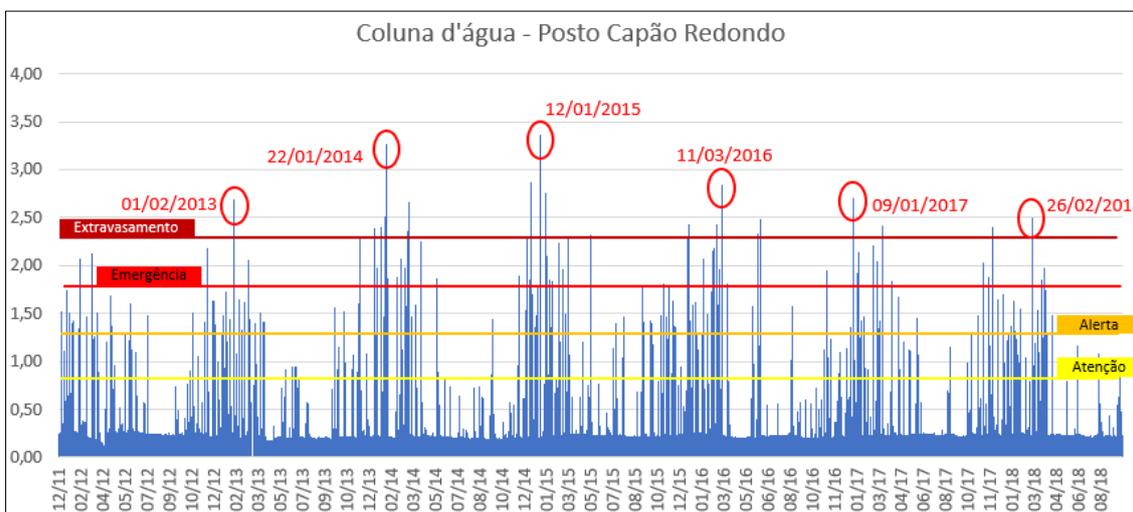
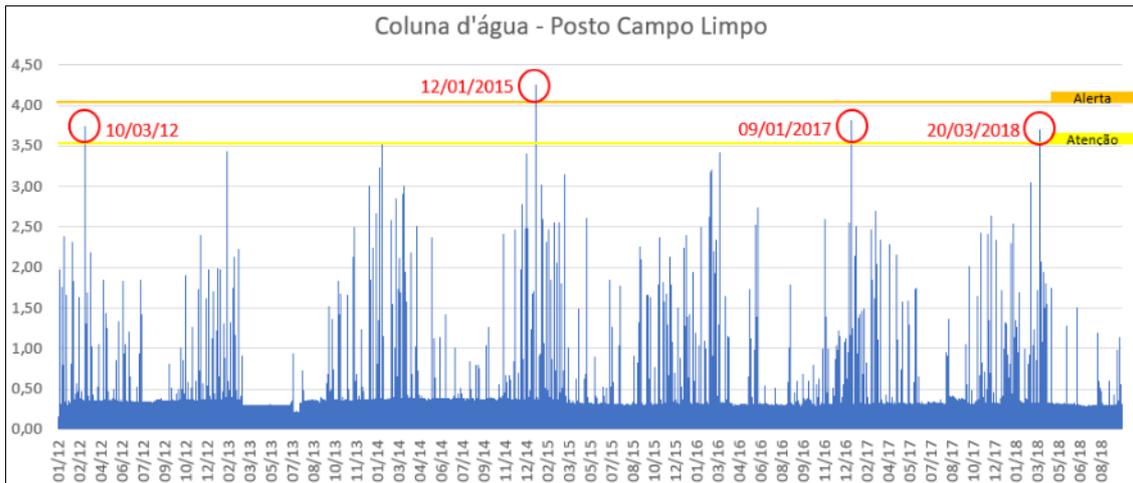
Quadro 7: Cotas limiares do SAISP e altura de coluna d'água calculadas para as estações trabalhadas.

Estação/Cota	Fundo	Atenção	Alerta	Emergência	Extravasamento
P347	733,00 (0,00)	736,38 (3,38)	736,88 (3,88)	737,38 (4,38)	737,88 (4,88)
P306	741,25 (0,00)	744,80 (3,55)	745,30 (4,05)	745,80 (4,55)	746,30 (5,05)
P1000853	750,70 (0,00)	751,50 (0,80)	752,00 (1,30)	752,50 (1,80)	753,00 (2,30)

Com estes valores, foram buscadas nas séries de dados as sequencias de leituras que atingiram tais limiares, para as três estações. Notou-se concentração destes eventos no ano de 2015 e na temporada chuvosa entre novembro de 2017 e março de 2018. Este último recorte temporal, por configurar um tempo mais extenso com registro de diferentes eventos que superaram os limiares, foi então selecionado para a análise detalhada dos eventos de inundação. Para seleção deste período mais interessante, soma-se também o fato de ser o mesmo período de obtenção dos dados altimétricos (MDS) e ortofotos, fator altamente relevante para etapa subsequente de estimativa de manchas de inundação e identificação de áreas atingidas.

Figura 4: Eventos de inundações evidenciados nas séries históricas.





Após análise mais detalhada, na escala de eventos individualizados, o tipo rígido de divisão entre os limiares de alertas (sempre de meio em meio metro) e aparente inconsistência entre as diferenças de alturas encontradas em comparação com os dados de levantamento LIDAR disponíveis, motivaram trabalho de campo. Este teve como objetivo a obtenção das medidas do canal artificial do córrego Morro do S onde estão localizadas as estações telemétricas. As medidas foram tomadas utilizando trena laser LEICA Disto D2. Foram mensurados: largura do canal, altura da mureta de contenção (*guard rail*), nível no dia e hora, altura da mureta ao nível, diferença de altura entre margens direita e esquerda.

Com a conferência em campo e através dos levantamentos de LIDAR, foi possível confirmar as cotas atingidas por eventos de efetivo extravasamento do canal nos pontos onde estão as estações telemétricas. Com a busca por estes valores e seleção de dias com os maiores valores de precipitação acumulada, foram identificados oito eventos

a serem investigados ao longo da temporada 2017/2018: 04, 18 e 27 de novembro, e 08 de dezembro de 2017; 26 de fevereiro, 20, 24 e 30 de março de 2018.

Com o objetivo de realizar a interpolação de dados geoespaciais de chuva pela krigagem e observar tendências de distribuição espacial da precipitação nestes dias de eventos identificados, foram coletados dados de precipitação diária em estações também de fora da bacia. A seleção foi feita através da criação de polígonos de Thiessen com toda a rede de monitoramento do CEMADEN, sendo constatado que a área de estudo recebia recobrimento pelas estações: Parque Morumbi, Pirajussara, Jardim Eledy, Jardim São Luís e Jardim Ângela. Os dados dessas cinco estações foram então tabulados e organizados, mas somente para o período da temporada chuvosa de interesse, não para a totalidade de suas séries históricas. Isto, pois, seus intervalos de coleta não possuem a mesma resolução das estações intra bacia e não contribuiriam com o maior detalhamento das chuvas instantaneamente medidas, sendo úteis apenas para observação de totais acumulados em dias com eventos já identificados.

Informações mais descritivas sobre os episódios foram obtidas em relatórios publicados pelo SAISP e por meio de levantamento de ocorrências registradas pela CET/CGESP (registro de locais com interdição do tráfego de veículos total e parcial). Esta etapa permitiu evidenciar que os dias 24 e 30 de março na realidade não caracterizaram inundações. No entanto, os dados desses dois dias foram mantidos na análise justamente para permitir a comparação de dias com precipitação classificada como intensa, mas que não registraram inundações.

Por fim, foi realizada simulação das manchas de inundação produzidas por alguns eventos mais intensos identificados, mostrando sua progressão (área atingida e profundidade) de 10 em 10 minutos. Isso foi realizado com o cálculo da diferença de superfície do MDS da bacia com as cotas registradas pelas estações fluviométricas (interpoladas em forma de TIN). As áreas identificadas como “abaixo” do nível d’água projetado foram filtradas de acordo com a sua articulação imediata com o canal principal, isso é, áreas não conectadas diretamente (interceptadas por edificações, cortes no terreno, vegetação, etc.) foram removidas.

3.3.3. Análise hidrogeomorfológica.

O mapeamento da morfologia original da planície fluvial da bacia hidrográfica do Morro do S foi realizado com o objetivo de identificar os limites das planícies fluviais e seus diferentes compartimentos, de forma que estes conteúdos fossem utilizados como limites físicos para tipos específicos de processos e tendências hidrodinâmicas.

A produção de dados primários foi conduzida a partir da consideração parcial da metodologia desenvolvida por Rodrigues (1999, 2004, 2005, 2010) para avaliação das mudanças em sistemas geomorfológicos fluviais, decorrentes da ação antrópica. Esta metodologia requer, entre outras análises (histórica, fluvial, de geoindicadores) o desenvolvimento de análises retrospectivas do sistema hidrogeomorfológico focado por meio cartográfico, voltada às suas condições pré-urbanas. Estas análises são realizadas com dados obtidos em fotografias aéreas, imagens de satélite, mapas de uso e ocupação do solo, ou fontes históricas.

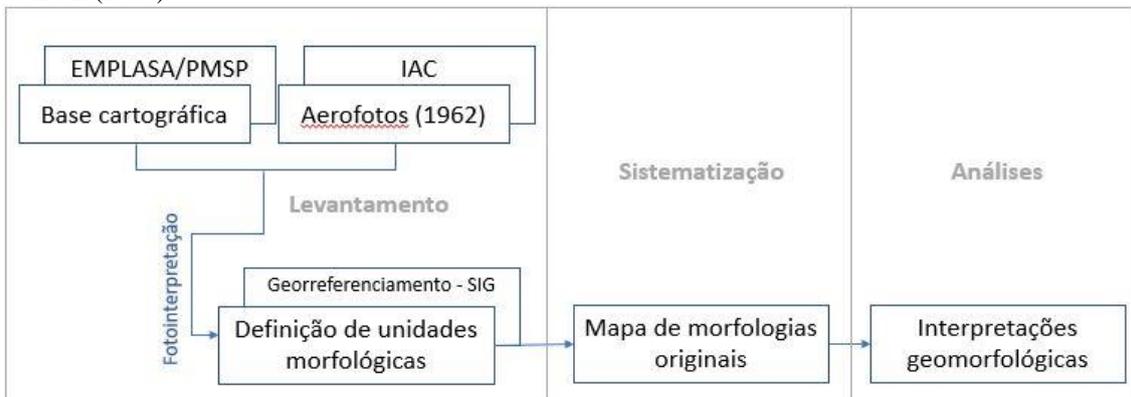
O mapeamento nesta pesquisa foi especificamente direcionado à identificação dos compartimentos da planície fluvial: planície de inundação, terraços (níveis baixos, altos e antrópicos), e *backswamps* (bacias de decantação), para efeito de uma primeira leitura de tendências espaciais. Os produtos vetoriais e georreferenciados desta restituição serviram à delimitação dos setores da bacia onde o fenômeno de interesse deveria ser observado e outras análises baseadas em geoprocessamento deveriam ser concentradas, como a modelagem de edificações (considerada uma morfologia antrópica). Informações morfométricas e morfológicas, também úteis às leituras de processos geomorfológicos, como morfologia de vales, curvatura de setores de vertente, etc, não foram consideradas visando obtenção dos parâmetros que seriam diretamente aproveitados nas etapas de modelagem subsequentes da pesquisa.

Para a primeira etapa, adotou-se escala 1:25.000, compatível com a escala das fotografias aéreas antigas representativas do período pré-urbano da área de enfoque, sobre a qual foi realizada restituição estereoscópica. A fotointerpretação foi realizada de forma analógica, com estereoscópio de bolso. Os pares estereoscópicos de aerofotos utilizados são do levantamento aerofotográfico do Estado de São Paulo de 1962, executado por Aerofoto Natividade S/A sob contrato do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), obtidas no Acervo de Fotografias Aéreas (AFA) do Departamento de Geografia da USP. Foram empregadas bases cartográficas da Emplasa (Ortofotos do Projeto Mapeia São

Paulo de 2010 e base topográfica) e da Prefeitura de São Paulo (MDEs produzidos por LIDAR e ortofotos de 2018). A restituição baseou-se em conteúdos já interpretados e limites de compartimentos já definidos para a área realizados no mapeamento de planícies fluviais da Bacia do Alto Tietê (RODRIGUES et al, inédito).

O georreferenciamento dos overlays (produtos da restituição estereoscópica) foi realizado através de pontos notáveis identificados tanto nas aerofotos antigas quanto nas bases cartográficas atuais. Para máxima manutenção da precisão da informação gerada, foi aceito um erro quadrático acumulado de até 3.0 para cada overlay georreferenciado, sobre os quais as informações foram então vetorizadas.

Quadro 8: Procedimentos do mapeamento da morfologia original por estereoscopia analógica. Adaptado de LUZ (2014).



Destaca-se que uma faixa de voo inteira não foi localizada para a mesma data. O mesmo local, da metade à jusante da bacia, não pôde ser encontrado em condição mais próxima do estágio pré-urbano em nenhum outro aerofotolevantamento disponível. Desta forma, não foi possível realizar a restituição estereoscópica da área pelo método anteriormente descrito.

Uma vez encontrado este limite, imposto pela indisponibilidade de material fonte, já reconhecido em outros trabalhos que aplicaram a mesma metodologia, para complemento do mapeamento de morfologias originais da planície fluvial foi desenvolvido modelo de análise espacial. Tal modelo busca aproveitar os conteúdos e capacidades interpretativas da técnica clássica sobre bases de dados atuais de alta resolução, apropriando-se das capacidades de processamento de dados espaciais de ambiente SIG. Teve como objetivo identificar a progressão do limite da planície fluvial (e posteriormente seus compartimentos) para a área sem fotos do período pré-urbano a partir de padrões altimétricos encontrados em perfis fluviais dos trechos restituídos por estereoscopia com canal não artificializado. A referência altimétrica utilizada para este

processamento foi o MDT, gerado a partir de LIDAR reclassificado (sem edificações, vegetação, etc.), considerada a superfície mais próxima à original passível de simulação.

Foram traçados perfis fluviais em segmentos com as características citadas com isodistância, medida ao longo da linha de talvegue, sendo obtido um total de 30 perfis do limite esquerdo da planície fluvial ao limite direito. Os valores de extensão dos perfis e gradiente altimétrico (diferença do limite de planície ao talvegue) encontrado foram analisados através de rotina de geoprocessamento que projetou cotas limite de planície fluvial ao longo do canal principal, e tributários de maior ordem, identificando as superfícies inferiores a esta projeção topográfica. A identificação de terraços dentro do limite de planície fluvial, identificada por este modelo, foi realizada considerando os limites altimétricos dentre estes e a planície de inundação, presentes nos perfis fluviais traçados em trechos com terraços identificados na restituição por estereoscopia (SIMAS et al, 2021).

A validação do modelo espacial foi realizada com processamento reverso, isso é: foram traçados perfis entre o limite esquerdo da planície fluvial modelada e o limite direito, capturando o perfil de progressão à jusante da extensão deste perfil e gradiente altimétrico existente entre as bordas da planície e o talvegue. Para fins desta validação, foram assumidos os limites da planície fluvial delimitados por estereoscopia como os limites reais a serem encontrados pelo modelo. Considerou-se ainda que não seria possível obter uma correspondência 100% precisa, uma vez que os perfis traçados na área modelada apresentam a topografia do canal principal artificializado no MDS de referência.

3.3.4. Análise da impermeabilização e conectividade.

Para acessar a variável da impermeabilização da superfície da bacia e sua participação relativa para a efetivação de um evento de inundação, foi aplicada a generalização de *Curve Number* (CN, conforme proposta original do *Natural Resources Conservation Service*, 1985). Desta forma, os diferentes tipos de uso do solo predominante foram agrupados e atribuídos valores que representariam sua capacidade de geração de runoff, em um índice de 0,00 a 1,00. Naturalmente, nem todas as classes definidas pelo mapeamento base empregado (Emplasa) possui correspondência exata na planilha de correspondência empírica da proposta do CN. Portanto, foram feitas

reclassificações, com base nas características visuais desta superfície nestas áreas (a partir das ortofotos de 2018), que essencialmente refletiram o resultado do tamanho dos lotes construídos, a proporcionalidade das áreas permeáveis no interior dos mesmos e o padrão construtivo. Com isso, o valor de CN foi atribuído a cada classe de uso do solo predominante de acordo com o quadro:

Quadro 9: Valores de CN atribuídos a cada classe de uso do solo predominante.

Uso Predominante	CN correspondente
Parques	0.35
Terrenos Vagos	0.65
Sem predominância	
Equipamentos Públicos	0.7
Escolas	
Resid. horiz. médio/alto padrão	
Resid. vertical médio/alto padrão	
Residencial e Comércio/serviços	
Sem informação	
Comércio e serviços	0.9
Comércio/serviços e Ind./armazéns	
Indústria e armazéns	
Resid. horiz. baixo padrão	
Residencial e indústria/armazéns	
Residencial vertical baixo padrão	0.95
Asfalto	

Ressalta-se que os valores de CN representam uma generalização que visa ponderar, de forma quantitativa e indexada, o potencial de geração de runoff das diferentes parcelas da superfície da bacia. Para os fins da pesquisa, é reconhecido que o runoff se trata de termo mais amplo e genérico do que outros comumente utilizado em geomorfologia para tratar dos aspectos reológicos da mecânica de fluídos e processos de vertentes, mas, é entendido como suficiente para os fins de criar modelo generalizado de produção de escoamento pela cobertura do solo na planície fluvial.

Os valores resultantes, no formato *raster*, foram processados junto dos dados interpolados de chuva normalizada produzidos para cada um dos 8 eventos analisados. Na prática, os valores no *raster* com valores normalizados de precipitação incidente em cada evento (valores de 0,00 a 1,00) foram multiplicados pelo valor de CN contido em cada célula do *raster* que representa a superfície que recebeu a precipitação. O resultado deste processamento é, para cada evento chuvoso, um *raster* cujo histograma apresentará um valor de média que representará o quanto a chuva foi mais ou menos concentrada

sobre áreas altamente impermeabilizadas. Este índice permitiria, portanto, ponderar sobre a participação da variável impermeabilização (no cenário presente) na ocorrência de uma inundação, sem ignorar a heterogeneidade da distribuição das chuvas entre distintos eventos. Ressalta-se que não é objetivo deste estudo apropriar-se do *curve number* para análises quantitativas como obtenção de valores absolutos na relação precipitação-runoff-vação, uma vez que é reconhecida a limitação deste índice para áreas urbanizadas, cujo layout (formas complexas) e variações de menor escala na tipologia da cobertura do solo não são acessadas pelo CN (CLARO, 2013, VENEZIANI, 2014, SIMAS, 2017, REDFERN & MCDONALD, 2022).

Para além disso, baseado no que foi realizado por Redfern (2020), para uma bacia com alta taxa de impermeabilização, que pudemos identificar por quase toda sua superfície, um dos indicadores que permitiria acessar as descontinuidades na resposta hidrológica do sistema alterado é o índice de conectividade. Este pode ser definido como a distância em superfície de cada unidade de área impermeabilizada até a drenagem mais próxima, criando um mapa de calor com unidade métrica.

O mapeamento de conectividade da superfície foi realizado para os cenários original e antrópico. No primeiro caso, foi calculada a distância até os vetores da rede de drenagem disponível, uma vez que não houve restituição da hidrografia original da área e, mesmo se houvesse, a diferença máxima encontrada estaria na ordem de dezenas de metros. Já para o cenário antrópico, foram incluídos os vetores da rede coletora de esgoto, uma vez que não há disponibilidade de dados georreferenciados sistematizados da rede de galerias pluviais. Entende-se que este dado é adequado, dada a reconhecida alta incidência de interceptações entre as redes de esgoto e de águas pluviais, o que satisfaz, portanto, a necessidade de considerar as estruturas transportadoras de água gravitacional artificialmente introduzidas.

O mapa resultante para o cenário antrópico foi subtraído do mapa do cenário original, representando assim as áreas onde a introdução de estrutura de drenagem artificial criou o maior aumento de conectividade. O resultado, mapa de incremento em conectividade, teve seus valores normalizados a partir do máximo encontrado, para que apresentasse valores até 100%. O mesmo procedimento de normalização foi aplicado aos rasters de precipitação total interpolada para cada evento de chuva registrado em dias com inundações constatadas. Assim, foi possível criar um índice que representa a

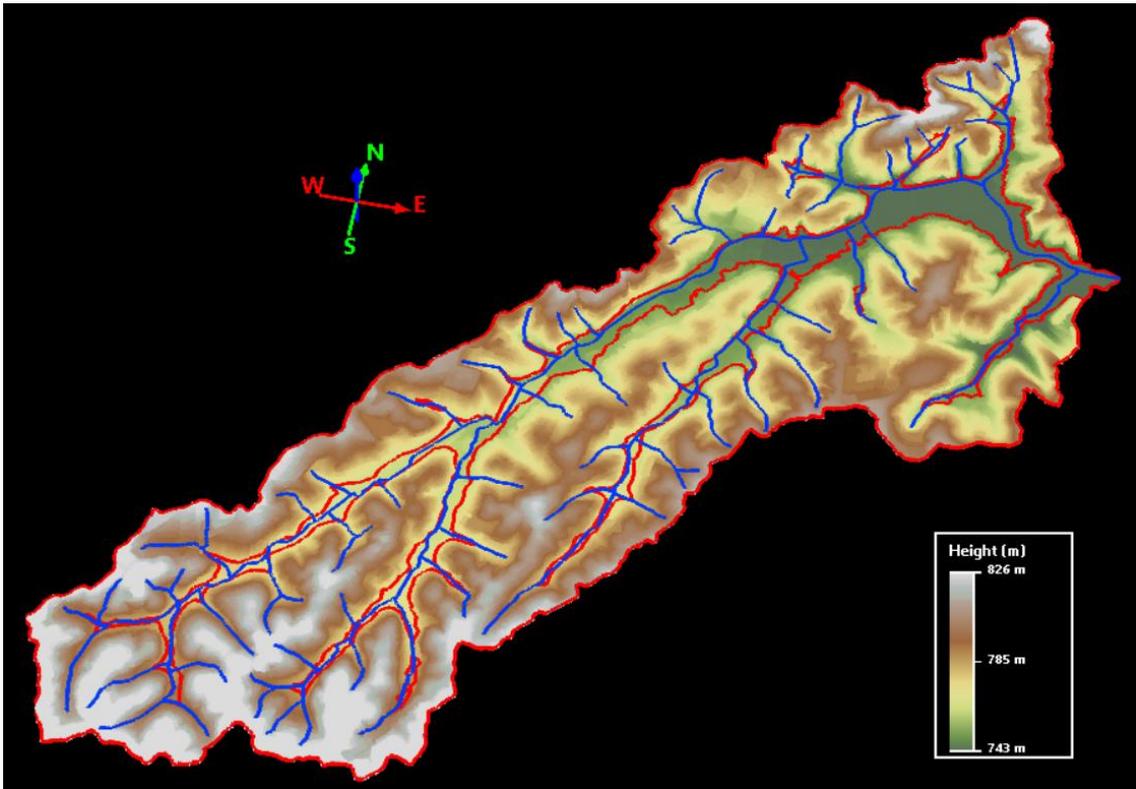
concentração das chuvas sobre superfícies que tiveram incremento artificial na conectividade e, portanto, tenderiam não apenas à produção de maiores volumes de runoff como também ao direcionamento acelerado deste fluxo com alta eficiência.

3.3.5. Modelagem de Terreno.

3.3.5.1. Processamento do Modelo Digital de Terreno.

Com uso dos softwares ArcGIS Pro e QuickTerrain Modeler, os blocos de dados Lidar que recobrem a bacia amostral foram consolidados em um único dataset, e posteriormente filtrados os pontos classificados como “*ground*”. Esta classificação é parte integrante do conjunto de dados original, conforme elaborado pelas empresas consorciadas que forneceram o produto à Prefeitura de São Paulo, tendo passado por rotinas de controle e garantia de qualidade (QA/QC). Assim, o uso deste dado é possível para toda a extensão do município, não apenas para a bacia amostral. Os pontos de lidar filtrados foram utilizados para criação de MDT em formato raster (matricial) originalmente com 0,12m de resolução, igual às ortofotos do ano de referência 2018. No entanto, dado o tamanho da camada raster resultante, e indisponibilidade de poder computacional para empregar esta escala, o raster foi reamostrado para 1m de resolução (X, Y). Dada a abundância de pontos e sua precisão na coordenada Z, que não é degradada pelo procedimento, pode-se afirmar que o MDT resultante é adequado para as análises subsequentemente desenvolvidas.

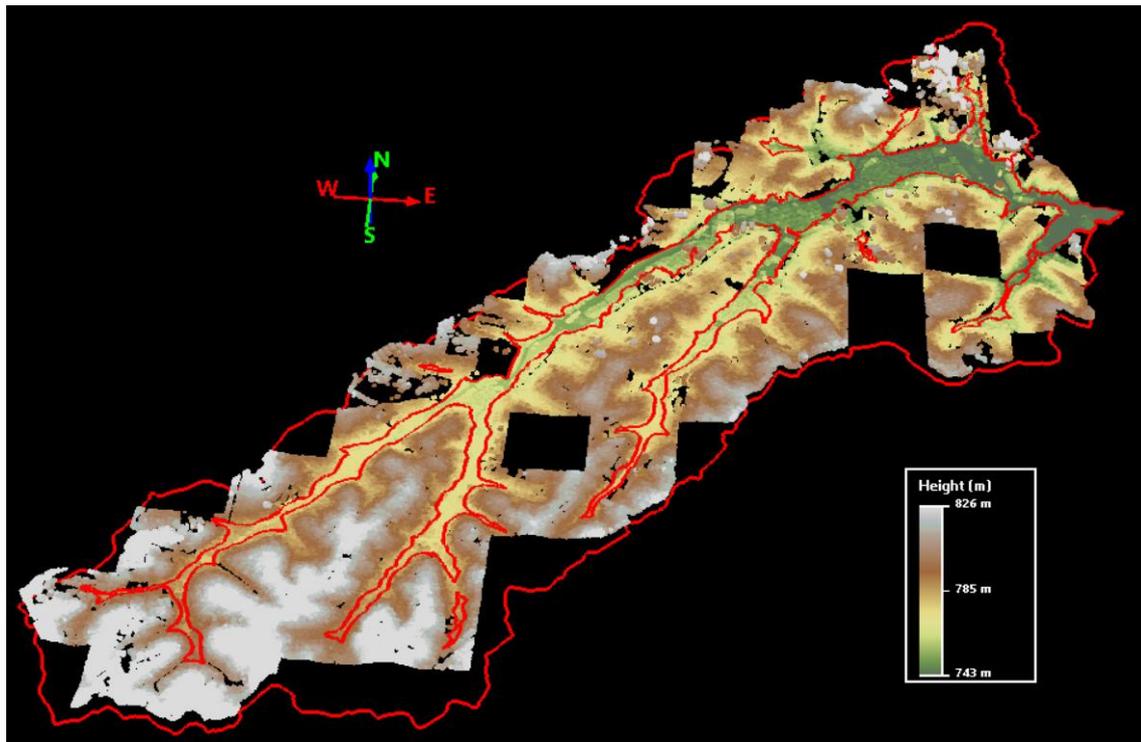
Figura 5: Modelo Digital de Terreno, apenas pontos “ground”, reamostrado para 1 metro.



3.3.5.2. Processamento do Modelo Digital de Superfície.

Os blocos de Lidar que recobrem apenas a área delimitada da planície fluvial original da bacia amostral foram filtrados para representação exclusiva dos pontos classificados como “Building”. A exclusão de blocos que estivessem totalmente fora da planície fluvial foi feita para viabilizar o processamento dos dados Lidar, uma vez que os pontos são hiperabundantes na escala de detalhe em que estão disponíveis.

Figura 6: Blocos de Lidar (MDS) que intersectam a Planície Fluvial.



Desta forma, foram desconsiderados os elementos classificados como: “Pontes”, “Linhas de Transmissão”, “Viadutos” e “Vegetação”. Assim, apenas construções não suspensas puderam ser isoladas para compor as cenas tridimensionais que seriam utilizadas nas simulações para estimativas volumétricas. Destaca-se que estas construções são entendidas pelo modelo de terreno como objetos sólidos e sem permeabilidade (não é considerada a parte interna das edificações).

Figura 7: Blocos de Lidar filtrados para representar apenas edificações (buildings).

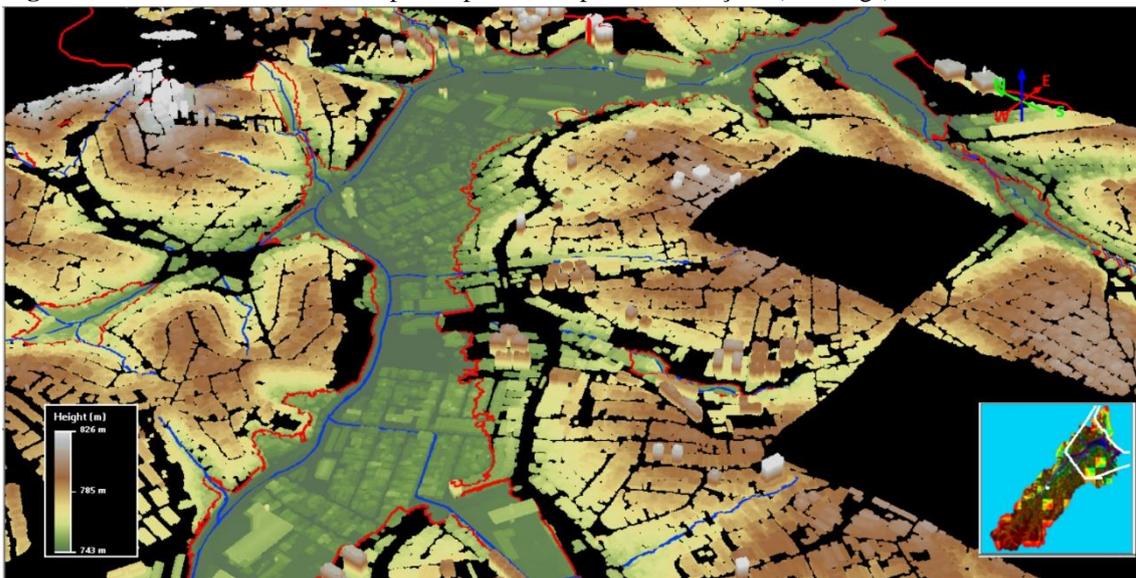


Figura 8: Perspectiva à jusante da Planície Fluvial, com superfície modelada e elevação de edificações isoladas.

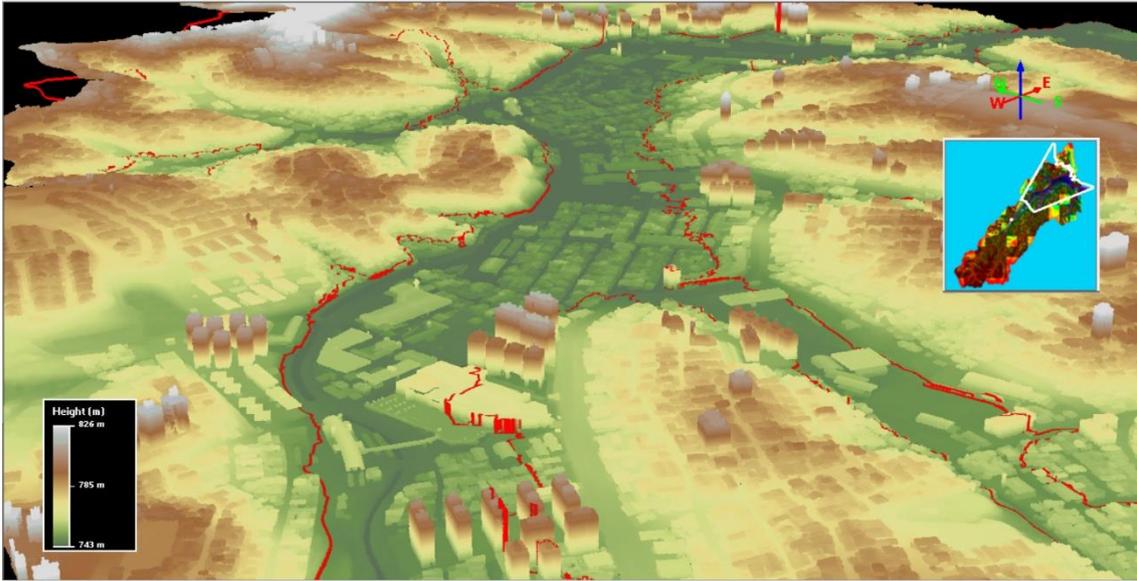
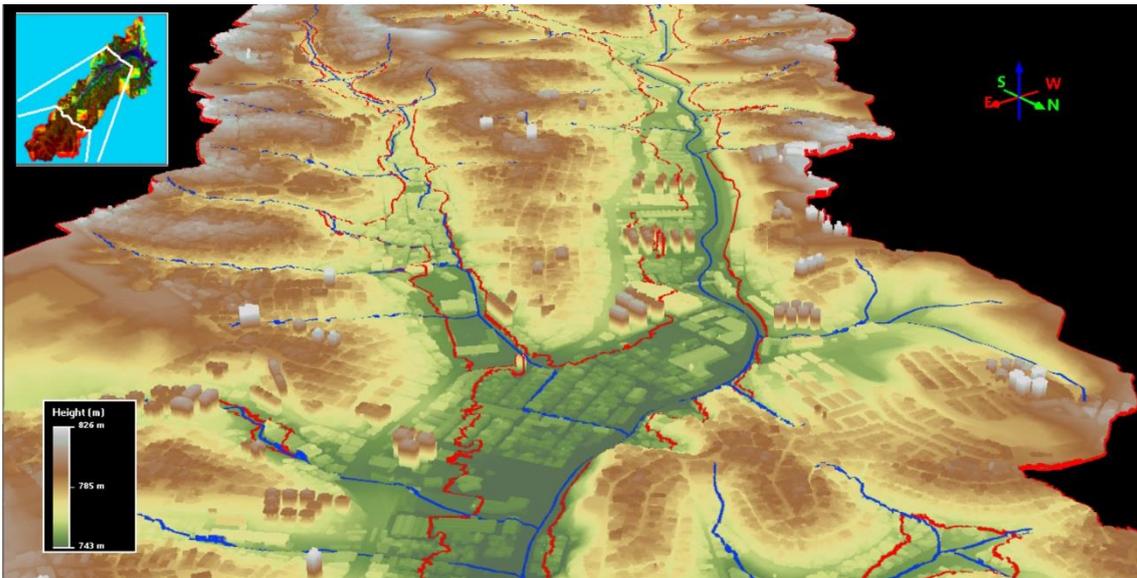


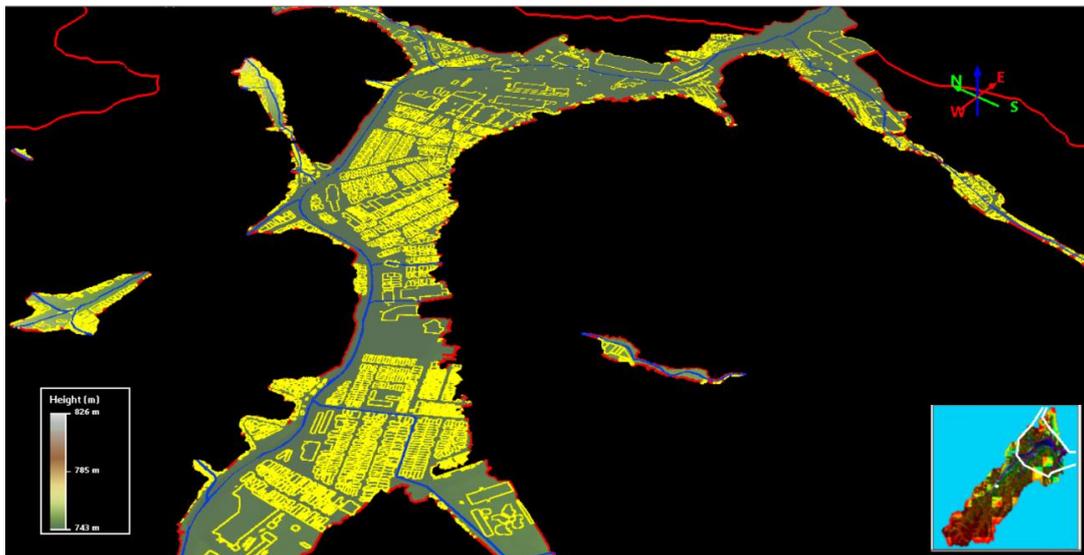
Figura 9: Perspectiva à montante da Planície Fluvial, com superfície modelada e elevação de construções isoladas.



A partir disso, foram obtidas as pegadas (*footprints*) de cada edificação filtrada do MDS na etapa anterior. Esta etapa se fez necessária para segmentação de edificações que estão apenas parcialmente contidas nos limites da planície fluvial, bem como para atribuição dos valores de área e elevação a uma camada de feições vetoriais, passível de ser convertida em tabela. A delimitação das pegadas foi gerada automaticamente, através da conversão de raster (de GSD 12cm) para polígonos, e revisada manualmente com ferramentas de edição do software ArcMap10.5, sobre as ortofotos de 0,12m de resolução.

A partir desta etapa, foi possível obter o valor volumétrico total das edificações presentes na Planície Fluvial da bacia estudada.

Figura 10: Obtenção dos *footprints* das edificações contidas, total ou parcialmente, na Planície Fluvial.



3.3.5.3. Estimativas volumétricas – perda de capacidade de estocagem.

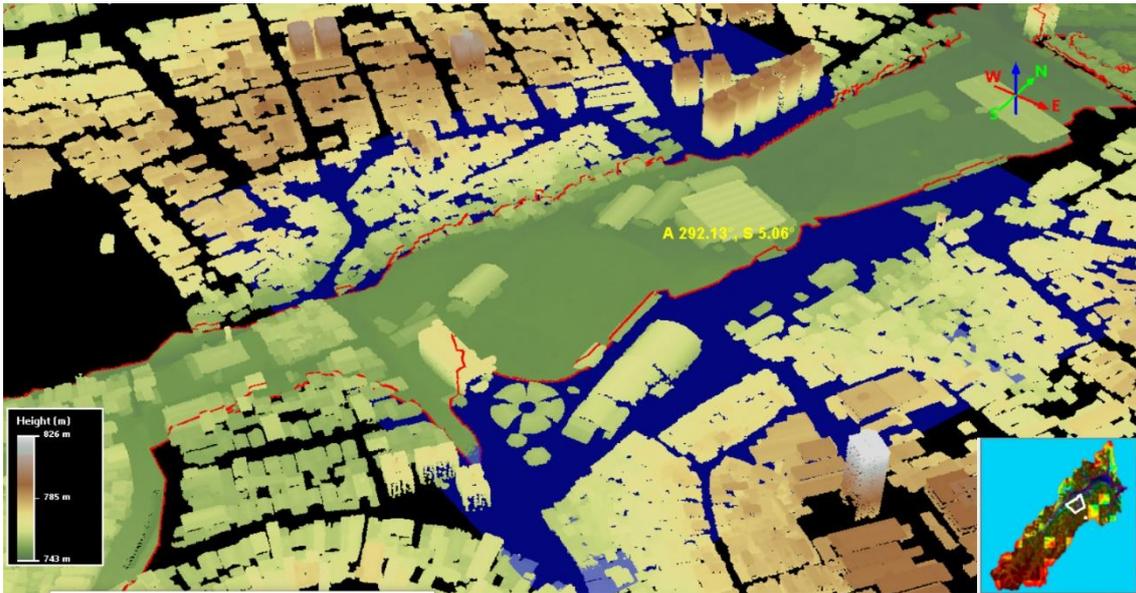
Foram utilizadas as ferramentas de análise volumétrica do software QuickTerrain Modeller 820 para obtenção de dois tipos de dados: 1- O volume total de água que seria comportado dentro da Planície Fluvial, considerando uma inundação hipotética, que preenchesse totalmente sua forma ao mesmo tempo; 2- O volume total de capacidade de estocagem perdido com a presença das edificações na Planície Fluvial, para inundações hipotéticas, com coluna d'água de igual altura sobre toda a superfície da planície.

Figura 11: Exemplo de superfície de referência de inundação projetada para cálculo volumétrico sob porção correspondente a um bloco Lidar.



Para a primeira estimativa, foi criada uma superfície de inundação hipotética, que possuísse área igual a cada bloco Lidar, que teve de ser processado individualmente, e declividade definida pelo ponto mais alto no limite à montante do bloco e o ponto mais baixo no limite à jusante do bloco. A altura desta superfície de inundação foi definida pela cota altimétrica média identificada ao longo dos limites da planície fluvial contida no bloco processado. Esta superfície foi então utilizada como referência para obter o volume total de preenchimento sobre o MDT (camada que contém apenas as feições de terreno) extraído por máscara para a planície. Desta forma, foi evitado que fossem calculados volumes de áreas não pertencentes aos compartimentos da planície fluvial. A partir deste procedimento, foi também identificado que o nível máximo necessário para o completo preenchimento da planície fluvial em qualquer trecho da bacia seria de 6,5 metros acima do nível de margens plenas do canal principal.

Figura 12: Exemplo da superfície de referência com adição das edificações.



Para a segunda estimativa, o processo de obtenção da declividade e área da superfície de referência foi idêntico. A altura da superfície de referência da inundação hipotética, no entanto, foi definida de meio em meio metro a partir da cota de extravasamento do canal principal presente no bloco processado. Ou seja, foram obtidas estimativas de volume total de edificações comparada à referência de superfícies de inundação com 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6 e 6,5 metros acima da cota de margens plenas. O limiar de 6,5 metros foi adotado de acordo com o identificado na primeira estimativa volumétrica descrita.

Figura 13: Nível da água ainda contido no canal artificial.



Figura 14: Exemplo de preenchimento da PF com extravasamento de 3 metros.



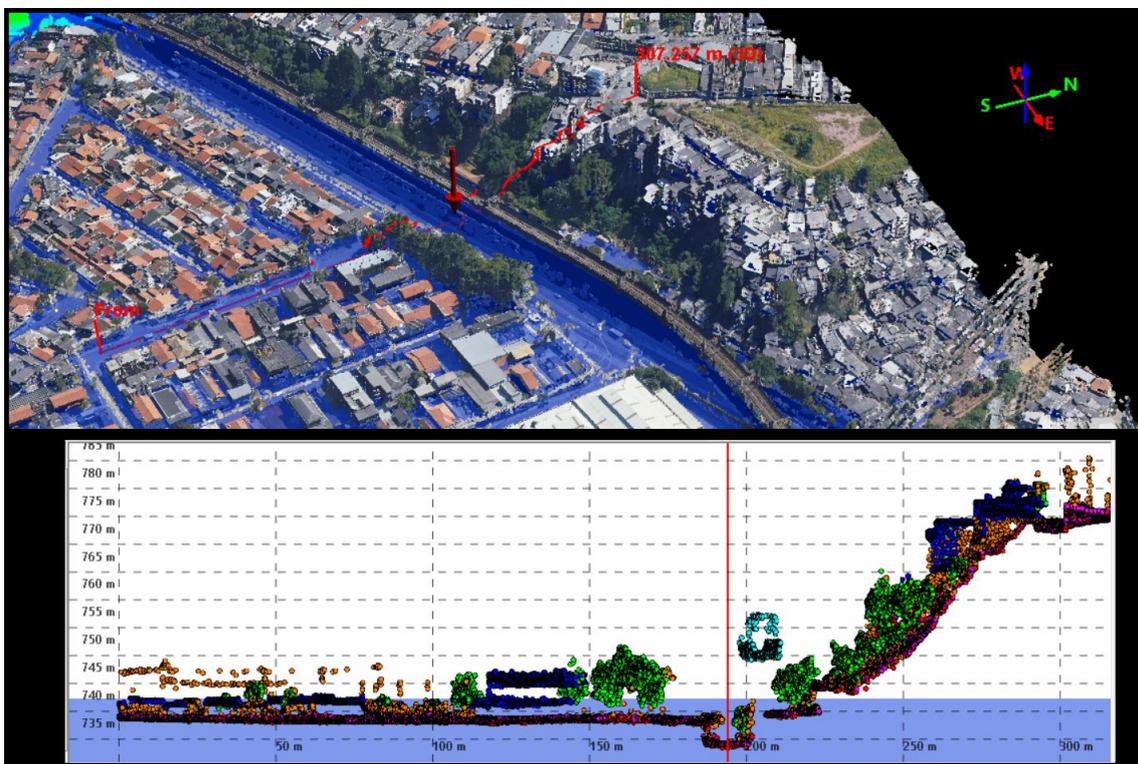
Figura 15: Exemplo de extravasamento de 6,5 metros, completo preenchimento da planície fluvial.



Para fins de valoração, os volumes de estocagem foram convertidos a partir de preços presentes em editais publicados pelo governo do Estado de São Paulo para construções de estruturas de reservação na região metropolitana de São Paulo. Os valores

foram convertidos em dólares americanos à data de publicação dos editais para minimizar o efeito de inflação na comparação de valores. Assim, o preço de cada m³ de água armazenado em uma estrutura artificial corresponde a US\$205,83, o que foi assumido como o valor do serviço ambiental prestado pela planície fluvial enquanto estrutura natural de armazenamento e amortecimento de cheias. Destaca-se que este preço compreende apenas os custos de engenharia e não inclui, por exemplo, custos com desapropriações nas áreas interferentes com a estrutura de reservação artificial a ser construída.

Figura 16: Exemplo de perfil de inundação gerada para estimativa de volume de estocagem perdido na Planície Fluvial (são considerados apenas os objetos “buildings” representados por pontos laranja).



3.3.6. Modelagem Hidráulica.

3.3.6.1. Estimativas de Vazão.

Reconhecida a inadequação dos valores de vazão apresentados pela estação P347 durante os eventos em que ocorreu extravasamento do canal artificial, foi elaborada etapa para obtenção destes valores por modelagem. Foi utilizada a delimitação da planície fluvial (feita por estereoscopia e complementada por modelo espacial) como o limite de seção sobre a qual o fluxo deveria ser modelado. Foram obtidas 9 seções transversais da planície fluvial, com equidistância de 500 metros ao longo do canal artificial do córrego Morro do S, entre a estação fluvial mais à montante da bacia (Capão Redondo e a mais à jusante, P347). Estas seções compuseram o parâmetro de geometria no software para modelagem hidrológica HEC-RAS 6.1.

Figura 17: Localização das seções transversais criadas.

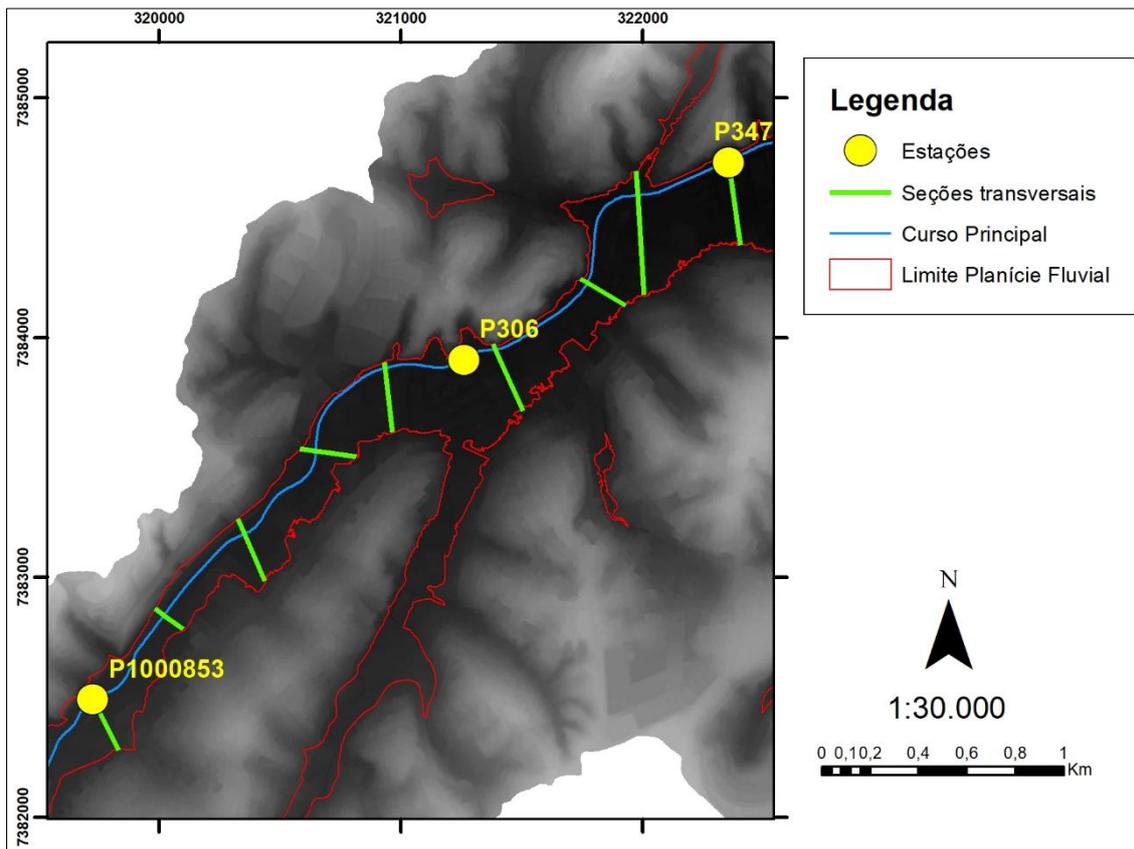
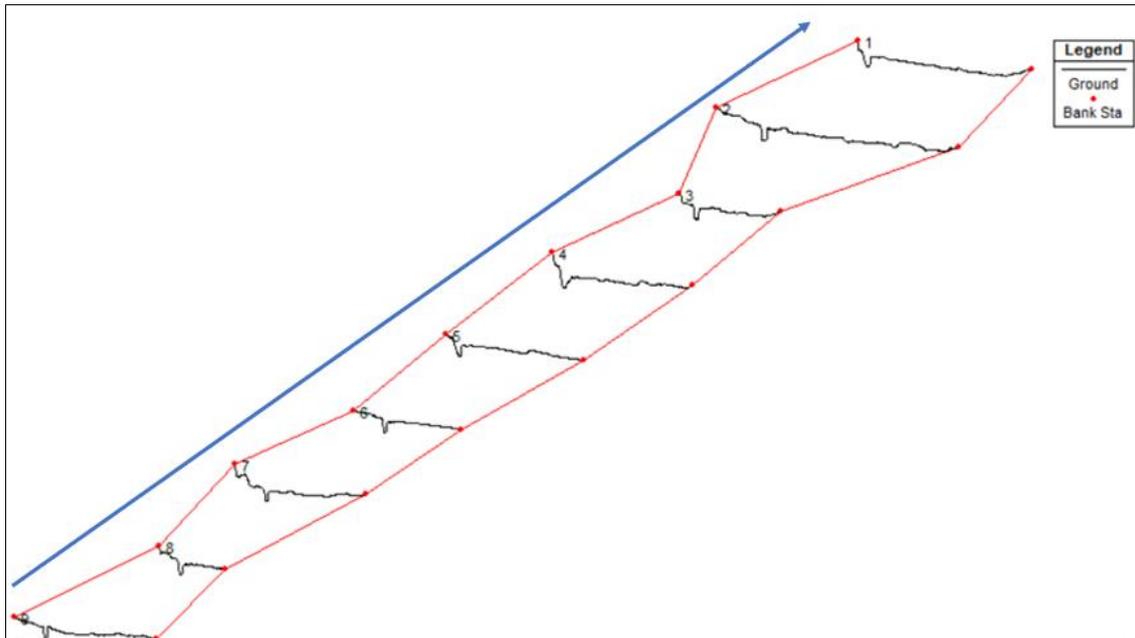


Figura 18: Geometria das seções transversais no modelo HEC-RAS.



A partir disso, foram executadas rotinas de modelagem de fluxo constante (*steady flow*) para identificar os valores de vazão necessários para que as seções 9 (montante) e 1 (jusante) registrassem nível de água igual ao valor de pico de cada inundação constatada no período de interesse. Além disso, o procedimento também foi aplicado para identificar a vazão em evento de completo preenchimento da planície fluvial à altura da seção 1 (coluna d'água de 6,5 metros sobre a cota das margens plenas). Os valores resultantes dessa rotina constituíram a curva-chave de eventos de inundação que foi introduzida como parâmetro básico (*boundary condition*) em etapa subsequente de modelagem de fluxo variável (*unsteady flow*). Esta última etapa foi realizada com o intuito de obter o valor de vazão de pico (com resolução de 10 minutos) e volume total de deflúvio gerado durante cada evento de inundação. Estas variáveis foram obtidas com o objetivo de comparar, para cada evento, quanto do volume absoluto precipitado sobre a bacia foi efetivamente transformado em deflúvio. Este índice de eficiência permitiria avaliar a influência da distribuição da chuva sobre as áreas mais conectadas da bacia, uma vez que a variável impermeabilização é constante entre os eventos, e também a perda de capacidade de retenção no sistema (sendo esta inversamente proporcional à alta eficiência esperada).

3.3.6.2. Análise dinâmica de manchas de inundação.

Para investigar os efeitos da presença de edificações dentro da planície de inundação foi utilizado o modelo Caesar-Lisflood. Trata-se de modelo dinâmico, com capacidade para cálculo de variáveis hidráulicas com intervalo temporal de alta resolução e output georreferenciado. Essencialmente, o objetivo com a aplicação deste modelo foi obter os seguintes indicadores para comparação entre os eventos de inundação constatados quando modelados sobre a superfície com e sem edificações: 1. A área máxima da mancha de inundação gerada. 2. O tempo decorrido para a mancha de inundação atingir sua máxima extensão; 3. As profundidades máxima e média das manchas de inundação; 4. A velocidade do fluxo gerado durante o pico de vazão; 5. O volume de água presente na mancha de inundação durante o pico do evento.

O modelo foi executado no modo “*Reach*”, o que significa que os inputs necessários foram os modelos digitais de elevação dos dois cenários e os dados de vazão estimados para dois pontos de entrada (no caso, as estações fluviométricas Capão Redondo e P247).

O MDE utilizado para modelagem do cenário “sem edificações”, foi derivado dos dados de Lidar, com exclusão de todos os elementos correspondentes a edificações e estruturas suspensas. Já o MDE utilizado para modelagem do cenário “com edificações” foi gerado com a inclusão exclusivamente dos objetos “edificações” sobre o MDE anterior, ou seja, não inclui objetos como vegetação, linhas de transmissão, ou a linha suspensa de trem/metro presente ao longo do canal do córrego Morro do S. Assim, destaca-se que ambas as superfícies modeladas são superfícies urbanizadas, com as mesmas taxas de impermeabilização e conectividade de estruturas em terreno, permitindo o exercício proposto nesta etapa que visa “isolar” os efeitos hidrodinâmicos das edificações durante inundações. Ambos os MDEs utilizados possuíam 10 metros de resolução, tamanho máximo suportado pelo software já que sua entrada se dá em formato de tabela ASCII.

Os inputs de vazão para o ponto correspondente à estação fluviométrica Capão Redondo (à montante) foram aproveitados da modelagem realizada com o software HEC-RAS, com intervalos de 10 minutos. Já os inputs de vazão para o ponto correspondente à estação fluviométrica P247 (à jusante) foram utilizados da modelagem realizada com HEC-RAS apenas nos intervalos em que há extravasamento do canal, e dados

provenientes da série da estação enquanto a vazão está totalmente contida no canal artificial. Esta adaptação foi uma alternativa para prover maior estabilidade ao modelo, garantindo que os valores de entrada referentes ao funcionamento médio do canal estivessem de acordo com dados efetivamente registrados e que as vazões fossem coerentes com os dados de referência disponíveis.

Os parâmetros do modelo foram definidos de forma a ignorar a erosão de canal e deposição de sedimentos. Embora seja reconhecido que estes processos não estão ausentes, esta decisão metodológica foi tomada considerando-se a duração dos eventos modelados, sua ocorrência dentro de um canal artificial, extravasamento sobre superfícies predominantemente de concreto ou asfalto, e a ausência de dados sedimentológicos sistematizados. Os parâmetros para dinâmica de fluxo foram definidos para ignorar a taxa de evaporação (dada duração do evento e dimensão da bacia), com número de Courant = 0.7, número de Froude = 0.8 e número de Manning = 0.04 para ambos os cenários. Estes valores são aqueles recomendados pelos desenvolvedores do modelo e são comumente adotados para simulação de fluxos em canais abertos com geometria constante.

O modelo foi configurado para realizar iterações com intervalo de 5 minutos (é recomendado que sejam realizadas duas iterações para cada dado de entrada), por um período virtual de 4 horas, duração que foi observada como constante entre todos os eventos de inundação constatados no período. Assim, a rotina de modelagem foi constituída por 16 execuções (8 eventos em 2 cenários).

Os resultados obtidos foram convertidos para formato *raster*, de forma que pudessem ser processados em ambiente SIG para produção de mapas comparativos e extração de valores a partir do cálculo de cotogramas. O software também produziu, para cada execução, animação da evolução da mancha de inundação resultante, com quadros que representam os intervalos de 5 minutos de cada iteração.

3.3.7. Análise de Fatores Causais de Inundações.

Para comparação entre as diferentes variáveis que compõem os três fatores identificados como os mais importantes para ocorrência de inundações na área de estudo, optou-se pela aplicação do Processo Analítico Hierárquico (sigla AHP, no original em inglês), que atende à necessidade de generalização de medidas por um índice unificado (conforme proposta original de SAATY, 1987). A técnica tem como objetivo central a

derivação de valores ponderados para composição de um índice, através de escalas de valores de variáveis ainda que os mesmos tenham unidades de medida totalmente distintas como, por exemplo, a intensidade de precipitação de um evento é medida em mm/min enquanto a variação de profundidade da mancha de inundação entre cenários é medida em cm. Isso é possível através da arbitragem de pesos (ou forças) relativas às variáveis que compõem o processo de análise, em uma comparação de pares. Para tanto, cabe ao pesquisador fazer a discriminação da importância de cada variável na composição de seus respectivos fatores e estimar o quanto mais importante esta será do que a outra variável à qual está sendo comparada para a determinação do fenômeno de interesse.

Na proposta original (SAATY, 1987), destaca-se que o AHP perde proporcionalmente sua capacidade descritiva e discriminatória quanto maior for o número de variáveis utilizadas, sendo recomendado um máximo de 7. Portanto, com vistas aos três principais fatores tratados nesta pesquisa e, a partir da análise dos seus resultados, decidiu-se utilizar duas variáveis que permitiram acessar a importância processual de cada um. Assim, foram definidos para aplicação da técnica AHP:

Fator Precipitação: Variável Volume: Quantitativo em mm, considera o volume total médio precipitado durante o evento chuvoso sobre a bacia. É obtido através da análise de histograma de raster produzido pela interpolação dos dados de chuva acumulada nas horas de duração do evento. Intervalos definidos por valores presentes em literatura e análise de quartis dos histogramas.

Variável Intensidade: Quantitativo em mm/h, obtido pela divisão do volume total médio precipitado (em mm) sobre a bacia durante o evento chuvoso pelo tempo de duração do evento (em horas). Intervalos definidos por valores presentes em literatura e análise de quartis dos histogramas.

Fator Uso do Solo: Variável Conectividade: Em unidade não dimensional normalizada, quantifica a concentração do volume de um evento chuvoso sobre áreas que tiveram incremento da conectividade pela introdução de microdrenagem. Intervalos definidos por análise de quartis dos histogramas.

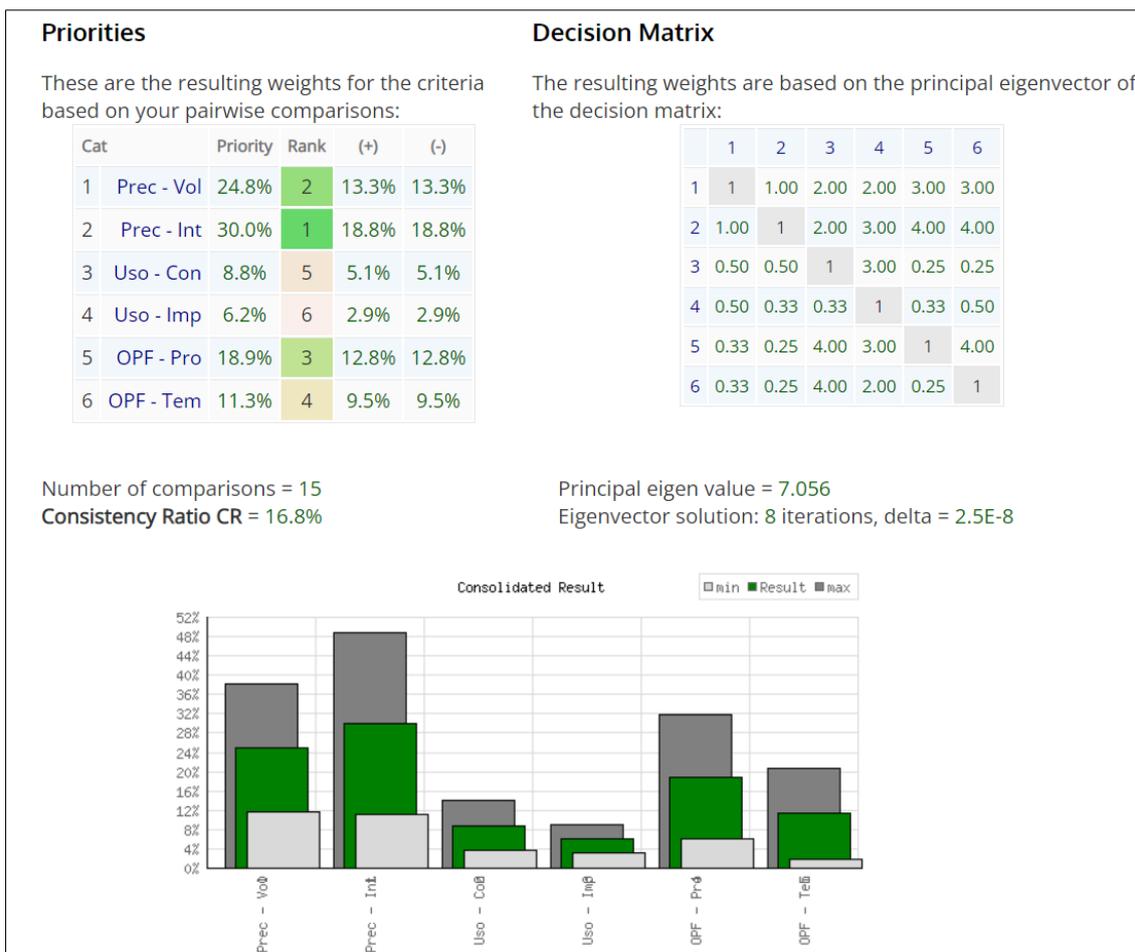
Variável Impermeabilização: Em unidade não dimensional normalizada, quantifica a concentração do volume de um evento chuvoso sobre áreas impermeabilizadas (quantificação feita pela atribuição de valor de *Curve Number*). Intervalos definidos por análise de quartis dos histogramas.

Fator Ocupação da Planície Fluvial: Variável Profundidade: Variação percentual da profundidade média (em cm) da mancha de inundação produzida no evento, obtida comparando resultados do cenário com edificações e cenário sem edificações na Planície Fluvial. Intervalos definidos por análise de quartis dos dados tabulados.

Variável Tempo para Pico: Variação percentual do tempo medido entre início do evento de inundação e seu pico de cota (em minutos), pela modelagem da mancha de inundação produzida no evento, obtida comparando resultados do cenário com edificações e cenário sem edificações na Planície Fluvial. Intervalos definidos por análise de quartis dos dados tabulados.

Estas 6 variáveis foram comparadas par a par, recebendo um valor arbitrado de 1 (igual importância) a 9 (forte prevalência da primeira variável). O cálculo, a partir de matriz de decisão, foi realizado a partir de ferramenta disponibilizada gratuitamente pela BPMS - *Business Performance Management Singapore*, e seus resultados podem ser observados no **quadro 10**.

Quadro 10: Matriz e composição de índice resultante após aplicação de AHP.



Quadro 11: Resumo da composição de fatores e pesos atribuídos pela arbitragem de valores.

Fator 1 - Precipitação			
Volume	Peso	Intensidade	Peso
<=10	1	<=5	1
10 a 25	2	5 a 10	2
25 a 35	3	10 a 15	3
35 a 50	4	15 a 20	4
>=50	5	>=20	5

Fator 2 - Uso do solo			
Conectividade	Peso	Impermeabilização	Peso
<=7	1	<=40%	1
-	-	40 a 55%	2
7 a 10	3	55 a 65%	3
10 a 14	4	65 a 75%	4
>=14	5	>=75%	5

Fator 3 - Ocupação da PF			
Δ Profundidade	Peso	Δ Tempo Pico	Peso
<=45%	1	<=25%	1
45 a 50%	2	25 a 30%	2
50 a 60%	3	30 a 45%	3
60 a 70%	4	45 a 60%	4
>=70%	5	>=60%	5

Desta forma, foi possível reclassificar os valores presentes nas escalas de valores de cada variável em um índice unificado, para cada evento de inundação analisado. Esses valores foram ponderados de acordo com a matriz de decisão calculada no AHP, de forma que para cada evento, há um valor total para cada um dos três fatores e um valor único total do evento (de 1 a 5), que permitiria acessar não necessariamente a intensidade do evento, mas também a participação relativa de cada fator em sua efetivação.

Destaca-se que as variáveis que compõem o fator “precipitação” foram aquelas que ganharam maior peso. Isso se deve, naturalmente, ao processo de gênese das inundações na área de estudo, que necessariamente depende da ocorrência de eventos de inundação para sua efetivação, podendo observar-se o fenômeno mesmo se todos os outros fatores não fossem alterados pela ação antrópica.

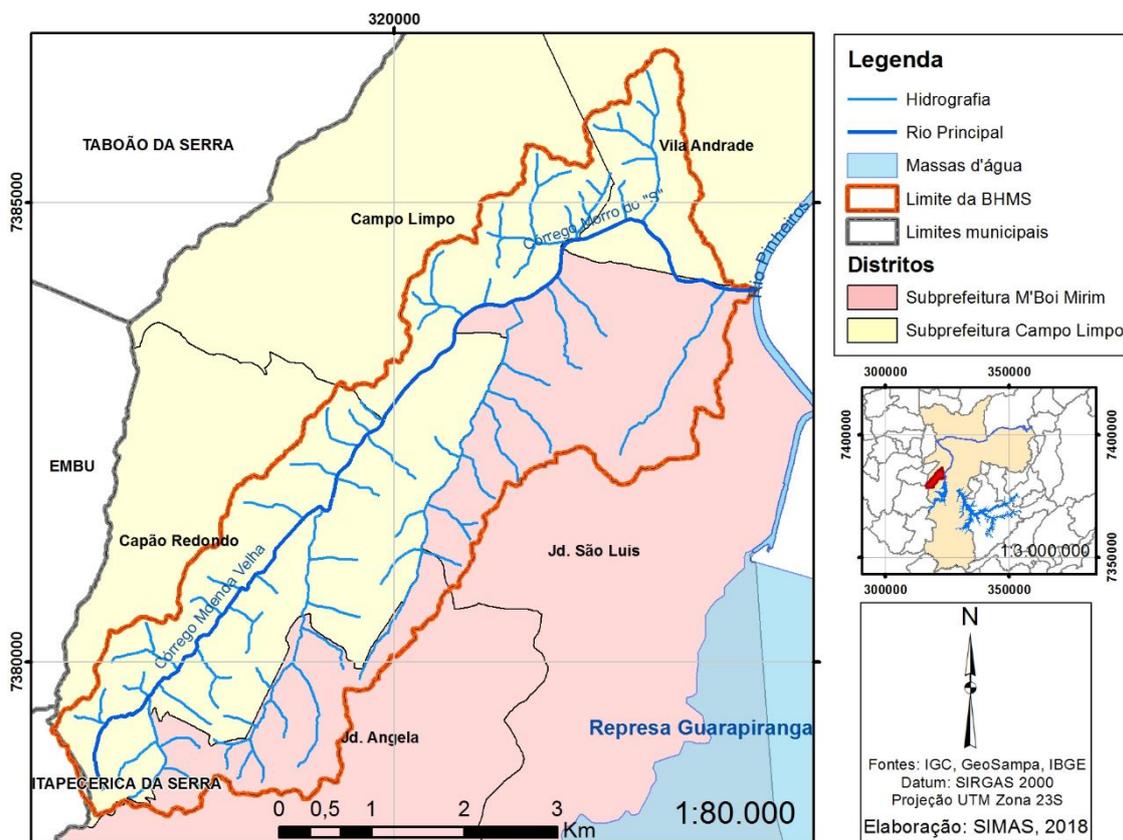
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

A Região Metropolitana de São Paulo está localizada em compartimento geomorfológico de Planalto denominado por Almeida (1964) como Planalto Paulistano, que tem altitudes variáveis de 715 a 900m, integrando a unidade tectônica pré-Cambriana do Cinturão do Ribeira. Nesta unidade tectônica existem as faixas de dobramentos: São Roque e Açungui, que representam grande diversidade de tipos litológicos sendo limitadas por falhamentos transcorrentes pré-Cambrianos de direção preferencial NE-SE, que definem em grande parte as características do relevo regional (HASUI et al, 1978). As unidades geológicas mais importantes da região onde se instalou a RMSP são separadas por falhas (Taxaquara e Jaguari) e rochas granitóides intrusivas, ao sul das quais se formou a Bacia Sedimentar de São Paulo (JULIANI, 1992). Esta bacia sedimentar, por sua vez, apresenta quatro formações litológicas (Resende, Tremembé, São Paulo e Itaquaquetube), sendo a primeira a mais representativa com 80% do volume da bacia (RICCOMINI et al, 2004). Segundo o mesmo estudo, esta formação terciária pode ser caracterizada principalmente por apresentar fácies de leques aluviais com lamitos e conglomerados e fácies de sistema entrelaçado com predomínio de areias e conglomerados.

Estas informações geológicas, junto das interpretações de Ab'Saber (1957) sobre a geomorfogênese no sítio urbano de São Paulo, são sistematizadas por Rodrigues e Batista (2004) através de integração cartográfica para definição das principais unidades geomorfológicas (morfologia original) da região, a saber: morros de embasamento pré-cambriano, serras graníticas, regiões escarpadas, planícies fluviais meândricas, baixos terraços fluviais e colinas em embasamento sedimentar terciário. Quanto às morfologias antropogênicas, as mudanças mais significativas no padrão de apropriação dos compartimentos geomorfológicos são verificadas nas décadas de 60 e 70, quando sistemas geomorfológicos naturalmente impróprios passam a ser transgredidos com maior intensidade (RODRIGUES, 2005). Segundo Rodrigues (2005), nesta fase há avanço mais significativo da urbanização nas áreas de planícies fluviais (baixos terraços e planícies de inundação) e nas áreas de altas declividades (setores dos espigões, colinas sedimentares e morros baixos do embasamento pré-Cambriano).

Dentro deste contexto é tomada como representativa para o estudo proposto, a Bacia Hidrográfica do Córrego Morro do S tem área de 22,6 Km² e perímetro de 30,2 Km, se localiza entre cinco distritos da Zona Sul de São Paulo: Vila Andrade, Campo Limpo, Capão Redondo, Jardim Ângela e Jardim São Luís.

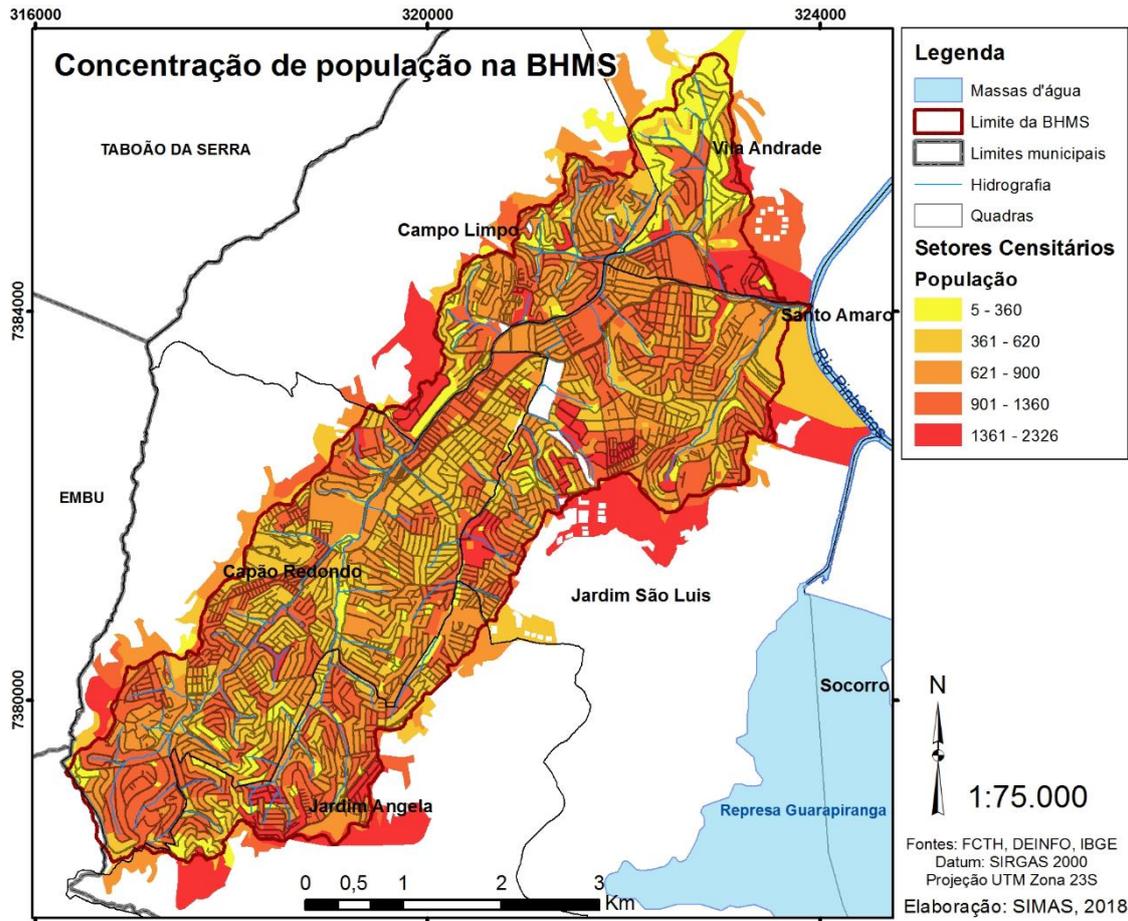
Figura 19: Bacia Hidrográfica do Córrego Morro do S e sua divisão em distritos.



Esta área teve seu período de maior ocupação na década de 60, como a maior parte das regiões periféricas da RMSP, iniciada pelas colinas baixas dos atuais distritos do Jardim São Luis, Vila Andrade e Campo Limpo, próximos à planície fluvial do Rio Pinheiros, com finalidade habitacional para população mais pobre. A ocupação se expandiu ao longo das décadas subsequentes para os morros próximos às divisas municipais de Itapeçirica da Serra e Embu, configuradas como áreas de maior declividade no Capão Rendondo e Jardim Ângela, regiões com maior densidade de drenagem.

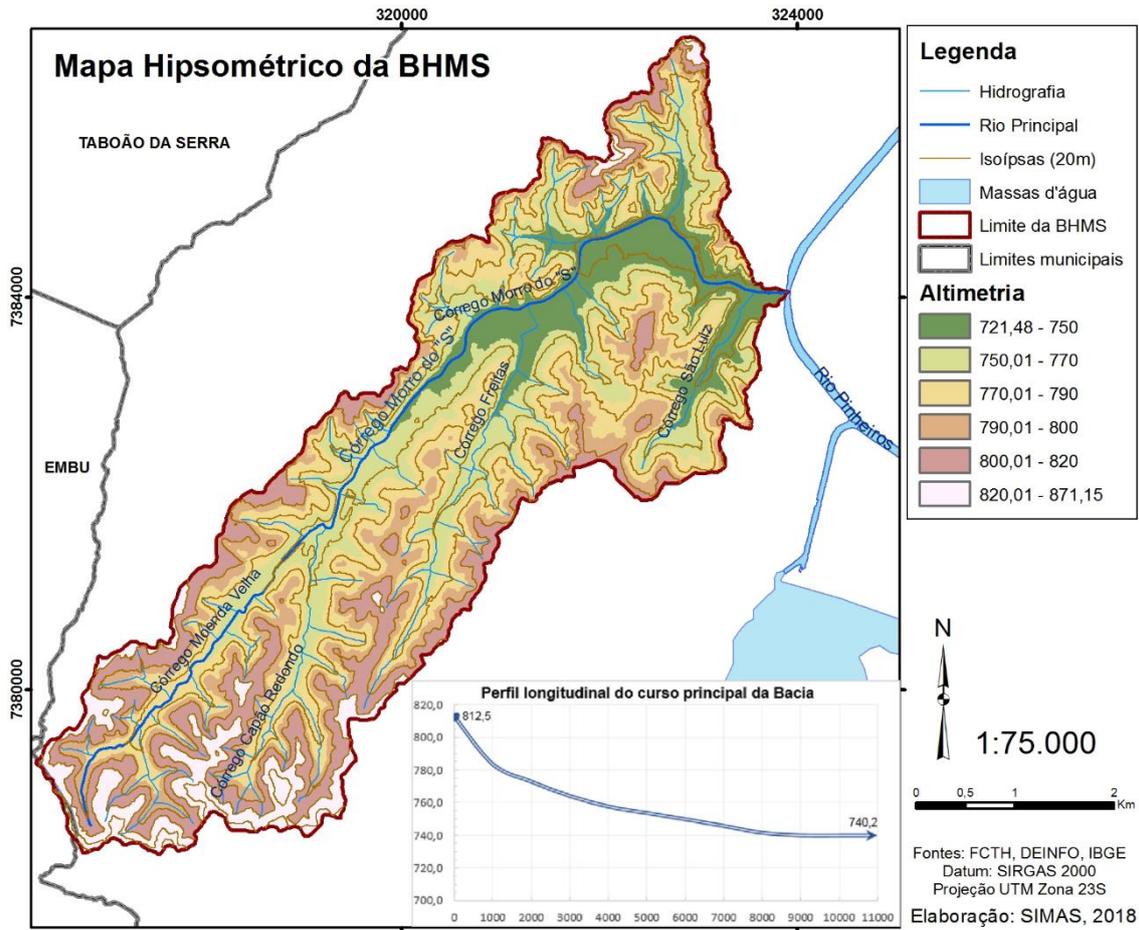
Considerados os setores censitários circunscritos nesta área, a bacia é habitada por 467.353 pessoas em 14.317 domicílios, de acordo com o censo 2010, com uma estimativa de 505.699 habitantes para 2018. A densidade demográfica é considerada alta, quando comparada com bacias de área semelhante no município. Esta população está relativamente bem distribuída pela área da bacia, mas com uma concentração pouco maior no setor mais baixo e próximo ao curso principal da bacia, sul do distrito da Vila Andrade, sudeste do Campo Limpo e norte do Jd. São Luís.

Figura 20: População por setor censitário na área de estudo.



A bacia tem gradiente altimétrico de aproximadamente 150 metros, com ponto mais baixo de cota 721,48 exatamente na foz do córrego Morro do S no Rio Pinheiros e mais alto de cota 871,15 próximo à nascente do córrego Moenda Velha. Este também configura local da nascente do curso principal da bacia, que em seu perfil longitudinal não aponta *knickpoints*, tendo desnível mais pronunciado ao longo do seu primeiro quilometro de extensão. Nas áreas mais altas da bacia, a declividade também é alta, no trecho que vai da região noroeste do Jardim São Luís (Vila Cristina) até a divisa com Itapeperica da Serra (Favela Santa Maria). Sua variação de cotas altimétricas está dentro da média das bacias hidrográficas no município.

Figura 21: Altimetria na bacia amostral e perfil longitudinal do seu curso principal.

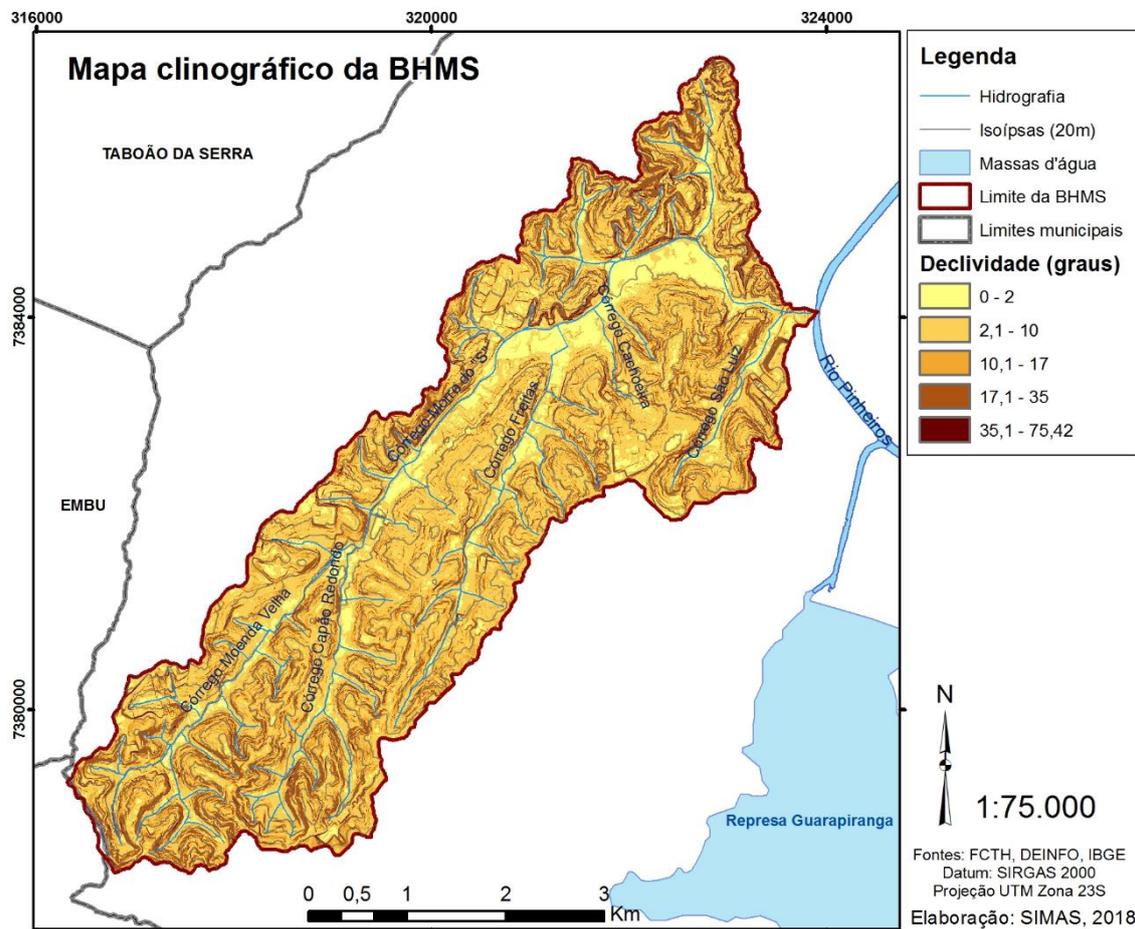


A declividade é ainda mais pronunciada ao longo da margem esquerda do curso principal, superando os 60 graus, sobretudo onde está o limite do distrito da Vila Andrade (Panamby) e sul do Campo Limpo, ao longo da Avenida Carlos Caldeira Filho. Esta área é particularmente interessante de ser observada no sentido da concentração de risco: à margem direita encontra-se área com alta suscetibilidade a inundações e à margem esquerda área de alto risco a eventos geodinâmicos (segundo mapeamentos IPT, 2016). Com um total de 90 áreas de risco atualmente identificadas, coloca-se entre as bacias com maior concentração no município.

Figura 22: Ocupações em morros íngremes na margem esquerda do córrego Morro do S. Foto do autor.



Figura 23: Declividade na bacia amostral.

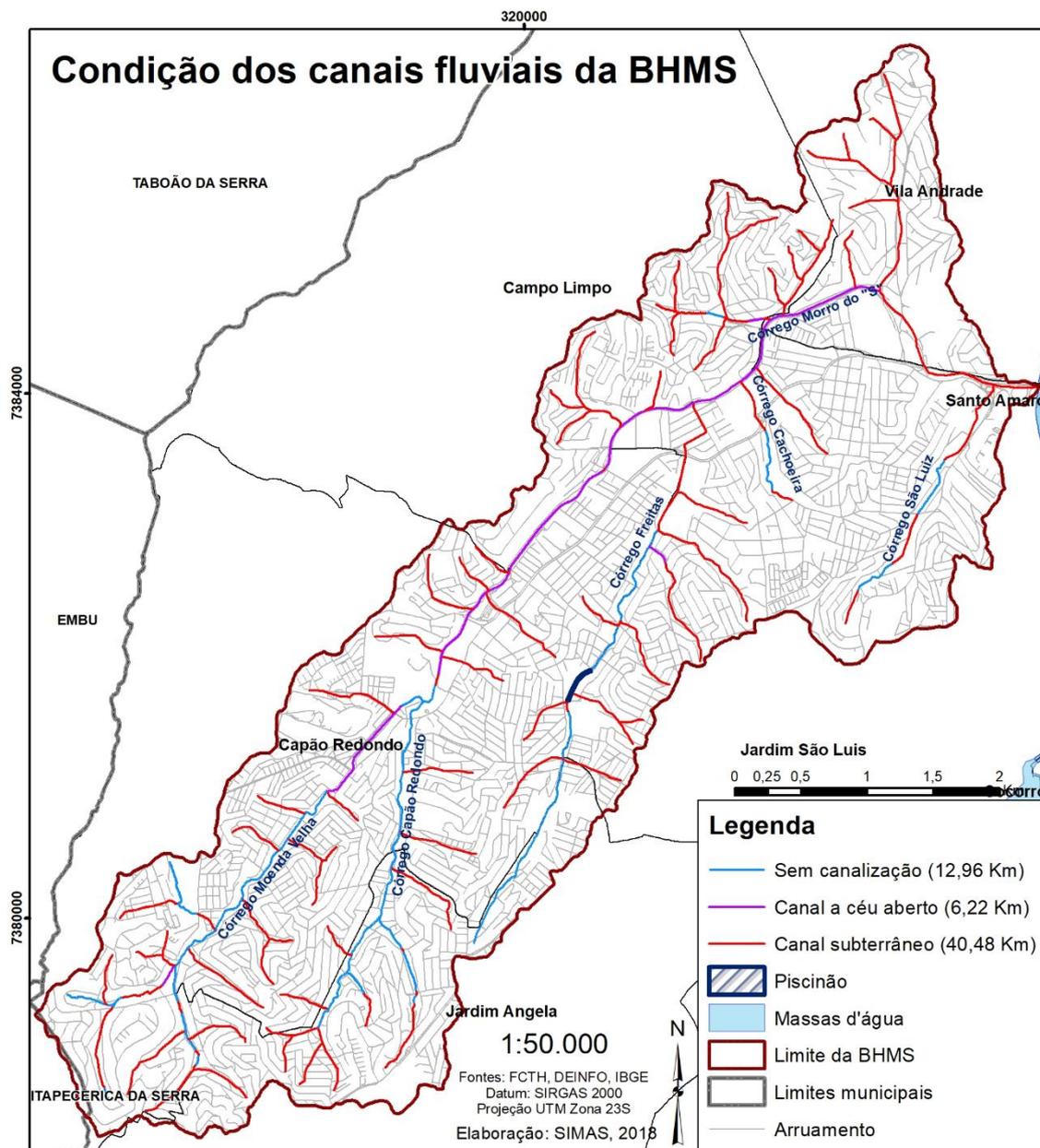


De interesse especial a esta pesquisa, o mapeamento dos cursos das BHMS permite obter diversas informações significantes. Primeiramente, a bacia conta com um total de 72 cursos, dos quais apenas 3 não possuem intervenções sobre sua forma de canal em toda extensão. De todos os 59,66 Km de cursos, 67,85% desta extensão encontra-se em canalizações subterrâneas e 10,42% em canal artificial a céu aberto. Os únicos cursos canalizados nesta categoria são o próprio córrego Morro do S e o Moenda Velha, que

forma o Morro do S ao confluir com o córrego Capão Redondo. As obras para sua retificação e confinamento ocorreram entre 1993 e 1995 para assentamento da avenida marginal Carlos Caldeira Filho, ao longo da qual hoje se encontram as estruturas elevadas da linha 5-Lilás do Metrô. Como resultado, dos 11,18 Km do curso principal da bacia, apenas 2,47 Km encontram-se hoje com seu percurso em planta “natural” (*planform*), assim como alguns parâmetros geométricos da seção transversal do canal. Isso refere-se apenas à forma do subsistema canal, que não sofreu intervenções por meio de medidas estruturais, mas que se encontra ocupada por autoconstruções (majoritariamente) e com quantidade não mensurada, mas evidentemente grande, de depósitos tecnogênicos (rejeitos de construção sobretudo). Estão projetados ainda dois piscinões, ao longo dos córregos Freitas (capacidade de 50.000 m³, em execução desde 2016) e Capão Redondo (192.000 m³, sem informações sobre andamento), dando continuidade a um modelo de medidas estruturais historicamente consolidado na gestão de bacias da cidade.

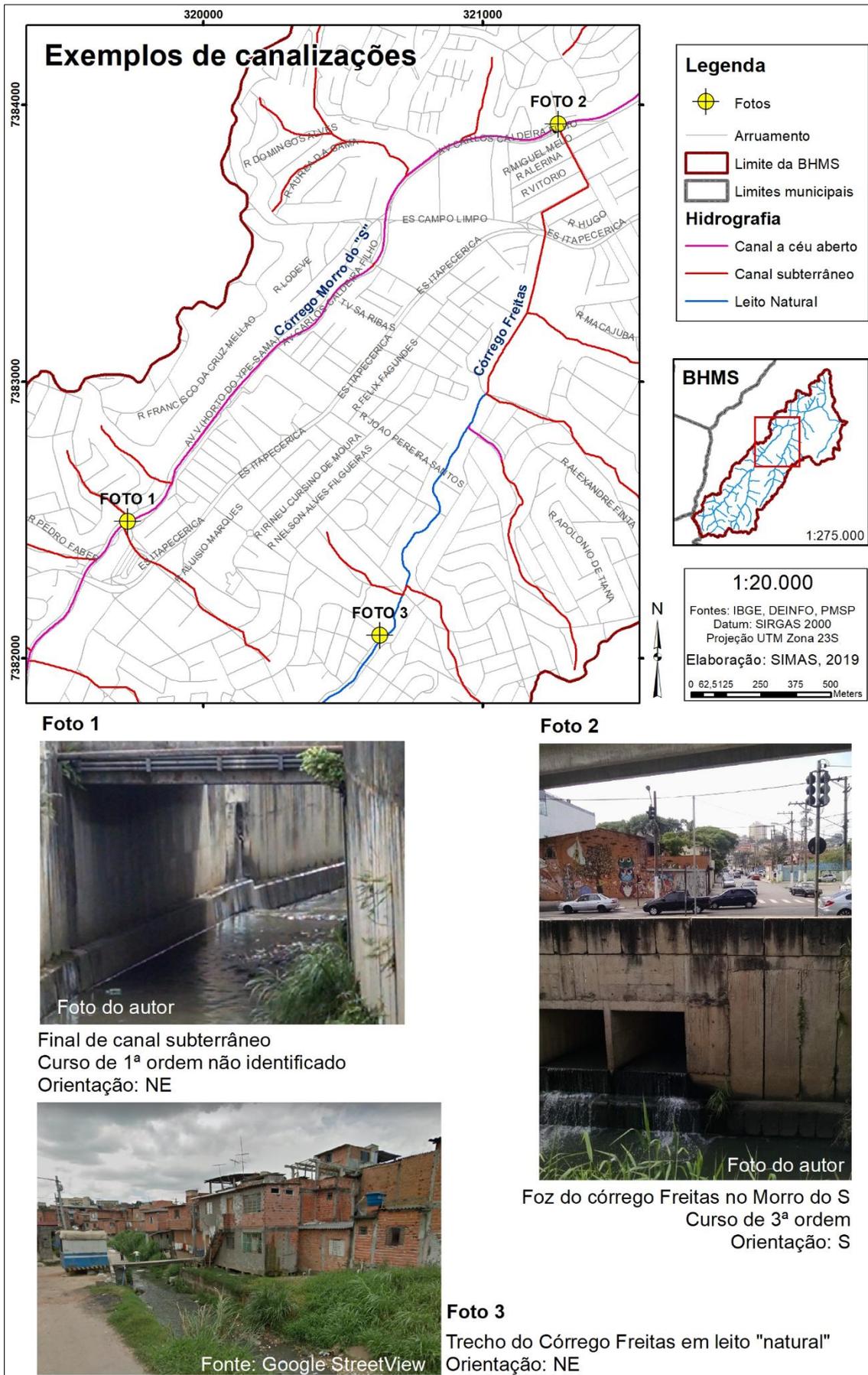
Observando-se a **Figura 23**, é possível ainda identificar uma diferença morfológica na sub-bacia do córrego Freitas, com declividade média inferior às sub-bacias associadas, apresentando padrão de colinas. Não coincidentemente, é preferida à alocação de piscinão e teve constatação de inundações em sua jusante junto do córrego Morro do S, já que esta característica morfológica citada a torna propensa a um maior tempo de residência.

Figura 24: Hidrografia da Bacia Morro do S e condição atual dos canais.



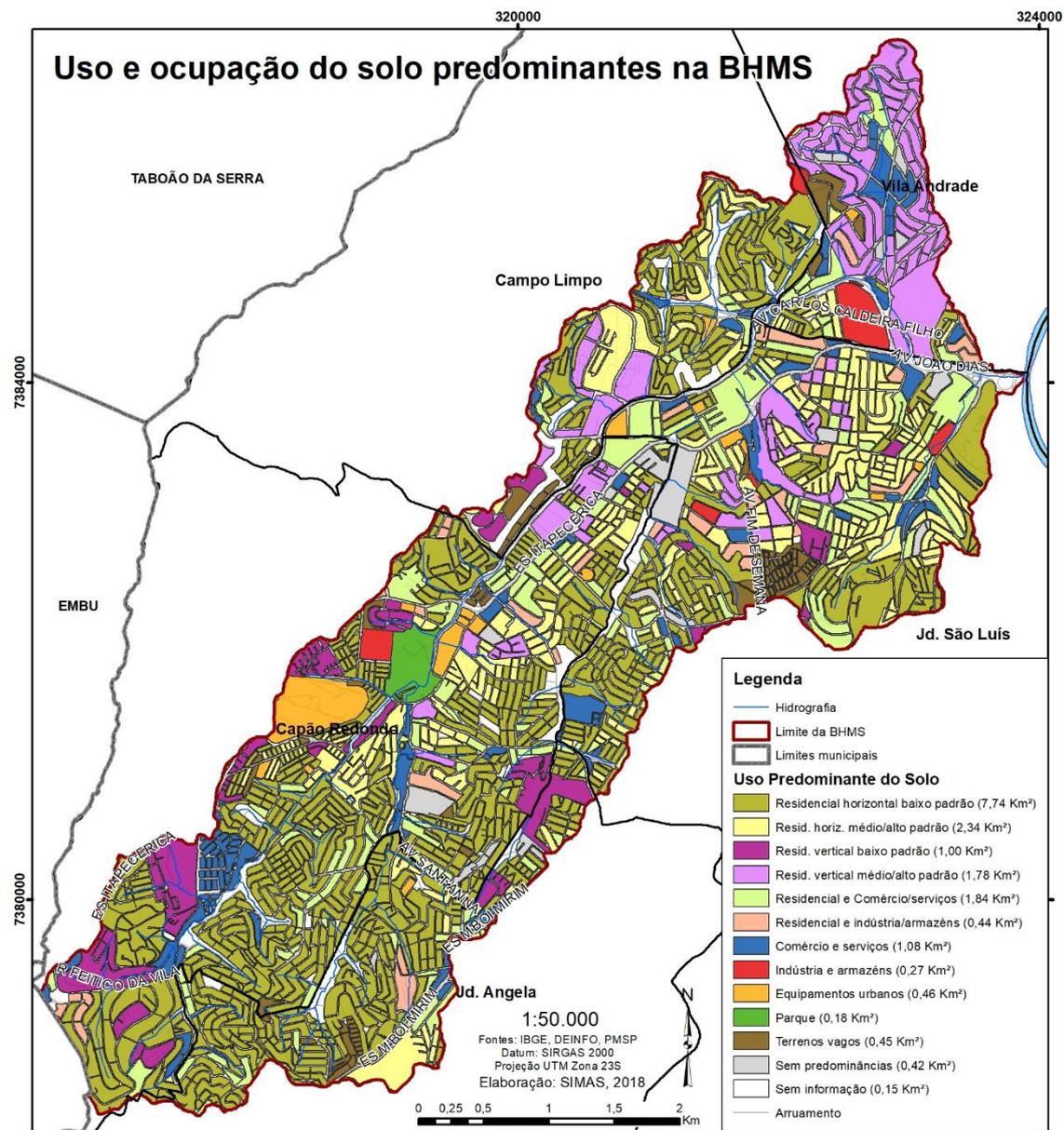
Também estão previstas obras para canalização de 3,5 Km do Córrego Freitas e 2,5 Km do córrego Capão Redondo. Interessante observar que, segundo divulgado pela Prefeitura de São Paulo (2016), as intervenções no córrego Freitas possuem um custo estimado de R\$220 milhões para beneficiar 1.170.410 habitantes, mais que o dobro da população estimada para toda a BHMS. Estas propostas de intervenção estão alinhadas com apontamentos presentes no PDMAT-3 (DAEE, 2012) e no Caderno de Bacias Hidrográficas do Morro do S (FCTH, 2016) que sugere a construção de estruturas de reservação para ao menos 172.500m³, parque linear de 4.000m² e canalização de 7,42Km.

Figura 25: Exemplos de cursos na bacia amostral em canais artificiais subterrâneos e leito "natural".



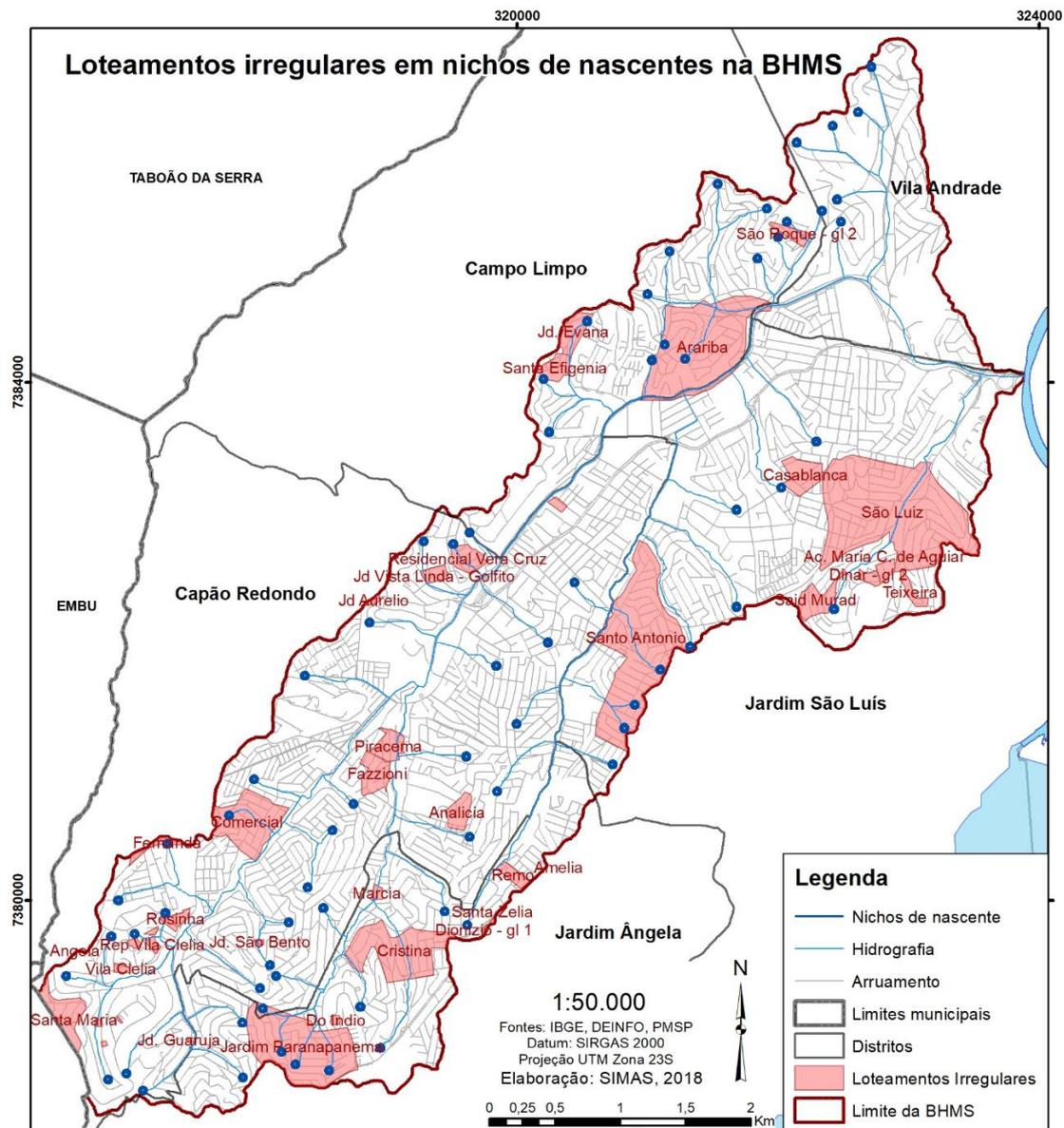
As Macroáreas com diretriz de proteção ambiental concentram-se exclusivamente nos setores mais altos da bacia (**Figura 26**), onde já se encontra predominância de residências de baixo padrão (**Figura 27**). Este, aliás é o uso do solo prevalente na área de estudo, recobrando exatamente 1/3 da área da bacia. É notável a concentração do uso residencial vertical de médio/alto padrão na Vila Andrade e próximo à Av. João Dias, no trecho mais à jusante do córrego Morro do S, onde este se encontra em canalização subterrânea. Ao longo do curso principal encontram-se todos os tipos de uso, mas com concentração relativamente maior do tipo misto Residencial e Comércio/Serviços, o que reforça a importância de considerar o risco que as inundações representam não apenas às moradias como também às atividades econômicas na área.

Figura 27: Uso e ocupação do solo predominantes na área de estudo, por quadras.



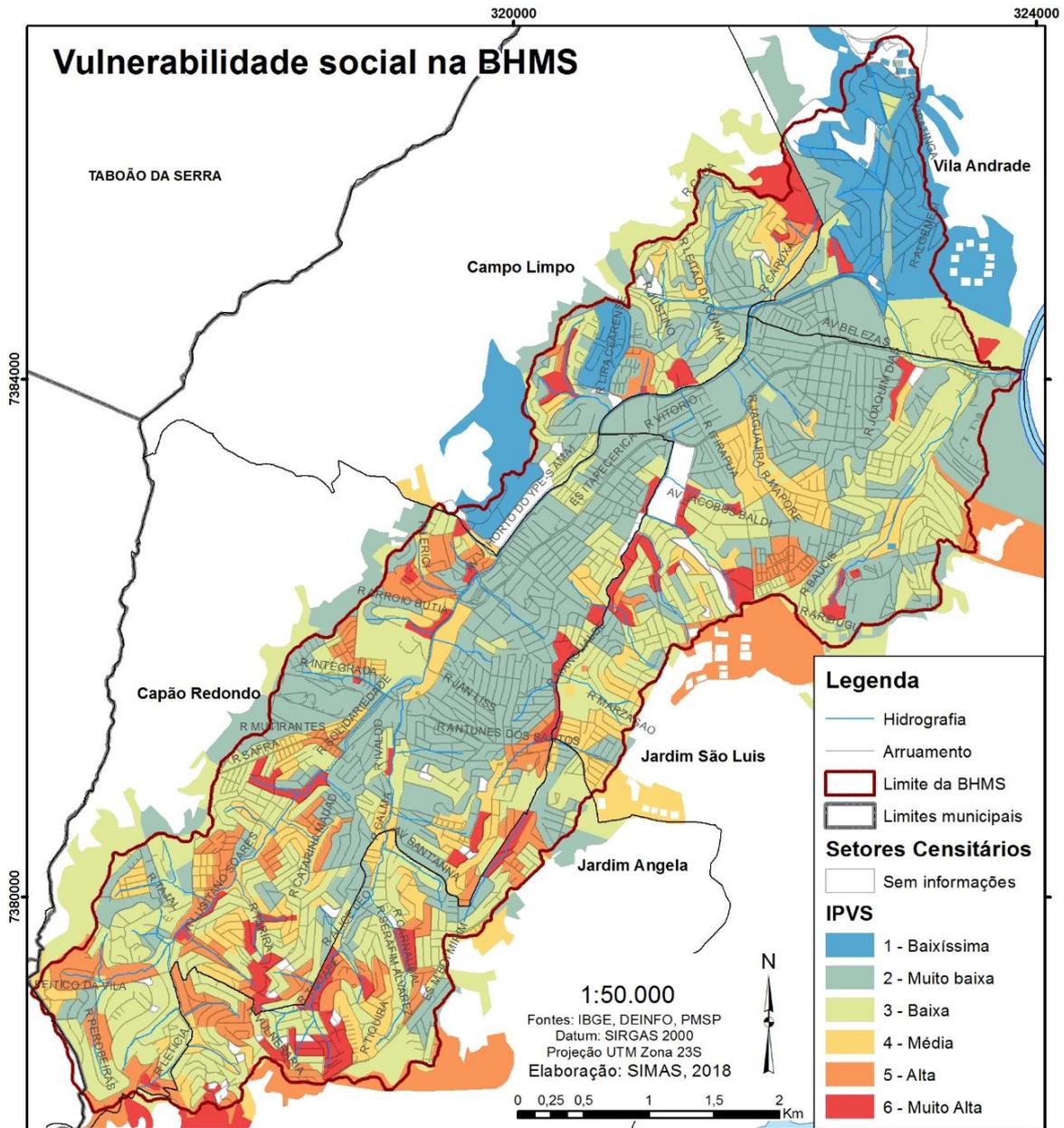
A localização dos setores de altíssimo risco (geodinâmico), classificado na carta geotécnica pela inclusão de processos geológicos (tectônica) aos superficiais (hidrológicos e geomorfológicos), é interessante de ser aqui observada pela sua correlação com as localidades que configuram aglomerados subnormais e loteamentos irregulares. Sobretudo nos setores mais altos do córrego Capão Redondo e córrego Freitas, é notável que os loteamentos englobam justamente os locais onde estão as nascentes dos referentes córregos: Jardim Paranapanema e Santo Antônio, respectivamente (**Figura 29**). Isso torna evidente o como a questão de manejo das bacias, seja pela questão da qualidade das águas quanto pelo risco de inundações, deve considerar as problemáticas habitacionais que, neste caso se observa pela pressão demográfica que é direcionada a áreas críticas do sistema hidrogeomorfológico.

Figura 29: Localização dos nichos de nascentes da bacia e concentração de loteamentos irregulares.



A relevância dos fatores socioeconômicos para a configuração cenário atual de risco a inundações da BHMS é mais claramente observada por meio da distribuição da vulnerabilidade social da população, classificada com a aplicação do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS, conforme SEADE, 2010).

Figura 30: Mapa de vulnerabilidade social (IPVS) da área de estudo.

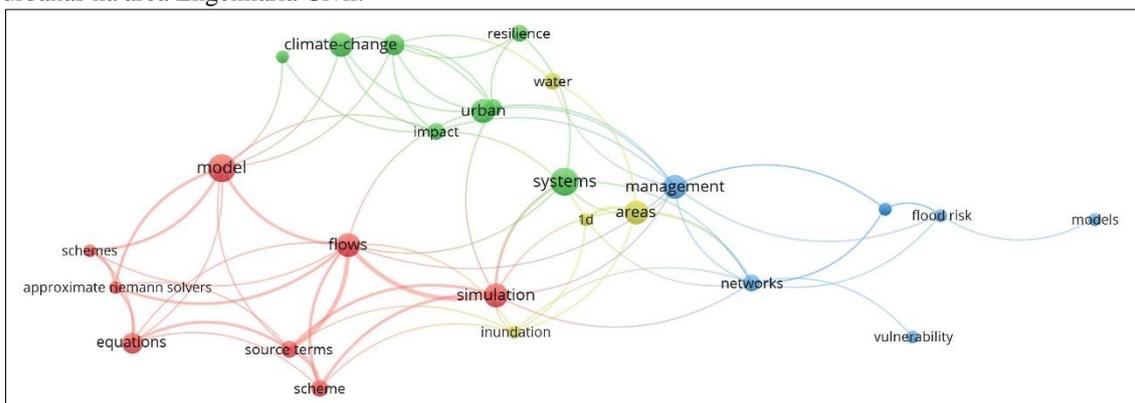


Temos, portanto, uma distribuição das áreas com população socialmente mais vulneráveis extremamente concentrada em áreas imediatamente ao lado de córregos, com 54 dos 72 setores censitários de maior vulnerabilidade (grupo 6) sendo limítrofes ou atravessados por um curso d'água. Isso é coerente com resultados de outros estudos que analisaram pareadamente a vulnerabilidade social e a suscetibilidade a inundações em São Paulo (destaca-se SIMAS, 2017). Dentre as áreas mais vulneráveis, é novamente

notável a concentração encontrada ao longo do córrego Freitas e nos setores mais altos do córrego Capão Redondo. O único setor de vulnerabilidade social muito alta não localizado nas imediações de um córrego está na região leste do distrito do Campo Limpo.

A partir do mapeamento obtido com aplicação do IPVS, também deve ser observado que a área que corresponde à margem direita do córrego Morro do S ao longo de sua extensão canalizada a céu aberto, é classificada como de vulnerabilidade baixa a baixíssima. Justamente, esta é a área mais frequentemente citada em relatórios (DER e SAISP) como impactada por inundações de maiores dimensões (extensão e cota atingida).

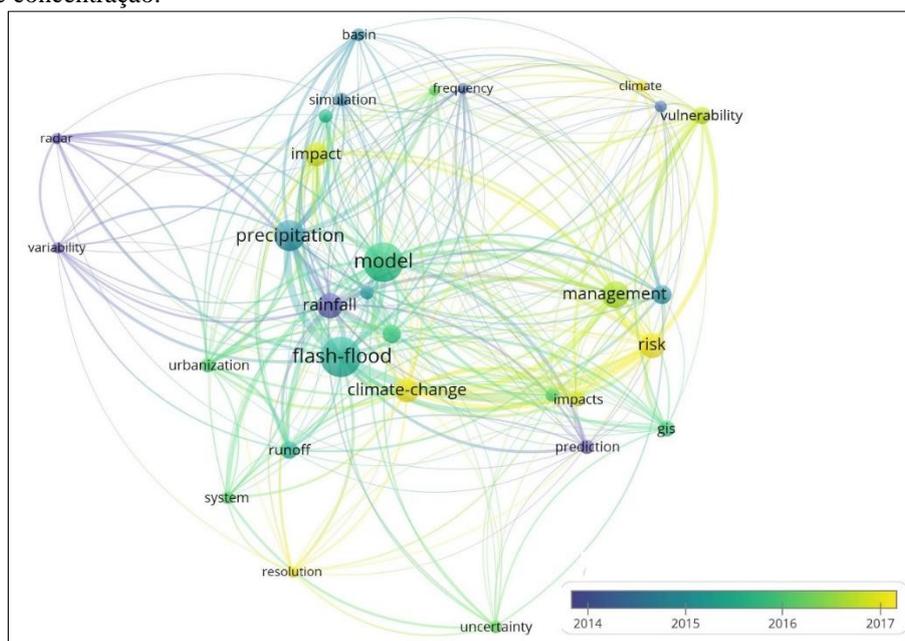
Figura 33: Mapeamento bibliométrico das palavras-chave encontradas em publicações sobre inundações urbanas na área Engenharia Civil.



Em comum entre as três áreas de conhecimento filtradas, os termos “modelo”, “calibração” e “simulação” permitem evidenciar a emergência de técnicas de modelagem em meio aos estudos sobre inundações independentemente da área de concentração. O conceito de modelo vem mais frequentemente associado aos conceitos de “previsão” e “resolução”, presumivelmente em decorrência da melhoria na maior disponibilidade de dados primários com resoluções espaciais e temporais cada vez maiores.

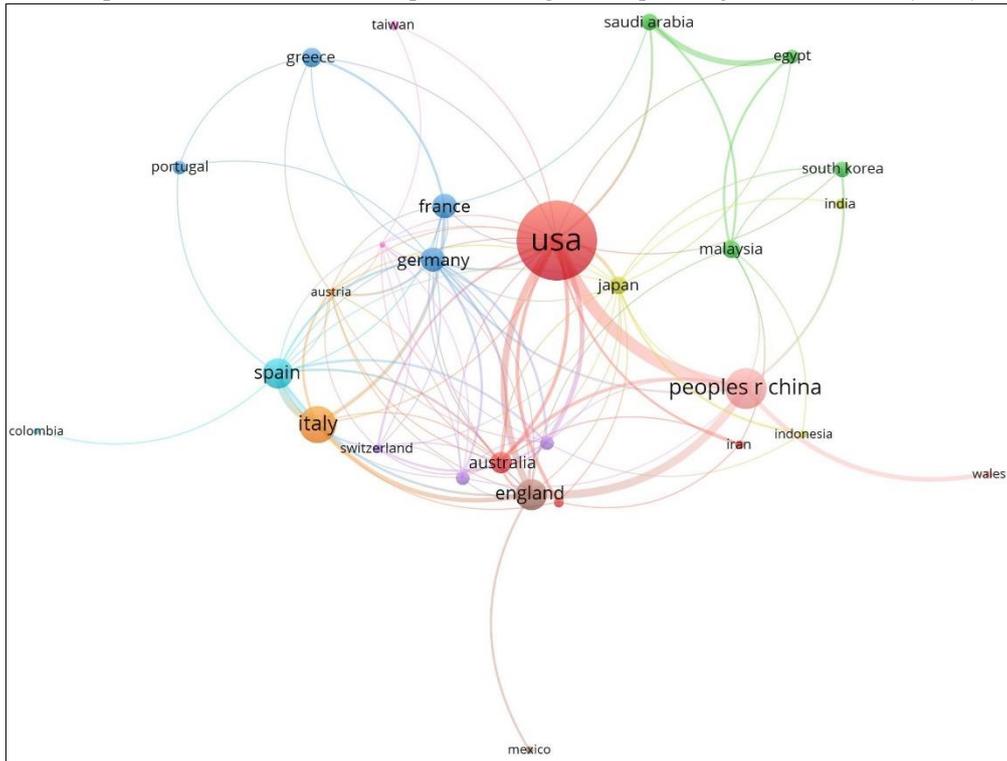
Foi possível notar, com o mapeamento do uso das palavras-chave em estudos sobre *flash floods* classificados por ano de publicação, a correlação de períodos com maior concentração de uso do termo que designa este tipo específico de inundação com o termo “modelo” associado a “precipitação” e “runoff”. Logo, destaca-se uma tipologia de fenômeno mais frequentemente investigada pelo uso de modelos hidrológicos associados à análise da precipitação.

Figura 34: Mapeamento bibliométrico das palavras-chave encontradas em publicações sobre *flash floods* por ano de concentração.



Dentre os resultados do levantamento realizado sobre estudos que traziam especificamente a palavra-chave *flash floods*, é destacável a concentração destes nos Estados Unidos (mais da metade das publicações). Mais do que isso, através do mapeamento bibliométrico é possível visualizar a posição periférica ocupada pelos países do meio tropical úmido, como México e Colômbia, devido à baixa quantidade de trabalhos desenvolvidos com este termo específico.

Figura 35: Mapeamento bibliométrico dos países de origem das publicações com o termo *flash floods*.



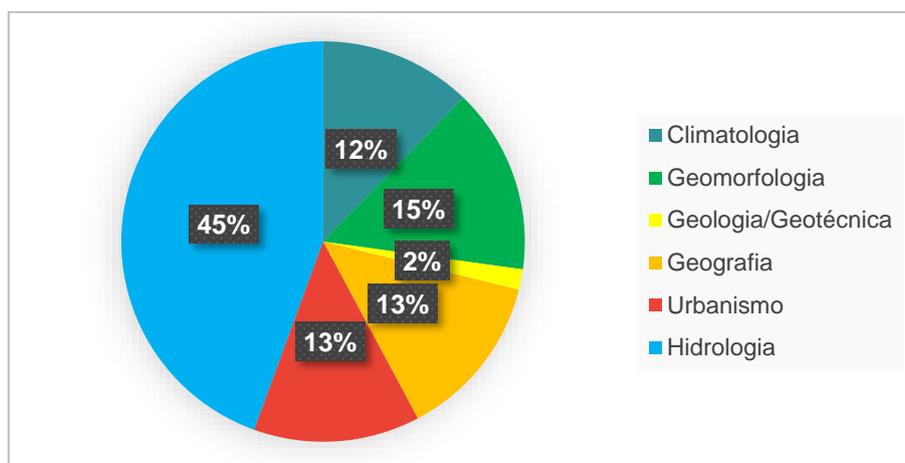
Com isso, foi possível concluir a incipiência de trabalhos com identificação de *flash floods* no contexto de cidades como São Paulo, bem como torna-se evidente a baixíssima representatividade de estudos realizados no Brasil sob o escopo (apenas 1 resultado). Para suprir esta deficiência, de maneira que a meta análise não ignorasse justamente os trabalhos realizados sobre áreas mais semelhantes à área de estudo, a segunda etapa de levantamentos e fichamentos foi especialmente direcionada a produções científicas nacionais.

Foram levantadas 171 produções científicas sobre inundações urbanas realizadas no Brasil, entre os anos 1983 e 2019, das quais 132 são dos últimos 10 anos. Também foram consideradas publicações sobre estudos em Bangladesh (1), China (4), Índia (3) e Singapura (1), dada a similaridade das localidades analisadas com a presente área de estudo. Do total de 180 estudos, nota-se que 59% dos trabalhos estavam focados em

bacias hidrográficas. Isso permite notar o como ainda há grande quantidade de estudos sobre impactos de um sistema físico desenvolvidos a partir de recortes administrativos (município, bairro, etc.), desconsiderando sobremaneira os compartimentos geomorfológicos.

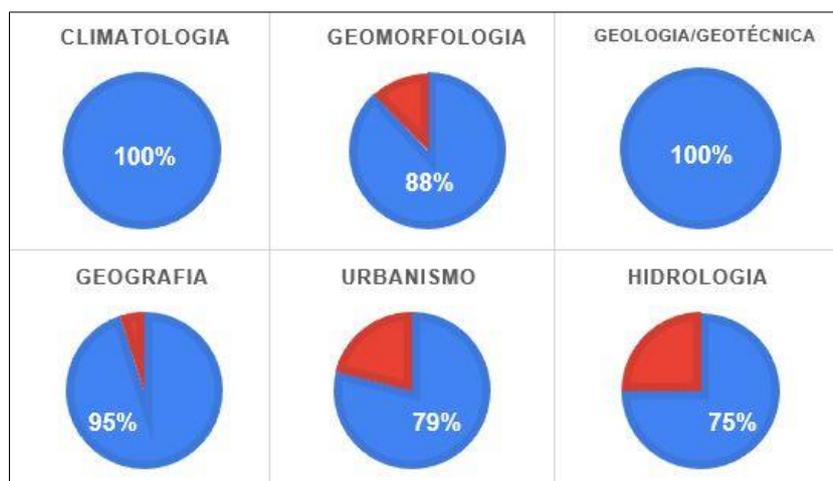
Com a classificação destas publicações a partir da área do conhecimento em que melhor se insere, pelas técnicas e conceitos empregados, destaca-se que estão concentrados na área da hidrologia (total de 80 publicações), seguido da geomorfologia (27 publicações).

Figura 36: Concentração de trabalhos classificados por área.



Explica-se a separação da Geografia quanto à Climatologia e Geomorfologia pelo maior foco de alguns estudos em métodos e técnicas da geografia urbana e cartografia mais geral. Pela classificação realizada, é destacável a baixa concentração de publicações sobre inundações urbanas enquadradas especificamente nas áreas de Climatologia e Geomorfologia, sendo preteridas por métodos e técnicas da Hidrologia. Nesta área prevalente, é notada a menor concentração de estudos que apresentaram em conclusão a identificação de fatores causais das inundações (3/4 deles, **Figura 37**). Em sua maioria, os estudos desta área presaram pela aplicação de modelos hidráulicos e hidrológicos para simulação de inundações potenciais ou reconstituição de eventos passados, havendo preocupação predominante sobre sistemas completos e não fatores. Desta forma, a impermeabilização e falhas em sistemas de drenagem construídos são os fatores causais mais citados entre os estudos de hidrologia sobre inundações urbanas.

Figura 37: Porcentagem de trabalhos por área que identificaram fatores causais de inundações.



Todos os estudos classificados na área de conhecimento da Climatologia identificaram fatores causais, sendo o mais citado “eventos de precipitação intensa”. Isso, pois, é notada uma preferência de abordagem a episódios particulares, bem como é o resultado esperado para estudos que tiveram, em quase todos os casos, o uso de análise climatológica como principal ferramenta analítica. O que torna bastante relevante o fato de nenhum trabalho classificado na área de Geomorfologia ter empregado a mesma técnica e nem citado o mesmo tipo de fator causal. Nesta área, foi dada preferência ao uso de técnicas de geoprocessamento e, na maioria dos casos, as mudanças no uso do solo e em canais fluviais foram as causas mais citadas às inundações urbanas.

Quadro 12: Relação de técnicas mais utilizadas e fatores causais mais citados de acordo com as áreas.

Área	Técnica mais empregada			
	Mais citada/utilizada	nº	Segunda mais citada/utilizada	nº
Hidrologia	Modelagem Hidráulica	59	Geoprocessamento	34
Climatologia	Análise climatológica	19	Pesquisa Histórica-Documental	8
Geomorfologia	Geoprocessamento	14	Pesquisa Histórica-Documental	12
Geologia/Geotécnica	Geoprocessamento	3	Pesquisa Histórica-Documental	1
Geografia	Geoprocessamento	14	Pesquisa Histórica-Documental	13
Urbanismo	Pesquisa Histórica-Documental	19	Geoprocessamento	5
Fator causal identificado				
Hidrologia	Impermeabilização do solo	22	Falha na drenagem urbana	14
Climatologia	Eventos de precipitação intensa	18	Ocupação de áreas suscetíveis	12
Geomorfologia	Mudanças no uso do Solo	19	Mudanças em canais fluviais	8
Geologia/Geotécnica	Ocupação de áreas suscetíveis	2	Impermeabilização do solo	1
Geografia	Mudanças no uso do Solo	17	Ocupação de áreas suscetíveis	8
Urbanismo	Mudanças no uso do Solo	11	Ocupação de áreas suscetíveis	10

Uma coincidência entre todas as áreas é a representatividade de estudos que utilizaram técnicas de pesquisa histórica e documental. Sua recorrência aponta para a importância dada nos estudos à investigação de fenômenos e impactos de ocorrência constatada, sendo relativamente preterido no caso da Hidrologia. Isso se atribui à natureza

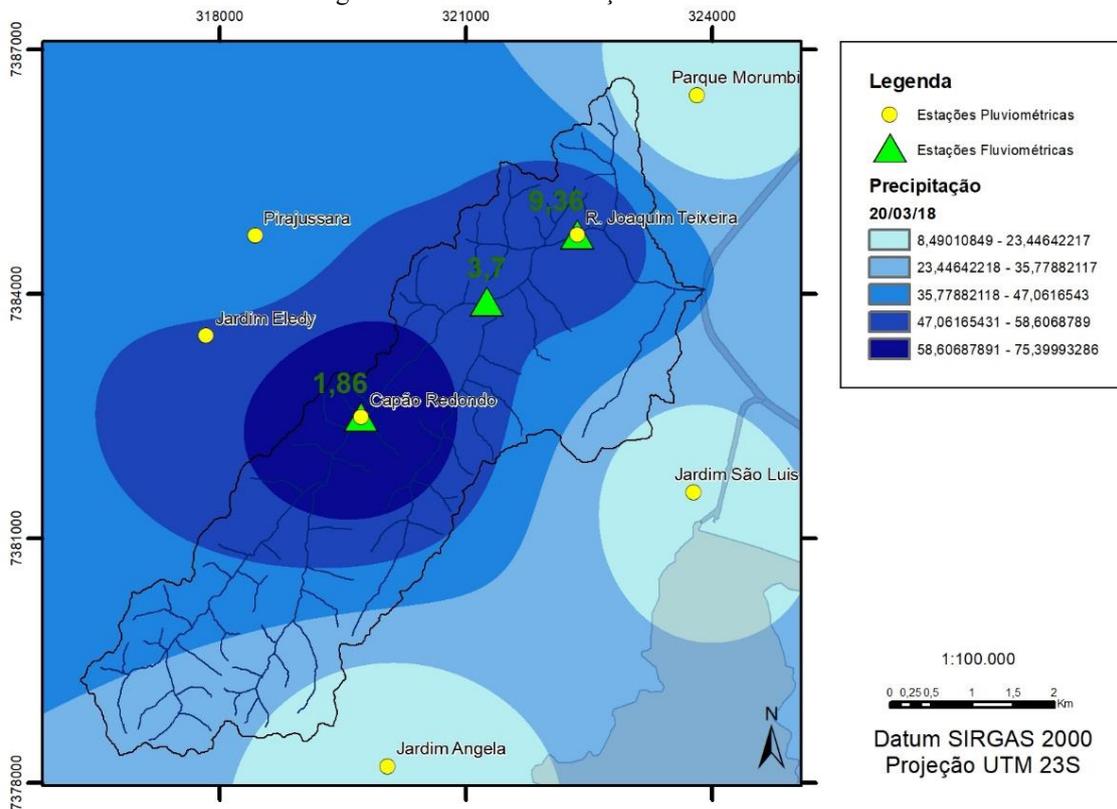
mais estimativa dos estudos levantados, em sua maioria pautados em análises de tempos de recorrência. É interessante observar que o emprego da pesquisa histórica-documental é uma tendência também encontrada na literatura internacional, conforme apontado por estudos recentes que demonstram possibilidades de integração de diferentes tipos de dados das ciências hidrológicas e meteorológicas, com diferentes resoluções temporais, firmadas justamente no aproveitamento dos dados de fontes históricas (SANGSTER et al, 2018).

Em conclusão, apesar de ser identificada menor concentração de trabalhos entre a Climatologia e a Geomorfologia do que o esperado, foi possível notar a diferença existente entre as técnicas empregadas e consequentemente nos fatores causais apontados. Identificou-se preferência, nos estudos de cada área, pela investigação de variáveis relacionadas aos seus objetos (precipitação no caso da climatologia e morfologias no caso da geomorfologia). Assim, os fatores causais que estes identificaram não são exclusivos, mas tendem a ser analisados desassociados, fora da orientação geral da abordagem sistêmica. Isso reforça a importância de emprego das ferramentas que, através desta meta análise, foram identificadas como comuns às diferentes áreas (como o geoprocessamento), pela capacidade de melhor integrarem diferentes variáveis do sistema físico.

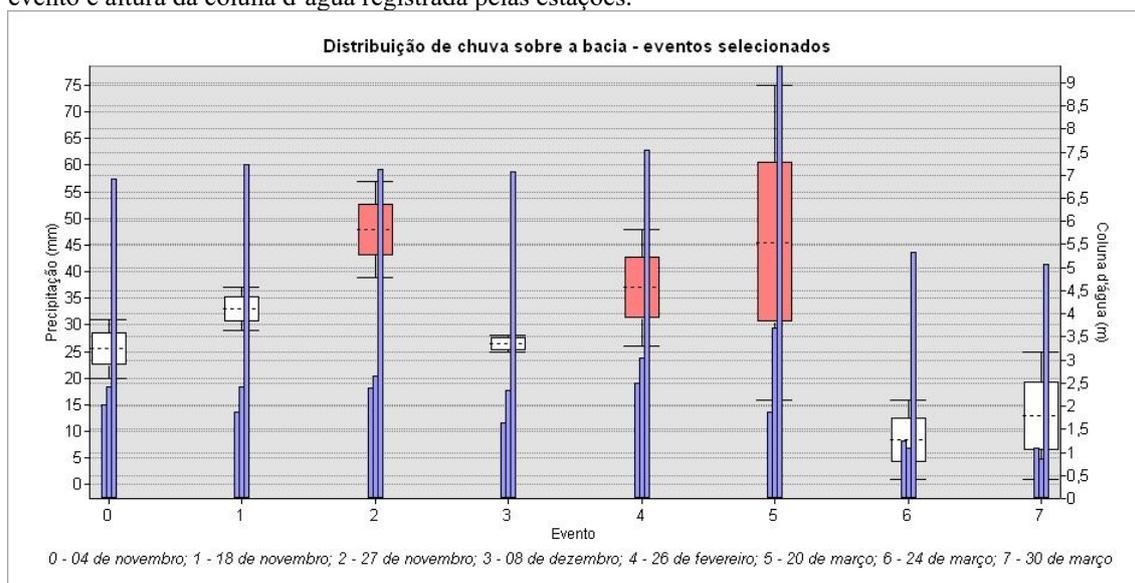
5.2. Análise pluvio/fluvimétrica.

Através da interpolação da precipitação diária em dias com eventos de inundação, realizada por krigagem, identificados pelas leituras das estações pluviométricas, foi possível proceder à generalização espacial da distribuição da precipitação, com resolução de 1 metro. As matrizes de dados resultantes da interpolação de cada dia com evento foram então processadas para obtenção de estatísticas zonais (**Quadro 13**). Isto é, considerando cada pixel (1x1m), se identificou a distribuição de valores para eles calculados na área da bacia.

Figura 38: Precipitação acumulada no dia 20/03/18 sobre a área de estudo para exemplificar interpolação realizada e altura da coluna d'água medida em cada estação pluviométrica.



Quadro 13: Concentração dos valores de chuva identificados sobre a bacia com a interpolação para cada evento e altura da coluna d'água registrada pelas estações.

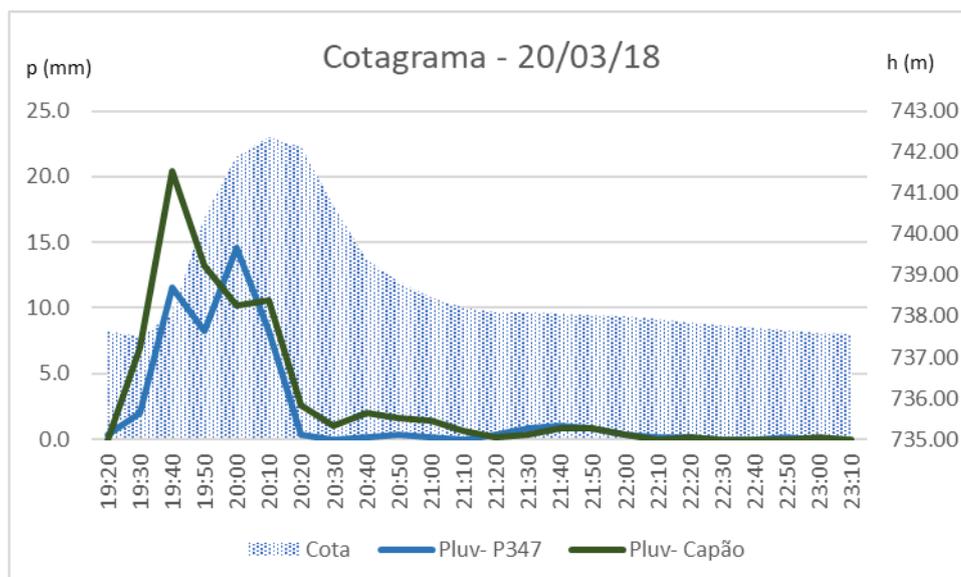


Entre os resultados encontrados, destaca-se que as chuvas em todos os dias com eventos tiveram dois tipos de distribuição apenas: acumulados totais diários considerados altos em toda a extensão da bacia, ou precipitação menor nos setores à jusante da bacia com grande concentração à montante. Isso significa que não foram identificados eventos em que houve chuva intensa exclusivamente no setor mais à jusante da bacia (onde está a estação P347, por exemplo).

No **Quadro 13** estão destacados em vermelho os três dias com maiores impactos registrados (interdição do trânsito, danos às edificações e perdas materiais): eventos 2, 4 e 5. É notável que nos dias desses três eventos os valores de precipitação interpolada estão concentrados acima dos 30mm (mais de 75% deles), sem mínimos menores que 15mm e com máximos acima dos 45mm. Essas três condições não aparecem conjuntamente em nenhum dos outros eventos e poderia ser tomada como indicadora de valores de precipitação diária indicadores de dias com eventos de inundação de grande impacto. Demais mapas resultantes da krigagem encontram-se no **APÊNDICE 2**.

Quando analisados pelas leituras de 10 em 10 minutos, os eventos de inundação identificados revelaram que sua duração (se marcada pelo início de uma progressão linear de aumento da cota até o final da regressão a um valor constante) em nenhum dos eventos supera 2 horas. Isto conforma indicador importante para a hipótese de que estas inundações possuem tipologia de *flash floods*, produtos de fluxos torrenciais mais comumente identificados em ambientes áridos ou montanhosos (HOOKE, 2019).

Figura 39: Cotagrama de cheia para o evento de inundação do dia 20/03/2018.



Com esta evidência, a série de dados de cotas da estação P347 foi investigada associada aos dados de precipitação da própria estação e da estação Capão Redondo. Isto teve como objetivo identificar qual a maior correlação identificável entre os valores de precipitação instantaneamente medidos e a cota, de acordo com o horário de medição, testando diferentes intervalos de *lag time*.

Quadro 14: Correlação entre valores de precipitação instantânea e cota, aplicando diferentes atrasos.

Correlação com Q em P237	r ²
Pluv t 0 em P237	0,350
Pluv t -10 em P237	0,532
<u>Pluv t -20 em P237</u>	<u>0,607</u>
Pluv t -30 em P237	0,563
Pluv t -40 em P237	0,467
Pluv t 0 em Capão	0,334
Pluv t -10 em Capão	0,512
Pluv t -20 em Capão	0,678
<u>Pluv t -30 em Capão</u>	<u>0,710</u>
Pluv t -40 em Capão	0,619

Como destacado no **quadro 14**, foi constatada então maior correlação da cota medida na estação P237 com a precipitação instantaneamente medida nesta estação 20 minutos antes e na estação Capão Redondo 30 minutos antes. Esta identificação de *lag time* tão curto, também corrobora com a identificação de ocorrências de inundações do tipo *flash floods*.

Ainda quanto aos valores de precipitação instantânea identificados durante os eventos de inundação, é válido destacar que todos registraram, no mínimo, chuvas com intensidade média de 0,5mm/min por mais de meia hora. Os eventos de inundações de

maiores impactos vieram acompanhados de picos de precipitação com intensidade superior a 1,5mm/minuto por menos de 20 minutos. Especificamente no caso do evento mais intenso do recorte temporal, o dia 20/03/2018, a chuva teve intensidade média superior a 1,3mm/min por mais de 40 minutos. Isto tem grande relevância, uma vez que permite concluir que os valores acumulados diários não revelam precisamente as chuvas produtoras de inundações. Isto, pois, se observado somente o total diário, todos os dias analisados desta temporada (inclusive os dois que não produziram inundações) tiveram acumulados diários considerados altos em ao menos uma estação. Todos os cotogramas de cheia encontram-se no **APÊNDICE 2**.

Tomando como exemplo a mancha de inundação simulada para o maior evento por modelo espacial, é possível visualizar a progressão da área potencialmente atingida ao longo de exatamente 40 minutos. Deve-se considerar que a dimensão e profundidade da mancha de inundação apresentada trata de valores potenciais e não efetivos. Para isto, foi realizada etapa de simulação através de modelos hidráulicos (ITEM 6.6).

Figura 40: Progressão de mancha de inundação do evento de 20/03/2018.

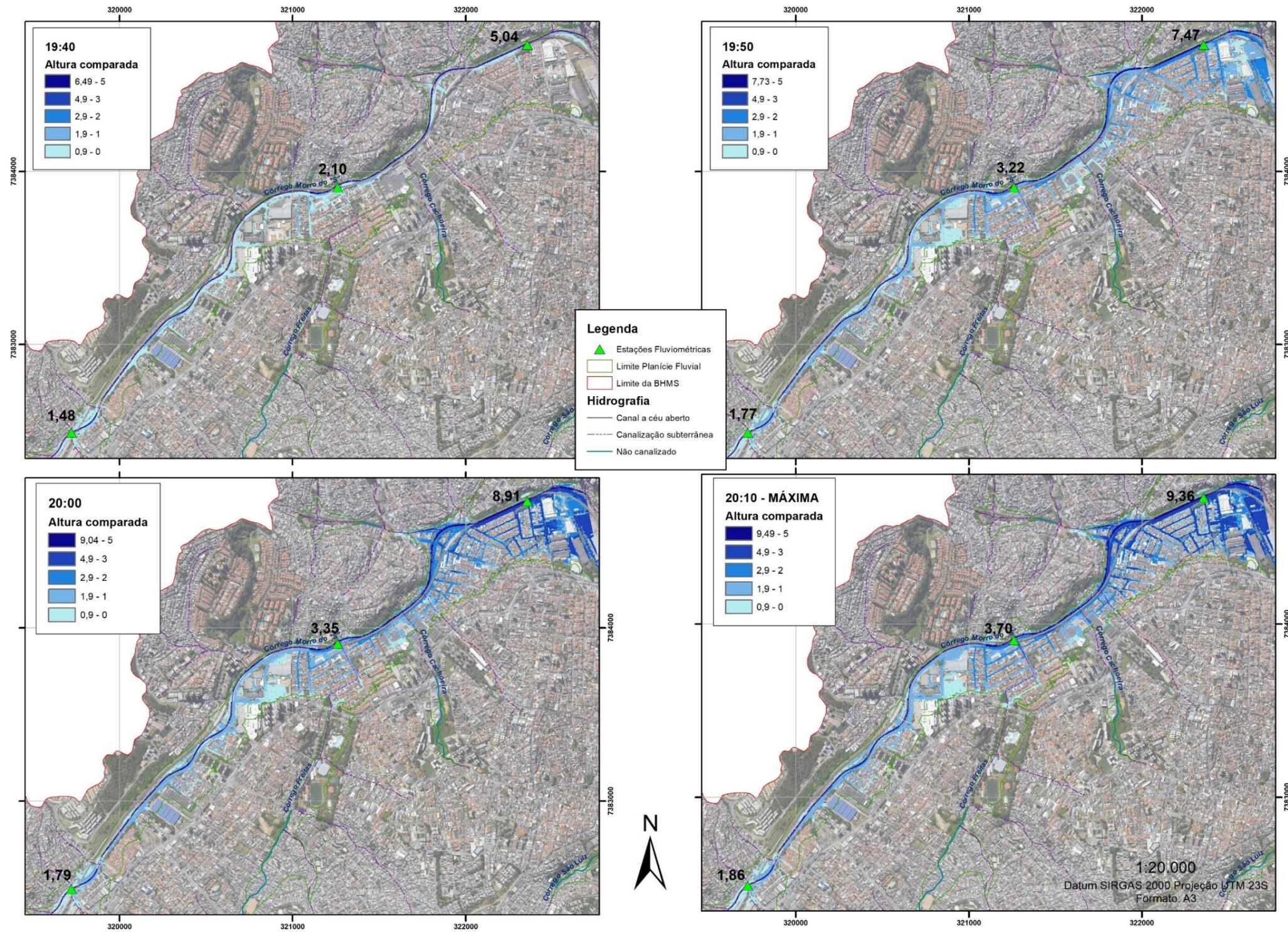
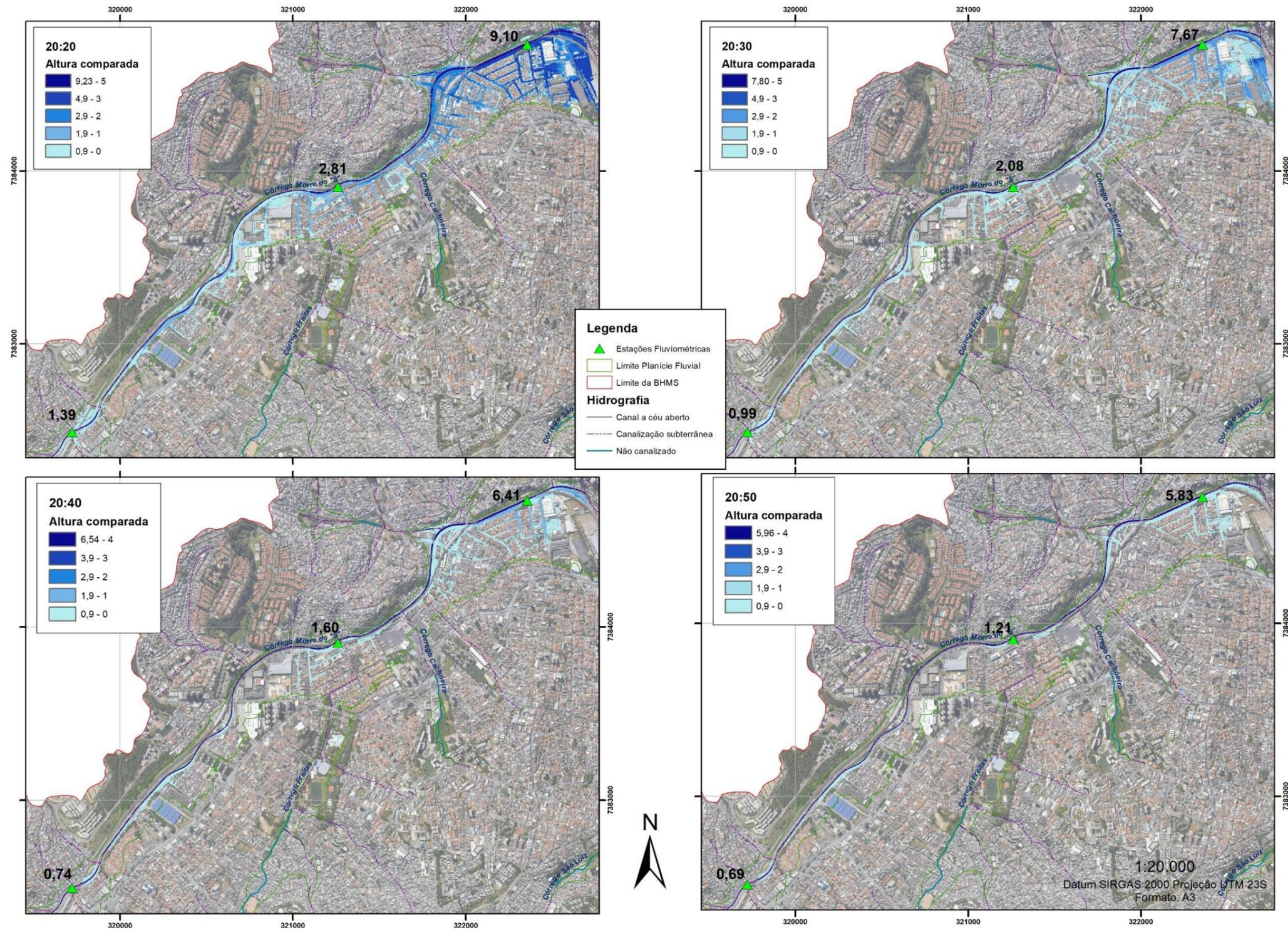


Figura 40: Progressão de mancha de inundação do evento de 20/03/2018. (continuação)

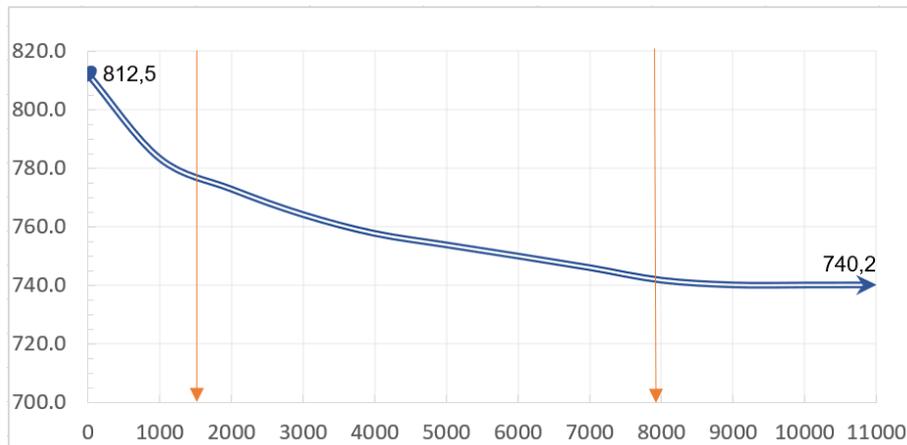


5.3. Análise hidrogeomorfológica.

A partir da restituição por estereoscopia analógica sobre aerofotos do período pré-urbano, foram identificados 1,358 Km² de superfície correspondente à planície fluvial original da área estudada. Destes, 0,985 Km² correspondem a planícies de inundação e 0,373 a terraços do primeiro nível. Estes possuem uma diferença altimétrica de 2 a 3 metros com relação à planície de inundação onde se encontram. Não foram identificados terraços de nível dois na área, bem como não foram encontradas morfologias correspondentes a *backswamps*.

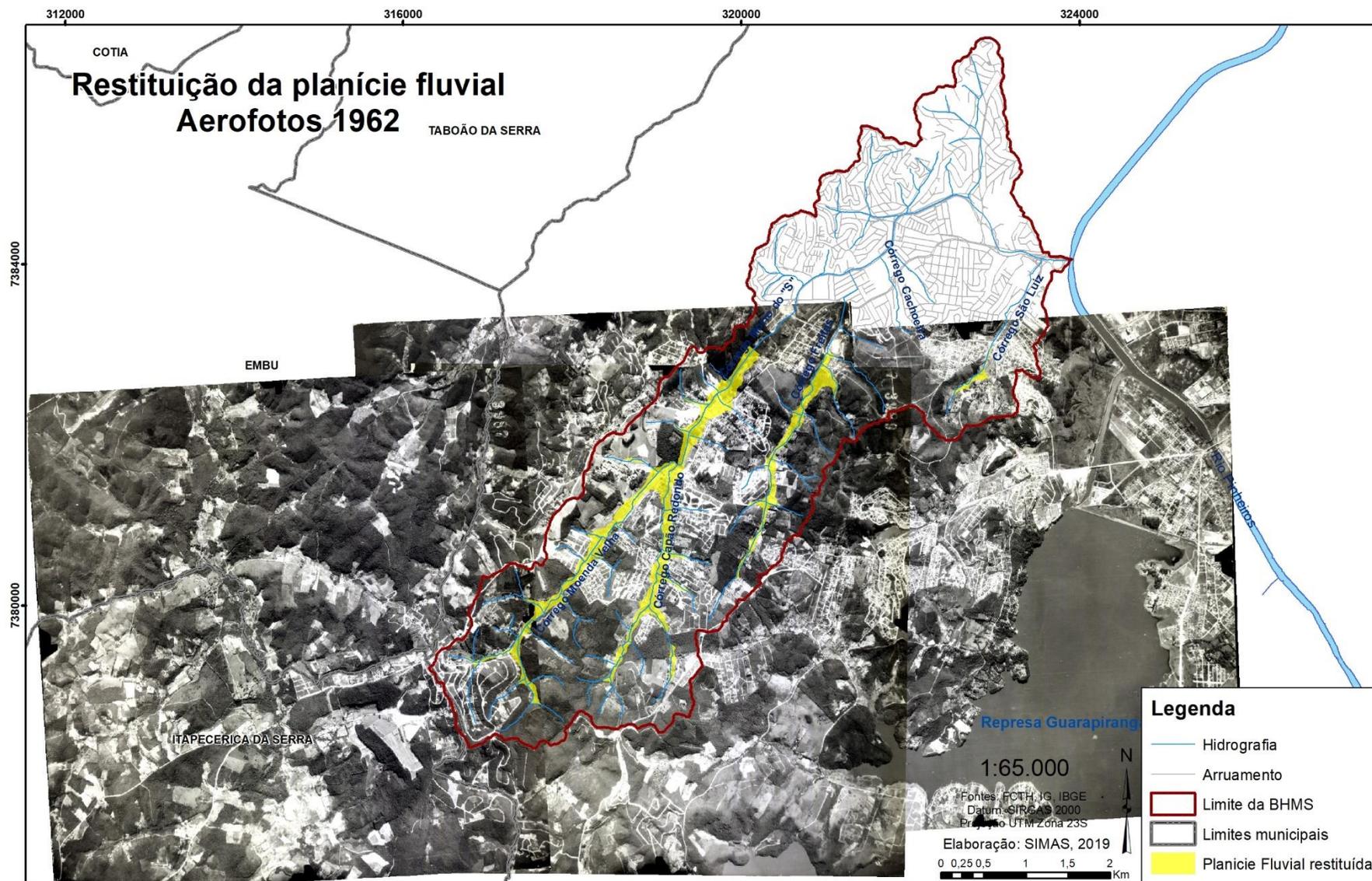
Em geral a ruptura entre o sistema vertente e sistema de planície fluvial nesta bacia é marcada por declividades superiores a 60 graus em diversos trechos da metade à montante, em grande parte explicado pela relativa homogeneidade encontrada nos materiais de seu embasamento (cristalino). O perfil longitudinal do curso principal da bacia, permite observar que há ao menos três setores, a partir da mudança na declividade ao longo do mesmo. O último e mais plano terço do perfil representa também o trecho artificial e retificado do canal, mais propenso à ocorrência de extravasamentos.

Figura 41: Perfil longitudinal do curso principal da bacia do córrego Morro do S.



Quanto ao que estas morfologias restituídas permitem inferir em relação à suscetibilidade espacial a inundações, é destacável a configuração de planície de inundação do tipo alveolar entre a confluência dos córregos Moenda Velha e Capão Redondo, onde há um estreitamento da planície de inundação de 365 metros para 90 metros. Já ao longo do curso principal, a partir deste ponto, a planície fluvial possui uma largura média de 170 metros, permitindo inferir maior tempo de residência neste setor, coincidindo com o terceiro setor observável no perfil longitudinal. Outros trechos de planícies de inundação alveolares também foram identificados nos trechos mais altos do Córrego Capão Redondo e Córrego São Luiz (**Figura 42**).

Figura 42: Fotos aéreas de 1962 e área restituída por estereoscopia analógica na bacia do Morro do S.



Com a restituição da planície fluvial por fotointerpretação, foi aplicado o modelo espacial para identificação da planície de inundação e terraços à montante sobre modelo digital de superfície. A projeção dos perfis levantados em trechos com cursos de canal não artificializado (**Figura 42**), levou à delimitação de uma área de 1,646 Km² onde as cotas altimétricas projetadas (**Figura 43**) produziram o mesmo padrão de gradiente altimétrico interior à planície, área 33% maior do que a área total de planície fluvial restituída por estereoscopia.

O modelo espacial foi então aplicado ao reverso, para fins de validação, utilizando perfis fluviais da metade à jusante da bacia sobre o um trecho da metade à montante onde encontram-se os cursos com canal não artificializado. Nesta área que continha aproximadamente 0,85 Km² de planícies de inundação, foram delimitados, a partir da aplicação reversa do modelo espacial, 1,13 Km². Assim, a porcentagem total de acerto do modelo espacial por área total delimitada foi próxima de 70%, desempenho considerado positivo em modelagem. Em geral, o modelo tendeu a superestimar os limites da planície fluvial (erro para mais), algo já esperado uma vez que os perfis fluviais tiveram de ser obtidos sobre modelo digital onde a altimetria do curso principal perfilado corresponde a um canal artificialmente aprofundado.

No entanto, dado o tipo de informação mapeada, é mais interessante considerar o desempenho do modelo pela identificação de localidades e não por total absoluto de área. Se tomado este viés, temos que 93,03% da área da planície fluvial restituída por estereoscopia neste trecho de teste também foi identificada pelo modelo. Ainda, a soma destas áreas corretamente identificadas pelo modelo corresponde a 86% do total de área delimitada por estereoscopia. Apenas 6,97% das áreas de planície de inundação restituídas não foram identificadas pelo modelo espacial (**Figura 44**).

Com esta avaliação de desempenho do modelo espacial para delimitação de planícies fluviais, podemos assumir sua coerência e viabilidade como método complementar aos procedimentos de restituição apoiados integralmente em fotointerpretações geomorfológicas. Isso representa resultado metodológico importante, uma vez que nesta pesquisa foram feitas escolhas técnicas, justificadas pelos objetivos traçados, que não exploram totalmente as indicações da morfologia original para a leitura de tendências de processos hidrológicos, como gradiente hidráulico e outros indicadores morfológicos da bacia.

Figura 43: Perfis fluviais em trechos de canal não artificializado e planícies fluviais identificadas por estereoscopia.

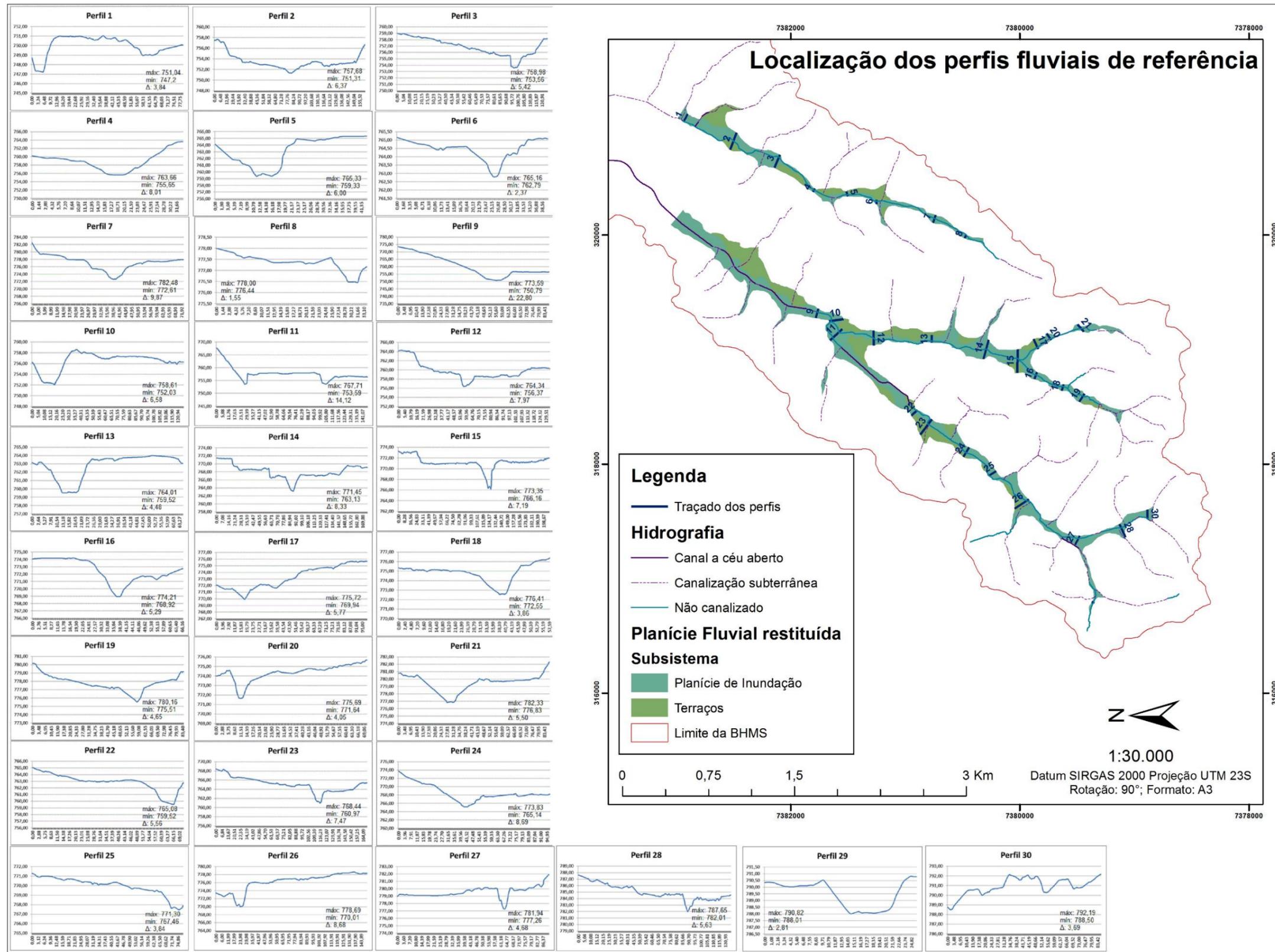


Figura 44: Projeção de cotas de planície fluvial sobre o curso principal e principais tributários.

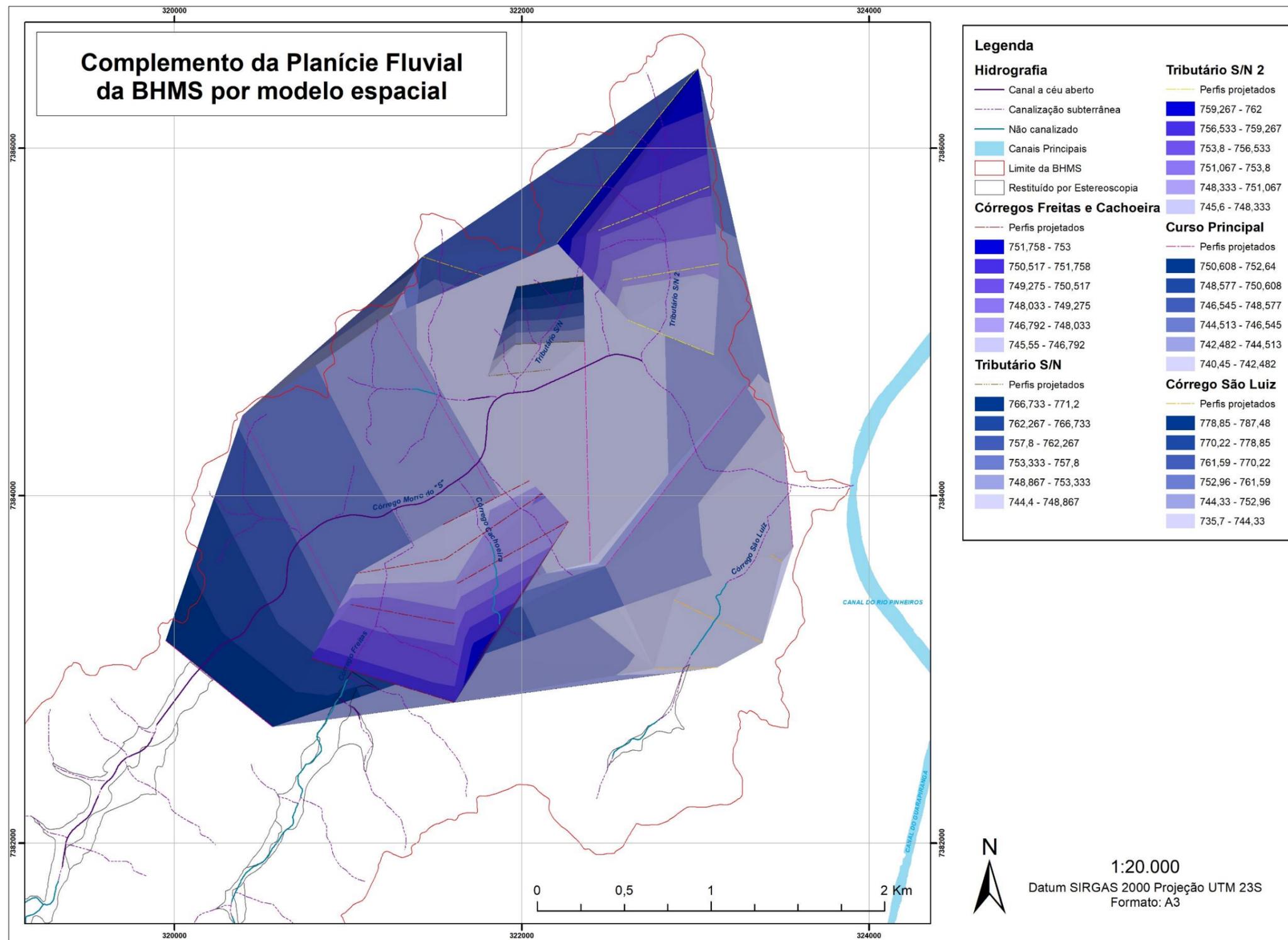
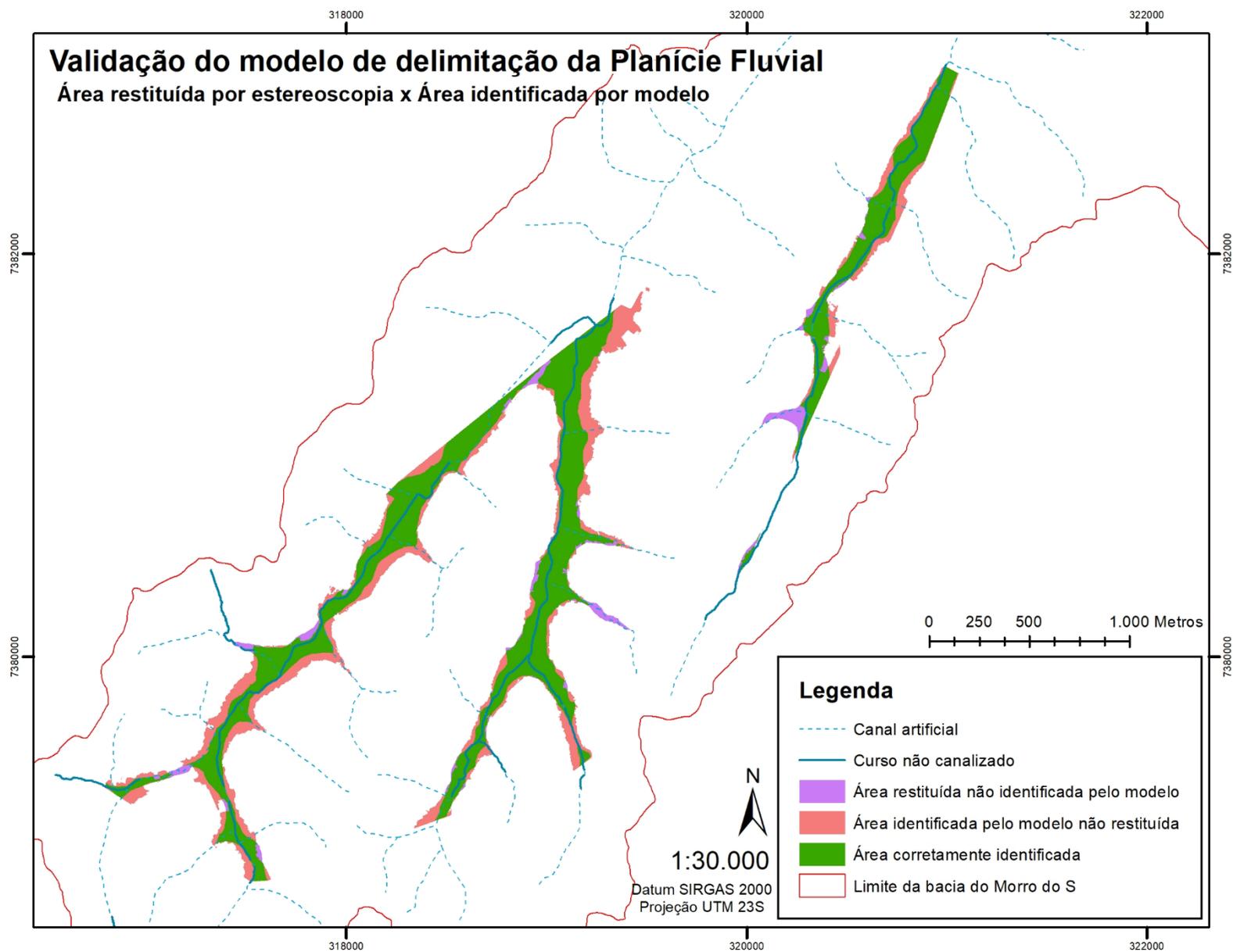


Figura 45: Validação do modelo espacial sobre a área restituída por estereoscopia.



Com a complementação dos limites da planície fluvial e seus compartimentos a partir do modelo espacial, identificou-se uma superfície total de 3,00 Km² correspondente a este sistema morfológico (13,27% da área total da bacia).

Quadro 15: Totais de área identificadas para subsistemas de planície fluvial da bacia analisada.

Tipo de restituição/Subsistema	Planície de Inundação	Terraço
<i>Por Estereoscopia</i>	0,985 Km ²	0,373 Km ²
<i>Por Modelo Espacial</i>	1,485 km ²	0,161 Km ²
Totais:	2,470 Km²	0,534 Km²

Dentre os resultados obtidos por esta complementação, destaca-se:

- A capacidade do modelo em identificar planície de inundação alveolares, em cursos tributários mais ao norte da bacia, desde que apoiados em estereoscopia parcial para interpolação ou espacialização
- O estreitamento na planície de inundação no último quilometro de extensão do curso principal, onde sua extensão passa de 410 metros a 130, indicando grande potencialidade genética deste setor do subsistema para comportar águas de extravasamento com um tempo de residência maior. Este local de estreitamento da planície coincide com a passagem entre as avenidas Carlos Caldeira Filho e João Dias, sendo local com transição de embasamento (indicado na carta geotécnica);
- Menor dimensão dos terraços na metade à jusante da bacia e proporção consideravelmente menor destes em relação à área total da planície de inundação. Sua diferença altimétrica em relação à planície de inundação subjacente se mantém no patamar de dois metros. Este resultado corrobora os achados compilados em RODRIGUES et al (2019), que apontam discontinuidades desta dimensão como limites recorrentes entre compartimentos da planície fluvial, o que serve de indicador às áreas que devem acomodar fluxos de extravasamento com maior frequência (eventos de tempo de recorrência inferior a 2 anos);
- A canalização subterrânea posicionou muitos cursos de primeira ordem fora da planície fluvial e dos setores côncavos da vertente. Isto ocasiona galerias de águas pluviais e redes coletoras de esgoto projetadas com declividades negativas que, por sua vez, criam condições favoráveis ao retorno para imóveis e extravasamento por bocas de lobo e poços de visita na ocasião de operação com carga máxima. Logo, é interessante realizar (em pesquisa futura) a busca por registros destes tipos de ocorrências nestas localidades onde os cursos de primeira ordem tiveram sua linha de talvegue deslocada.

Figura 47: Registros de campo para o trecho superior da planície fluvial, restituída por estereoscopia.

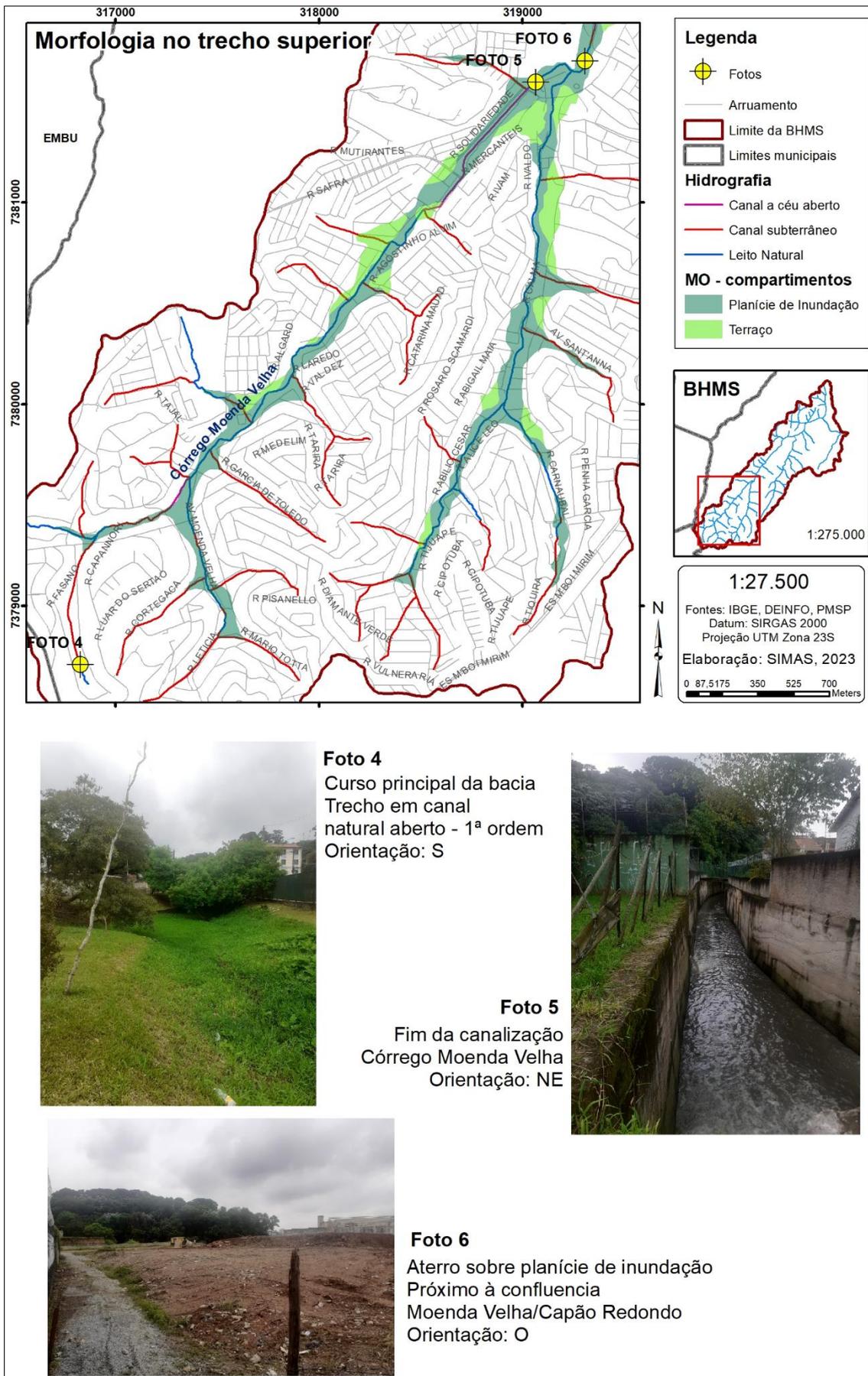
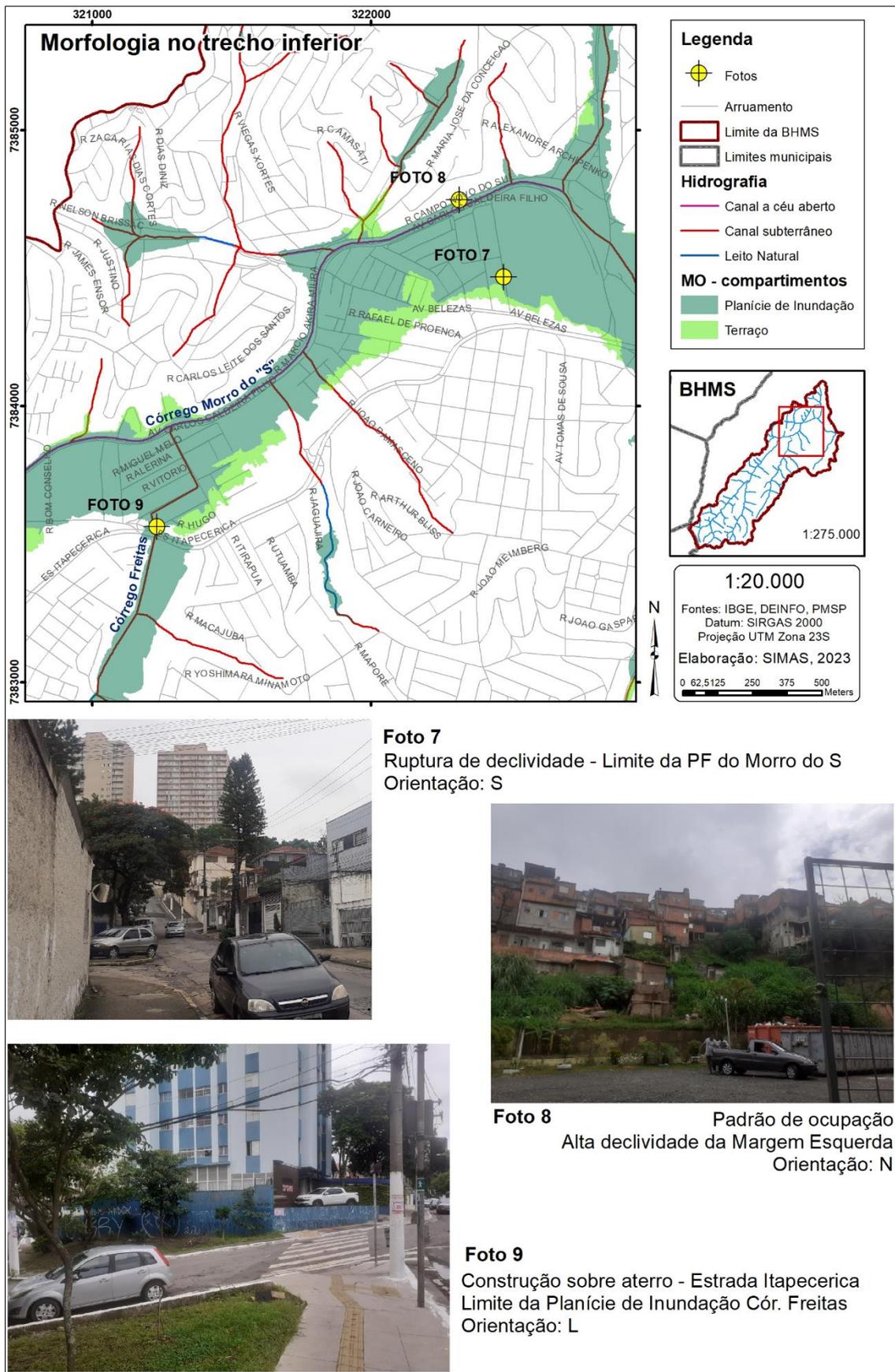


Figura 48: Registros de campo para o trecho inferior da planície fluvial, restituído por modelo espacial.



5. 4. Análise da Impermeabilização e Conectividade.

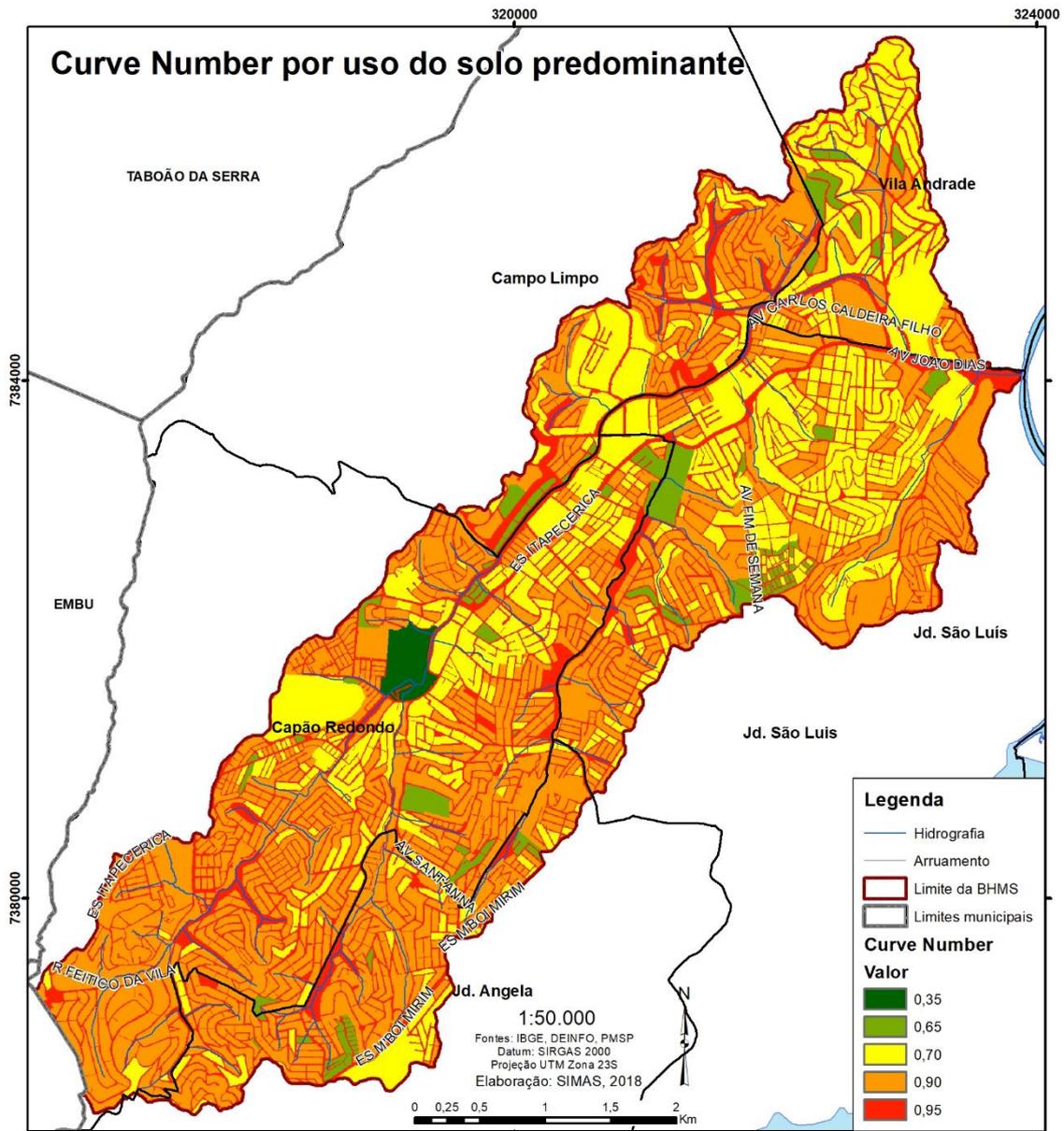
A associação entre variáveis que compõem os fatores “impermeabilização” e “conectividade” permitiram, de forma geral, realizar a leitura sobre certas tendências de processos que, mais tradicionalmente, seriam feitas por indicadores da geomorfologia (como índice de circularidade, sinuosidade) e análise de materiais. Embora seja reconhecida a importância destas análises aos estudos em geomorfologia direcionados a inundações, os resultados obtidos sobre estes dois fatores se mostraram promissores à pesquisa com enfoque forense, pela forma de operacionalização que apresentada.

O mapeamento produzido pela reclassificação das classes de uso do solo predominante para valores generalizados de CN, demonstram, de forma indexada, um padrão que já fora possível de ser identificado pela análise do padrão construtivo presente nos distintos setores da bacia.

As superfícies com valores baixos a médios de CN, concentram-se no terço mais baixo da bacia (distritos da Vila Andrade e Jardim São Luís) e ao longo da via marginal do Córrego Morro do S. Nestas localidades, a predominância de usos do tipo residencial de médio/alto padrão e comercial/misto, são coerentes com esta inferência de menor tendência à criação de altos índices de escoamento superficial concentrado, dado que os lotes são comparativamente maiores e são relativamente mais arborizados, configurando uma morfologia complexa específica, relevante para padrões de circulação hídrica.

Já as superfícies com maiores volumes de CN estão concentradas no terço mais alto da bacia (distritos do Capão Redondo e Jardim Ângela). É destacável a concentração de superfícies com valores da classe mais alta ao longo das áreas ocupadas por uso do solo residencial de baixo padrão ao longo do eixo dos córregos Capão Redondo e Freitas (**Figura 49**). A generalização de um maior potencial de geração de escoamento superficial concentrado nestes locais é coerente, devido ao baixo padrão construtivo predominante, densidade de arruamento, alta densidade construtiva em parcelas urbanas de pequena dimensão e praticamente inexistente presença de áreas permeáveis no interior dos lotes.

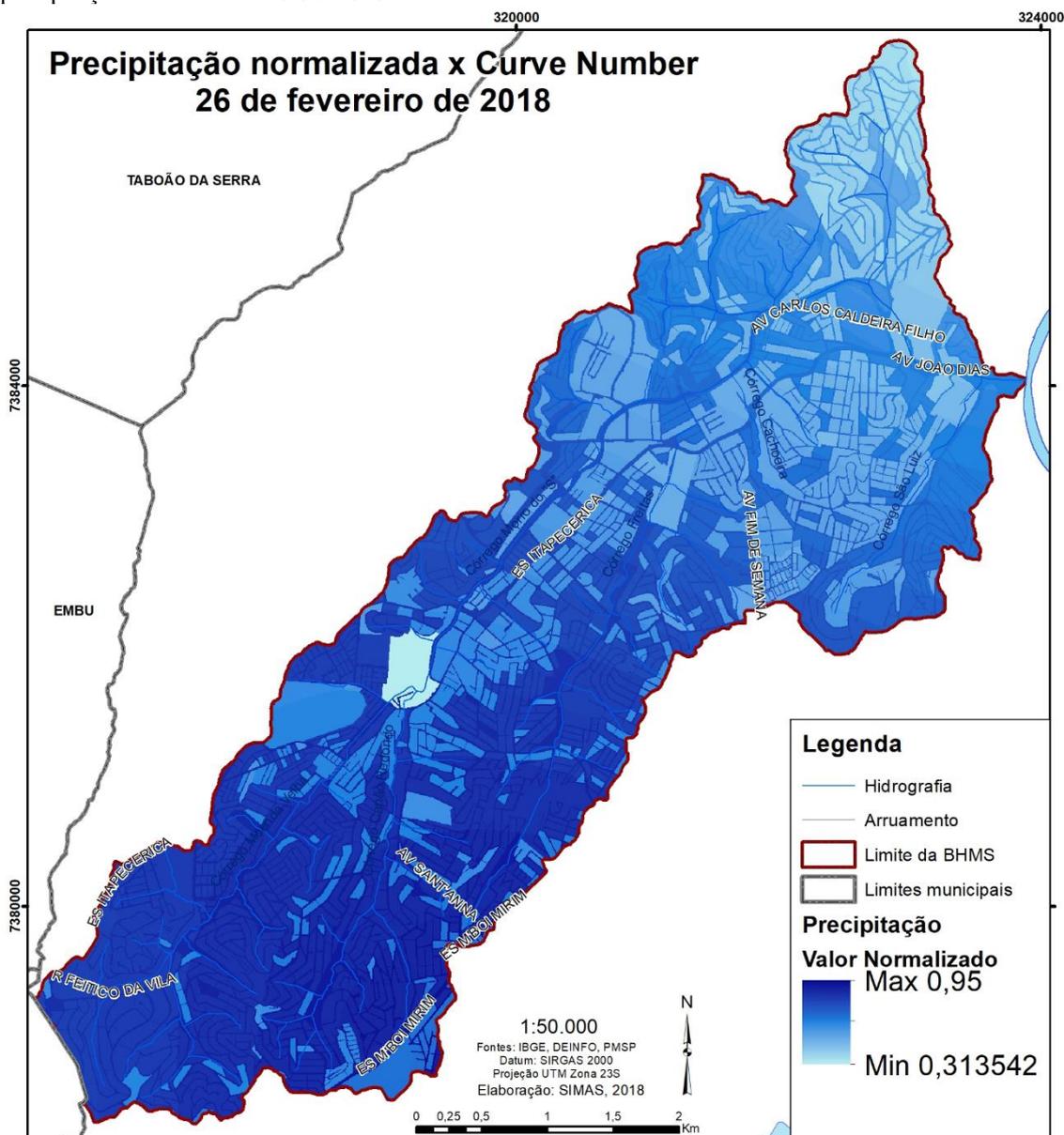
Figura 49: Distribuição dos valores de CN sobre a superfície da bacia analisada.



Reforça-se, portanto, a percepção de que estas áreas à montante da bacia, onde há combinação de maior declividade, maior densidade de cabeceiras de drenagem e alta densidade populacional em áreas residenciais de baixo padrão, são aquelas que potencialmente mais contribuem com a geração de runoff concentrado durante um evento de chuva intensa.

A partir disso, com o processamento dos valores de CN presentes em cada célula do raster junto dos valores normalizados de precipitação de cada evento chuvoso que provocou inundações no período analisado, foi possível analisar a participação relativa desta tendência em eventos com distintas características (de intensidade e concentração

Figura 51: Exemplo de raster produzido pelo cruzamento dos valores de CN e índice normalizado de precipitação do evento de 26/02//2018.



Portanto, é possível concluir que, ao analisar os histogramas dos rasters resultantes, há uma relação direta entre o valor médio do índice processado (chuva normalizada x CN) e a concentração da precipitação durante um dado evento. Ou seja, quanto mais concentrada tiver sido a chuva, menor o valor médio do histograma e, quanto menos concentrada e mais bem distribuída tiver sido a chuva, maior o valor médio do histograma, aumentando a importância relativa da impermeabilização da superfície para o evento de inundação.

Os valores médios encontrados no histograma de cada evento processado foram incluídos no quadro de resumo da análise (para ponderação pela técnica AHP), permitindo

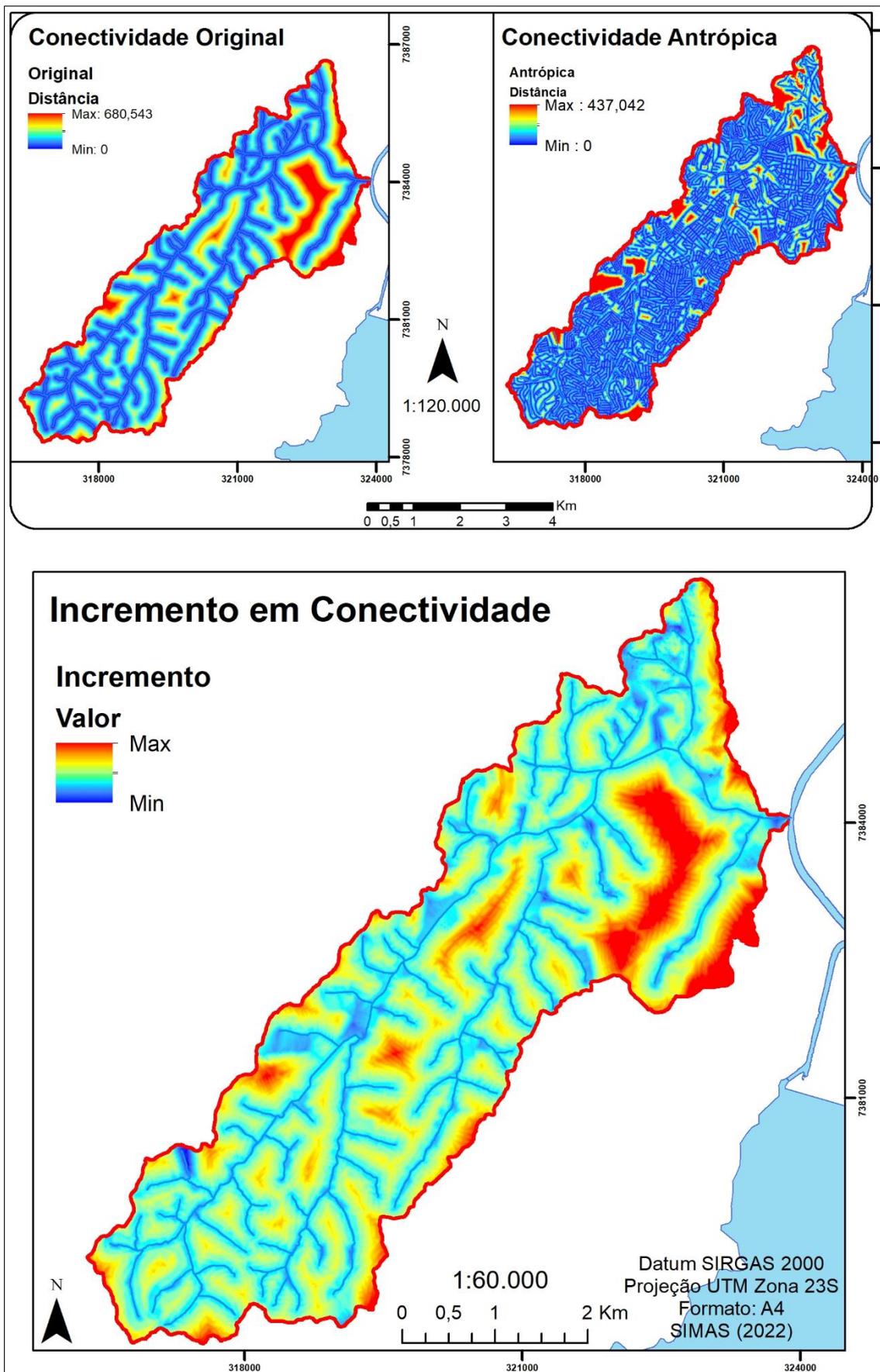
acessar, de forma generalizada, a participação da impermeabilização de superfície na efetivação de cada evento. Com exceção dos dois eventos de menor magnitude, para todos os demais foi identificado concentração das chuvas sobre áreas de impermeabilização superior a 65%.

Sobre a conectividade destacam-se, dentre os resultados obtidos, a constatação de que as unidades de área da bacia estudada encontravam-se em média a 125,7 metros de distância da drenagem mais próxima no cenário original, enquanto no cenário antrópico essa média cai para 28,4 metros. Isso significa uma redução em 77,4% na distância existente entre as unidades de área e estruturas de drenagem, permitindo evidenciar um incremento de conectividade de alta proporção na bacia como um todo. Espacialmente, nota-se que este incremento se concentra nos topos de interflúvio nos setores mais baixos do curso principal do Córrego Morro do S e do córrego São Luiz, no limite sudeste da bacia. Chama atenção o fato de que esta área destacada no mapa de calor encontra-se adjacente ao trecho do canal principal da bacia que mais recorrentemente registra eventos com transbordamento.

Quadro 16: Resumo do índice de conectividade dos cenários original e antrópico.

Cenário/ Conectividade	Distancia de uma célula a vetor de drenagem (em metros)		
	Média	Desvio padrão	Máximo
Original	125.7	101.8	680.0
Antrópico	28.4	36.5	437.0
Diferença	-97.3	-65.3	-243.0
Diferença %	-77.4%	-64.1%	-35.7%

Figura 52: Mapas calorimétricos de distância em superfície à drenagem mais próxima e comparação.



Quadro 17: Índice de concentração das chuvas sobre áreas com incremento em conectividade, em dias com inundações constatadas. Destacados dias com inundações de grande magnitude.

Evento	Média	Mínimo	Máximo
04/11/2017	11.98	-24.15	73.55
18/11/2017	12.51	-24.90	77.84
27/11/2017	12.04	-22.73	99.13
08/12/2017	14.39	-27.77	92.22
26/02/2018	12.26	-26.40	80.54
20/03/2018	8.83	-19.37	58.15
24/03/2018	5.14	-18.00	63.09
30/03/2018	6.13	-16.13	63.56

Quando feita a correlação dos valores normalizados de chuva sobre os valores normalizados de incremento em conectividade da superfície, não foi encontrada relação linear. Os eventos de menor magnitude (24 e 30/03/18) foram aqueles com a menor correlação, assim como o evento de maior magnitude de todo o período (20/03/18) também teve baixa concentração de chuvas sobre áreas artificialmente conectadas. Isso poderia ser indicativo de que, nestes eventos, independente da magnitude, não foi a distribuição espacial da chuva um fator determinante para a ocorrência da inundação. No caso do evento mais intenso, isso aponta à conclusão de que a precipitação foi intensa o suficiente para que a concentração ou não desta sobre áreas artificialmente conectadas não é fator determinante para a inundação, dado o grande volume total precipitado. Por outro lado, os dois eventos de menor magnitude, demonstrariam que a distribuição espacial da chuva também não possui grande relevância em eventos de inundações de duração muito curta e menor vazão. Logo, constatado que nem os volumes ou intensidade de precipitação, nem sua distribuição, teriam grande relevância para produção de evento de transbordamento de canal, torna-se necessária a observação de outras variáveis da superfície para se identificar os seus fatores causais.

Dentre os eventos que tiveram maior concentração da precipitação sobre áreas com incremento na conectividade, sobretudo 27/11/17 e 08/12/2017, é notável que os valores máximos superam os 90%, ou seja, os maiores volumes de precipitação se contrariam sobre as áreas que tiveram maior aumento na conectividade pela instalação de estruturas de drenagem. Neste caso, o fator de distribuição das chuvas sobre a bacia ganharia maior relevância na constatação da causalidade da inundação, sobretudo no caso do dia 08/12/2017, em que o volume total e intensidade da precipitação foram inferiores aos constatados em eventos de inundação equivalentes (como 04 e 18/11/17).

5.5. Modelagem de terreno e perda da capacidade de estocagem.

A partir das análises desenvolvidas sobre a modelagem de terreno, foi possível extrair diversas informações sobre a perda de capacidade de estocagem na planície fluvial da bacia amostral, ocasionada pela presença de edificações em seu interior.

Primeiramente, destacam-se dois pontos que vão de encontro a uma das hipóteses originais da pesquisa: O volume de estocagem perdida devido a presença de edificações na planície fluvial, durante a ocorrência do maior evento de inundação constatado no período, excede em 17 vezes a capacidade de armazenamento de todas as estruturas artificiais no interior da bacia (presentes e planejadas, segundo o Caderno da Bacia Hidrográfica do Morro do S, publicado pela FCTH). Este total de armazenamento artificial planejado/proposto para construção corresponde a apenas 1,1% da capacidade de estocagem total original da planície fluvial (**Quadro 18**).

Quadro 18: Resumo de quantitativos da análise de perda de capacidade de estocagem.

Diferença Total MDS-MDT	103.895.331,54 m ³
Total de Edificações na PF	14.078.419,1 m ³
Capacidade de armazenamento original	29.972.807,6 m ³
Total planejado para construção	332.000 m ³
Preço por m³ de estocagem artificial	205.83 US\$

Quadro 19: Volume de estocagem perdida com a presença de edificações na Planície Fluvial de acordo com a altura da coluna d'água sobre as margens plenas e valor correspondente.

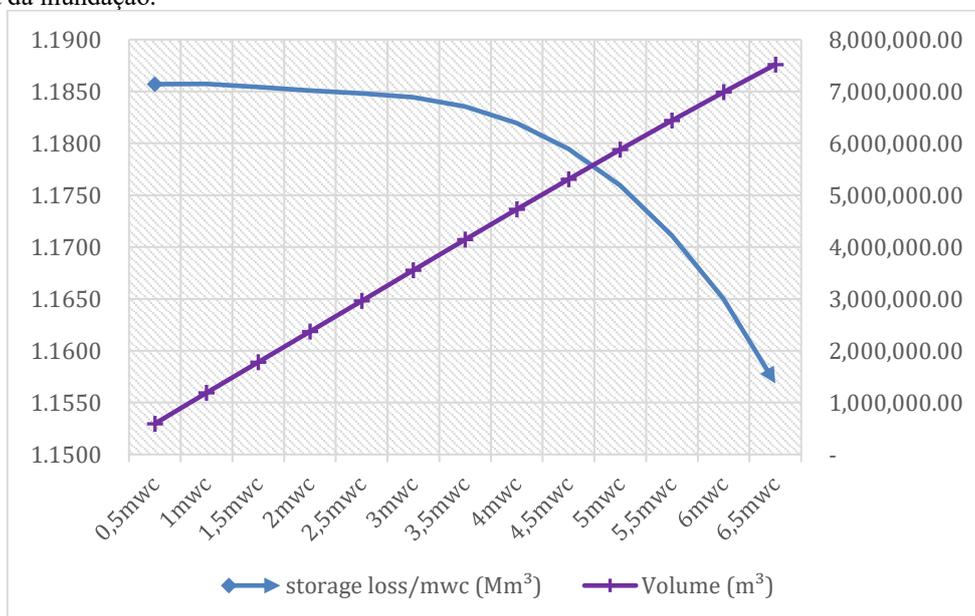
CENÁRIOS			
Altura coluna d'água	Volume (m ³)	Valor (US\$)	vol. perdido/mca (Mm ³)
0,5mca	592,856.80	\$ 122,029,691.33	1.1857
1mca	1,185,731.52	\$ 244,063,071.20	1.1857
1,5mca	1,778,130.15	\$ 365,998,455.88	1.1854
2mca	2,370,175.47	\$ 487,861,117.58	1.1851
2,5mca	2,962,018.19	\$ 609,682,077.44	1.1848
3mca	3,553,309.45	\$ 731,389,528.46	1.1844
3,5mca	4,142,431.41	\$ 852,650,465.23	1.1836
4mca	4,727,782.86	\$ 973,135,305.35	1.1819
4,5mca	5,307,599.70	\$ 1,092,480,938.25	1.1795
5mca	5,879,815.63	\$ 1,210,262,050.51	1.1760
5,5mca	6,441,187.33	\$ 1,325,811,058.76	1.1711
6mca	6,989,933.94	\$ 1,438,761,402.65	1.1650
6,5mca	7,519,541.67	\$ 1,547,772,327.08	1.1569

Conforme pode ser observado no **Quadro 19**, quando a planície fluvial é completamente preenchida (cenário criado por uma elevação média do nível da água de 6,5m sobre as margens plenas do canal artificial), o volume ocupado por edificações corresponde a 25% da capacidade de armazenamento original. Assim, uma vez considerado que a bacia analisada é representativa para a cidade de São Paulo, tomamos esta proporção baseada nos dados do **quadro 19** como indicativa do cenário problemático

de perda de capacidade de estocagem das planícies fluviais em seu sítio urbano. O índice de 25% de capacidade original perdida representaria, portanto, um patamar no qual este fator ganharia grande relevância na amplificação dos impactos de inundações.

O cenário presente de pressão exercida por este fator permite observar também que o volume perdido pela presença de edificações em um evento de inundação com 0,5m acima das margens do canal artificial já é suficiente para exceder o volume de armazenamento artificial planejadas para a bacia. Assim, considera-se que as medidas de engenharia estrutural, já aplicadas e planejadas/propostas, são insuficientes e não práticas para a compensação da perda do serviço ambiental naturalmente provido pela planície fluvial.

Figura 53: Tendência de perda da capacidade de estocagem e média de volume perdido por metro de coluna d'água da inundação.



Outro resultado interessante da análise da perda de capacidade de estocagem realizada pode ser observado na **Figura 53**. Enquanto o volume total perdido progride conforme o nível da água é elevado sobre as margens do canal principal da bacia, gerando manchas de inundação cada vez maiores até o completo preenchimento da morfologia da planície fluvial, a média de volume perdido para cada metro de altura da coluna d'água diminui. Isto leva à consideração de que os efeitos deste fator, ocupação da planície fluvial, serão mais sensíveis e proporcionalmente mais importantes na intensificação de um evento de inundação quanto menor for a magnitude do extravasamento. Logo, o atual cenário de perda da capacidade de estocagem natural (até 25% do volume original total) colaboraria em maior medida para aumento da proporção de danos em eventos de inundação que, em um cenário sem esta ocupação, não teriam efeitos tão adversos.

5.6. Modelagem Hidráulica.

Dentre os resultados da modelagem com emprego do software HAC-RAS, destaca-se que, como esperado, os valores de vazão encontrados para geração de eventos de inundação com as alturas de coluna d'água sobre a cota de margens plenas de cada evento de inundação superam em grande medida os valores de vazão de pico apresentados pela estação fluviométrica. A disparidade também progride exponencialmente quanto mais alta a coluna d'água e, conseqüentemente, quanto maior for a inundação registrada. Se observado o evento de maior magnitude (20/03/18), a vazão de pico apresentada pelo modelo supera em mais de 12 vezes o valor da estação, já que esta não considera a seção transversal de toda a área onde o fluxo está contido após o extravasamento.

Quadro 20: Valores de vazão modelados para fluxos sobre planície de inundação.

Evento	Altura (m)	Vazão de pico (m ³ /s)	
	P347	P347	P1000853
04/11/2017	6.92	1,700.00	205.00
18/11/2017	7.22	2,260.00	235.00
27/11/2017	7.13	2,060.00	405.00
08/12/2017	7.07	1,990.00	143.00
26/02/2018	7.53	2,930.00	434.00
20/03/2018	9.36	7,650.00	197.00
24/03/2018	5.34	270.00	96.00
30/03/2018	5.07	266.00	80.00
Máximo	6.50	13,500.00	1,020.00



Quadro 21: Comparação de variáveis com vazão registrada durante os eventos pela estação P347 (jusante).

Data do evento	Altura da coluna d'água (m)			Precipitação								Vazão (dados da estação)				
				Volume Total (mm)		Duração (min)		Intens. média (mm/h)		Máx 10 min (mm)		Volume Absoluto (m³)	Pico (m³/s)	Total (m³)	Média (m³/s)	Eficiência
	P347	P306	P1000853	P347	P1000853	P347	P1000853	P347	P1000853	P347	P1000853		P347	P347	P347	P347
04/11/2017	6.92	2.43	2.03	20.6	31.4	150	160	8.2	11.8	3.4	9.4	620,230.4	253.9	1,559,167.2	112.9	131.8%
18/11/2017	7.22	2.42	1.88	32.6	32.8	150	150	13.0	13.1	12.6	17	753,243.8	287.9	1,557,665.4	115.1	108.3%
27/11/2017	7.13	2.64	2.40	16.6	29.2	150	160	6.6	11.0	2.2	5.8	552,665.8	278.3	1,828,481.4	127.0	196.6%
08/12/2017	7.07	2.34	1.64	28.4	27.6	80	70	21.3	23.7	15.4	18.4	642,944.5	270.7	1,404,385.2	104.4	103.0%
26/02/2018	7.53	3.05	2.50	34.2	42.6	240	190	8.6	13.5	9.8	11.2	901,035.4	326.4	1,898,874.0	138.7	128.4%
20/03/2018	9.36	3.70	1.86	50.2	73.6	190	160	15.9	27.6	14.6	20.4	1,472,363.4	607.8	2,531,718.0	175.8	121.6%
24/03/2018	5.34	1.09	1.25	4.6	5	30	40	9.2	7.5	3.4	2.2	111,314.5	115.6	841,941.0	72.5	89.8%
30/03/2018	5.07	0.85	1.09	2.8	1.6	30	40	5.6	2.4	1.2	0.6	48,118.0	98.2	785,746.3	64.1	90.9%

Quadro 22: Comparação de variáveis com a vazão modelada para a seção da estação P347, incluindo planície fluvial.

Data do evento	Altura da coluna d'água (m)			Precipitação								Vazão (HEC-RAS)				
				Volume Total (mm)		Duração (min)		Intens. média (mm/h)		Máx 10 min (mm)		Volume Absoluto (m³)	Peak (m³/s)	Total (m³)	Média (m³/s)	Eficiência
	P347	P306	P1000853	P347	P1000853	P347	P1000853	P347	P1000853	P347	P1000853		P347	P347	P347	P347
04/11/2017	6.92	2.43	2.03	20.6	31.4	150	160	8.2	11.8	3.4	9.4	620,230.4	1700.0	1,195,820.0	90.59	73.2%
18/11/2017	7.22	2.42	1.88	32.6	32.8	150	150	13.0	13.1	12.6	17	753,243.8	2260.0	1,243,950.0	98.73	66.6%
27/11/2017	7.13	2.64	2.40	16.6	29.2	150	160	6.6	11.0	2.2	5.8	552,665.8	2060.0	1,243,760.0	86.37	90.8%
08/12/2017	7.07	2.34	1.64	28.4	27.6	80	70	21.3	23.7	15.4	18.4	642,944.5	1990.0	1,193,410.0	94.72	70.2%
26/02/2018	7.53	3.05	2.50	34.2	42.6	240	190	8.6	13.5	9.8	11.2	901,035.4	2930.0	1,498,830.0	118.95	84.0%
20/03/2018	9.36	3.70	1.86	50.2	73.6	190	160	15.9	27.6	14.6	20.4	1,472,363.4	7650.0	2,172,700.0	150.88	97.2%
24/03/2018	5.34	1.09	1.25	4.6	5	30	40	9.2	7.5	3.4	2.2	111,314.5	270.0	969,190.0	89.74	204.1%
30/03/2018	5.07	0.85	1.09	2.8	1.6	30	40	5.6	2.4	1.2	0.6	48,118.0	266.0	938,070.0	78.17	407.5%

É esperado que o valor encontrado para eficiência seja sempre inferior a 100%, uma vez que a bacia em questão não possui outras fontes relevantes no fornecimento de água além da origem pluvial. Mesmo se considerada a água transposta à bacia, através das redes de abastecimento de água, que viria a ser despejada no sistema através de perdas e interceptações existentes nas redes de coleta de esgoto e galerias pluviais, o volume não seria relevante para causar alterações sensíveis em eventos de inundação em uma bacia desta escala. Para comparação, o maior sistema de fornecimento de água tratada da região metropolitana de São Paulo, possui vazão de $33\text{m}^3/\text{s}$ e, mesmo se esse volume fosse totalmente despejado no córrego Morro do S, representaria menos de 13% da vazão modelada para o menor evento de inundação do período. Por outro lado, a possibilidade de identificação de um percentual de eficiência ligeiramente superior a 100% é plausível para eventos de menor magnitude, a depender de condições antecedentes presentes na bacia, como retenção de água de eventos de precipitação precedente como umidade do solo ou na rede de microdrenagem.

Nota-se que os dados de vazão apresentados pela estação fluviométrica P347 subestimam a vazão de pico, nestes eventos em que há extravasamento. Isso, pois, os mesmos são obtidos a partir de uma curva-chave que considera tão somente a seção transversal do canal artificial, como anteriormente citado. Quando calculado o volume absoluto de descarga efetiva durante o evento de inundação, nota-se que os dados apresentados pela estação tendem a ser maiores que os valores modelados para os 6 maiores eventos e menores para os 2 menores (onde o extravasamento foi de poucos centímetros acima das margens plenas). Para os maiores eventos, o volume absoluto de deflúvio obtido com base na estação implica em uma eficiência sempre superior a 100%, o que serve de evidência para sua inadequação, com base no que foi anteriormente mencionado sobre a plausibilidade de outras fontes de água no sistema além do evento de precipitação intensa. Isso se dá pelo maior valor médio calculado para a duração do evento. No caso dos dois menores eventos, nota-se que o índice de eficiência encontrado é plausível quando considerados os dados da estação, e muito superiores quando considerados os valores obtidos pela modelagem.

Analisando-se a eficiência calculada a partir dos valores absolutos de deflúvio resultantes da modelagem, nota-se esta é maior para justamente os três eventos de maior magnitude do período. Já os valores modelados para os dois menores eventos podem ser presumidos como exagerados. Ou seja, o modelo demonstrou-se adequado para a modelagem de eventos de maior magnitude, trazendo valores factíveis onde os dados da

estação não são confiáveis, mas os mesmos parâmetros não são adequados para eventos de menor magnitude e duração sendo, neste caso, preferido considerar os dados apresentados pela estação pluvial.

Desta forma, o índice de efetividade permite considerar que a bacia possui uma tendência muito alta a converter volumes de precipitação incidente em deflúvio efetivo, sendo esta tendência mais sensível às características de distribuição espacial de cada evento chuvoso, já que as condições de uso do solo e cobertura da superfície são assumidas como constantes no período. Assim, é possível afirmar que, uma vez que a eficiência foi superior a 50% em todos os eventos, a alta impermeabilização presente na bacia é uma variável indispensável para a alta proporção de deflúvio gerado, independente de condições precedentes, mas esta eficiência é maior quando a precipitação é concentrada sobre áreas altamente conectadas (como foi o caso dos eventos de 27/11, 26/02 e 30/03). Já o evento de 20/03, um evento de precipitação de magnitude excepcional, com alta intensidade sobre toda a bacia, foi aquele que teve a maior proporção de precipitação convertida em deflúvio, demonstrando que a magnitude da chuva prevalece sobre as características da superfície que a recebe a partir de um limiar que estaria próximo aos 50mm.

Os eventos de 24/03 e 30/03 serviriam à demonstração de casos em que, mesmo com precipitação relativamente baixa e de menor intensidade, a eficiência da bacia em torná-la deflúvio assumiu papel importante para que eventos de inundação ocorressem, embora com menor duração e altura, quando esta se aproxima dos 90%.

A modelagem das manchas de inundação em cenários com presença das edificações dentro da planície de inundação e sem as mesmas (resumo nos **Quadros 23 e 24**), utilizando-se de modelo hidráulico dinâmico, permitiu observar que:

Considera-se que as profundidades máximas resultantes são coerentes com os dados de nível apresentados pelas estações que monitoram o curso principal da bacia. Os valores superiores aos apontados pelas estações justificam-se pelo fato de que o modelo extrapola estes dados mensurados até a foz no Rio Pinheiros;

Em todos os eventos, a área da mancha de inundação é menor no cenário em que há presença de edificações na planície de inundação. O primeiro motivo, e mais óbvio, é que o modelo considera que as edificações são objetos sólidos e o espaço ocupado por elas não pode ser ocupado pela água até que sua altura seja superada. O segundo fator diz respeito ao vetor de propagação da mancha de inundação. Seu desenvolvimento ao longo do tempo permite observar como as edificações barram a propagação da mancha de

inundação, tornando-a mais restrita às áreas onde ela pôde se expandir durante o início da onda de maior vazão;

A profundidade máxima tende a ser maior no cenário em que as edificações estão presentes, devido ao efeito de restrição do espriamento da água extravasada pelo canal. Há 3 eventos em que essa tendência não se confirmou, inclusive no evento de maiores impactos registrados (20/03/18) em que a profundidade máxima no cenário com edificações foi 25% menor do que a máxima modelada no cenário sem edificações. Conjectura-se que o modelo respondeu desta forma em eventos onde a vazão de pico superaria um limiar que leva ao maior acúmulo de água na planície de inundação do Pinheiro do córrego São Luiz, barrando a saída do sistema. O mesmo não ocorreria no cenário com edificações, pois, o barramento hidráulico provocado por estas distribui a mancha de inundação também a setores mais à montante.

Com isso, faz-se importante destacar que, dentro os resultados da modelagem, é altamente relevante a identificação de que em todos os eventos os valores de profundidade média da mancha de inundação são altamente incrementados no cenário com presença de edificações (diferença que chega a 78,3%). Isso reforça o que foi anteriormente considerado, de que as edificações representam obstáculos hidráulicos que geram uma mancha de inundação mais constricta e de profundidade mais igualmente distribuída.

Por consequência, também é notável que o volume da mancha de inundação é sensivelmente maior no cenário com edificação (entre 22,2% e 35,1%). Considera-se que este configura indicador que melhor reflete as diferenças de magnitude entre os eventos, uma vez que permite acessar a dimensão especial do evento e a eficiência da morfologia em estocar água derivada do extravasamento. Assim, seria indicador particularmente útil à identificação da participação da presença de edificações como fator influente na ocorrência ou agravamento de impactos de uma inundação.

Quadro 23: Indicadores de área, profundidade e volume modelados para os eventos de inundação constatados.

Evento	Área (m ²)			Profundidade (m)						Volume (m ³)		
	Sem Edif.	Com Edif.	Diferença	Sem Edif.		Com Edif.		Diferença		Sem Edif.	Com Edif.	Diferença
				Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima	Média			
04/11/2017	995,014.00	753,900.00	-24.2%	8.72	0.92	8.25	1.64	-5.4%	78.3%	915,412.88	1,236,396.00	35.1%
18/11/2017	912,100.00	723,000.00	-20.7%	9.74	1.14	8.45	1.88	-13.2%	64.9%	1,039,794.00	1,359,240.00	30.7%
27/11/2017	1,007,300.00	816,600.00	-18.9%	7.24	1.08	8.6	1.77	18.8%	63.9%	1,087,884.00	1,445,382.00	32.9%
08/12/2017	777,700.00	676,500.00	-13.0%	7.07	1.28	8.42	1.95	19.1%	52.3%	995,456.00	1,319,175.00	32.5%
26/02/2018	977,800.00	756,800.00	-22.6%	6.98	0.83	8.2	1.49	17.5%	79.5%	811,574.00	1,127,632.00	38.9%
20/03/2018	1,013,500.00	806,700.00	-20.4%	11.24	1.05	8.41	1.69	-25.2%	61.0%	1,064,175.00	1,363,323.00	28.1%
24/03/2018	521,100.00	451,300.00	-13.4%	6.74	1.24	7.55	1.75	12.0%	41.1%	646,164.00	789,775.00	22.2%
30/03/2018	619,000.00	595,400.00	-3.8%	7.05	1.21	8.38	1.68	18.9%	38.8%	748,990.00	1,000,272.00	33.5%

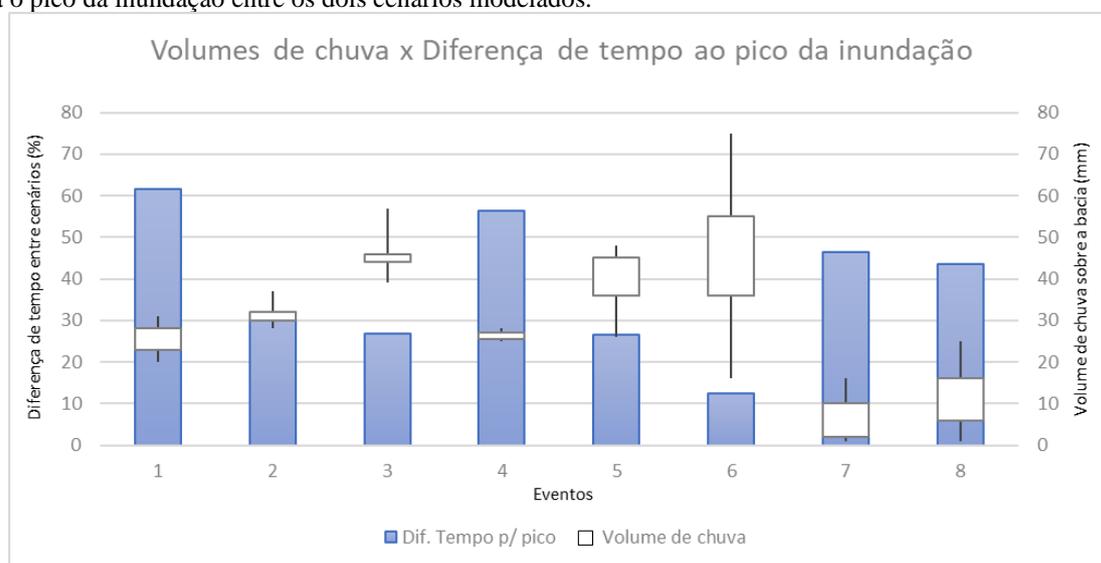
Quadro 24: Indicadores de velocidade e tempo para o pico modelados para os eventos de inundação constatados.

Evento	Velocidade (m/s)						Tempo p/ pico (min)		
	Sem Edif.		Com Edif.		Diferença		Sem Edif.	Com Edif.	Diferença
	Máxima	Média	Máxima	Média	Máxima	Média			
04/11/2017	4.4	0.5	4.51	0.44	2.5%	-12.0%	65	105	61,53%
18/11/2017	5.02	0.75	4.74	0.54	-5.6%	-28.0%	95	125	31,57%
27/11/2017	4.32	0.58	4.95	0.52	14.6%	-10.3%	130	165	26,92%
08/12/2017	4.04	0.56	4.69	0.55	16.1%	-1.8%	80	125	56,25%
26/02/2018	3.83	0.38	4.46	0.3	16.4%	-21.1%	75	95	26,66%
20/03/2018	4.99	0.66	4.69	0.5	-6.0%	-24.2%	80	90	12,50%
24/03/2018	3.28	0.3	3.66	0.23	11.6%	-23.3%	140	205	46,42%
30/03/2018	4	0.59	4.64	0.57	16.0%	-3.4%	115	165	43,47%

Quanto à velocidade de fluxo da água nas manchas de inundação modeladas, pôde-se observar que a velocidade máxima tende a ser maior no cenário com presença de edificações. A velocidade média, no entanto, é sempre reduzida, produzindo um resultado coerente do aquilo que foi previamente identificado, do efeito de barramento hidráulico provocados por estas edificações. Com isso, também é coerente o resultado de que, em todos os eventos, o tempo para pico da inundação (medido em minutos pela diferença do horário de início do aumento de nível no canal até a maior altura registrada) sempre é maior no cenário com edificações dentro da planície fluvial.

A diferença no tempo para pico da inundação configura um dos indicadores que pôde ser correlacionado com o volume de chuvas registrado sobre a bacia no dia do evento de inundação modelado. Observando-se o **Quadro 25**, é visível que nos eventos com chuvas de maiores volume, concentração e valores máximos, a diferença causada pela presença de edificações na planície de inundação sobre o tempo para pico foi menor. Ou seja, conjectura-se que há limiar a partir do qual o input de precipitação possui tal relevância para a ocorrência de uma inundação, que a presença destes obstáculos dentro do sistema de escoamento passa a ter menor influência na dinâmica do fenômeno. Enquanto isso, pelo outro lado, em eventos que a precipitação não possui tão grande intensidade, em que não atinge este limiar, a presença das edificações teria uma importância maior para definir as características do fenômeno de inundação produzido, como o tempo de permanência da mancha de inundação. O que, por sua vez, significa maior tempo de exposição dos elementos em risco a contaminantes, degradação causada pelo contato com a água e interrupção de fluxos urbanos.

Quadro 25: Volumes de chuva em cada evento identificados pela interpolação sobre a bacia e diferença de tempo para o pico da inundação entre os dois cenários modelados.



Observando-se os mapeamentos das manchas de inundações modeladas (Figuras 50 a 55), escolhidas como exemplos do maior evento de inundação do período e um dos de menor magnitude, é possível observar:

- O modelo aponta que as maiores profundidades das manchas de inundação geradas são sempre encontradas próximo à foz (Planície do Rio Pinheiros) e na planície de inundação do córrego São Luíz;
- Nos eventos de maiores inundações, a presença de edificações causou os maiores aumentos na profundidade média das manchas de inundação, as maiores diminuições de área atingida e a menor variação no tempo para pico da inundação;
- Nos eventos de menores inundações, a presença de edificações causou a menor redução proporcional de área atingida, o menor aumento de profundidade média da mancha de inundação e o maior retardo no tempo para pico da inundação;
- Há trecho do canal principal, entre o Córrego Freitas e o local da estação fluviométrica “Capão Redondo” que, em eventos de menor intensidade, somente é inundado no cenário com edificações;
- Há trecho a jusante do Córrego Cachoeira que somente é atingido pela mancha de inundação em cenários sem a presença das edificações, sendo “protegido” pelo efeito do barramento hidráulico já citado. Sobretudo nos eventos de maior magnitude, foi possível observar que o volume de água que para lá seria direcionado é acumulado expandindo a mancha em trechos mais à montante ou ampliando a profundidade de trechos de menor área à jusante;
- Com a presença de edificações, a velocidade de fluxo é sempre incrementada nos trechos mais à montante e próximas ao canal principal, e muito reduzida nas áreas de extravasamento sobre a planície de inundação, sobretudo no trecho mais jusante da bacia.
- 99% das áreas de todas as manchas de inundações modeladas ficaram totalmente contidas na área da planície fluvial restituída.

Figura 54: Comparação de profundidade da mancha de inundação - evento de 20/03/2018.

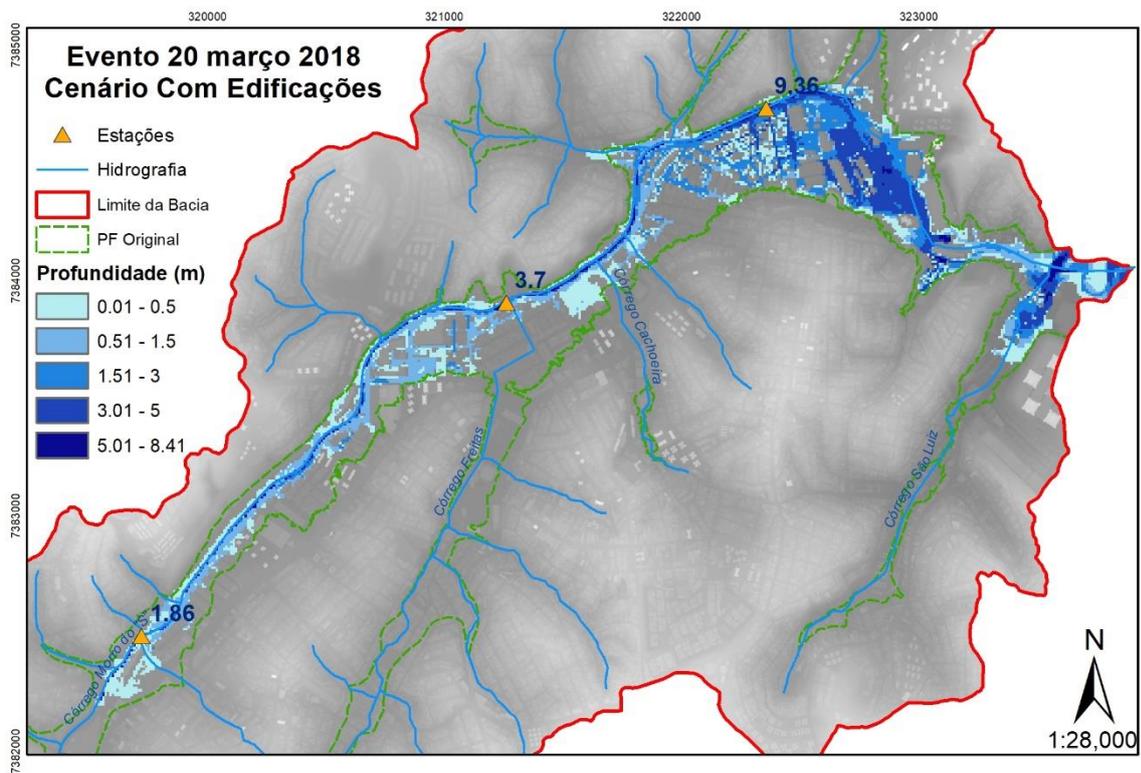
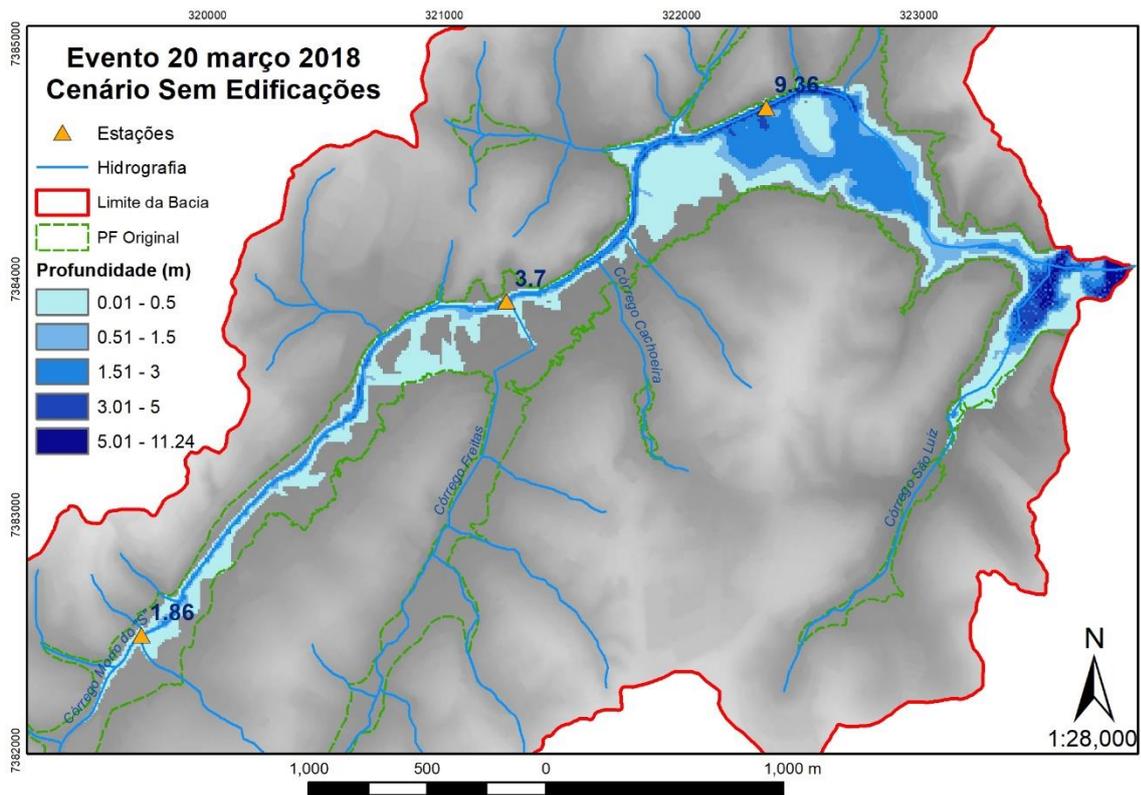


Figura 55: Comparação de velocidade do fluxo - evento de 20/03/2018.

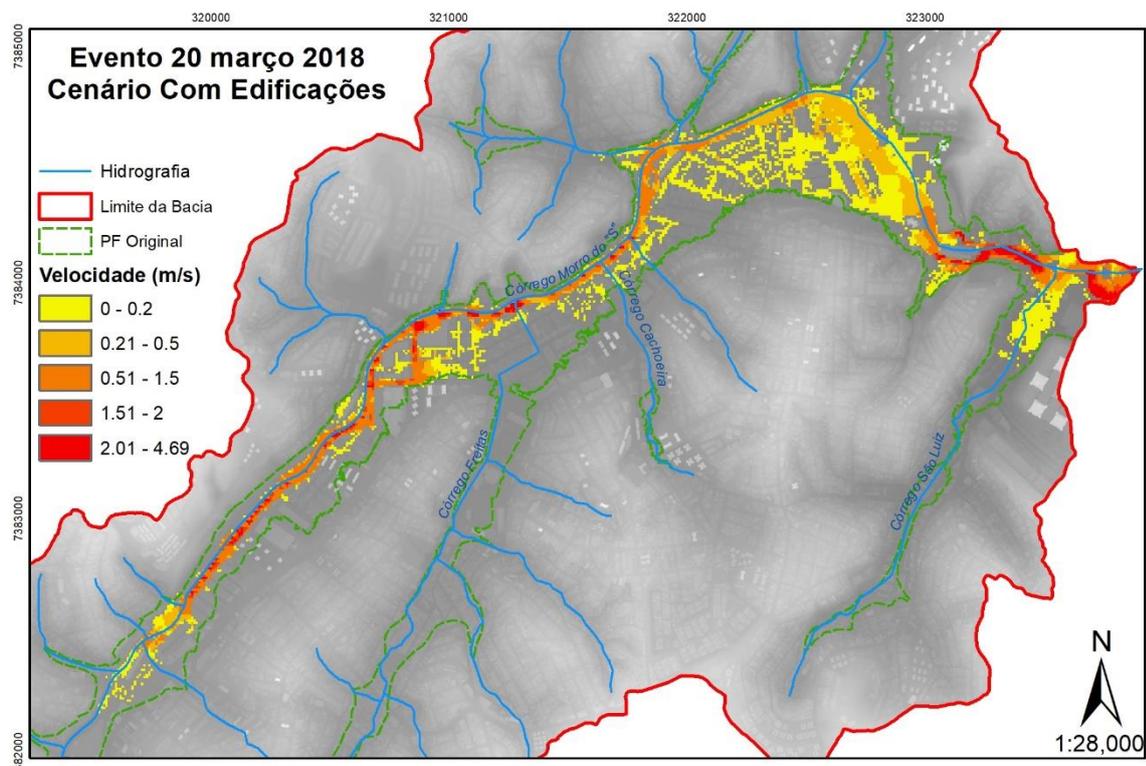
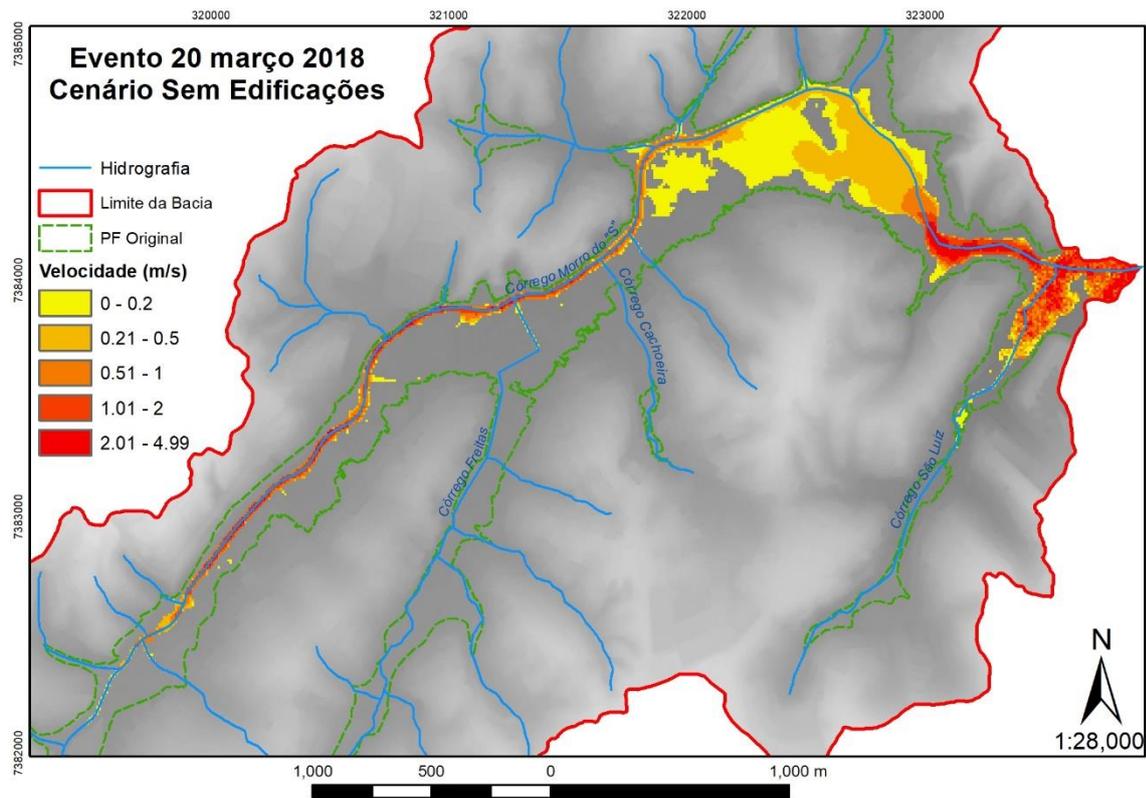


Figura 56: Diferença entre indicadores da mancha de inundação (cenário “com edificações” subtraído do cenário “sem edificações”) - evento de 20/03/2018.

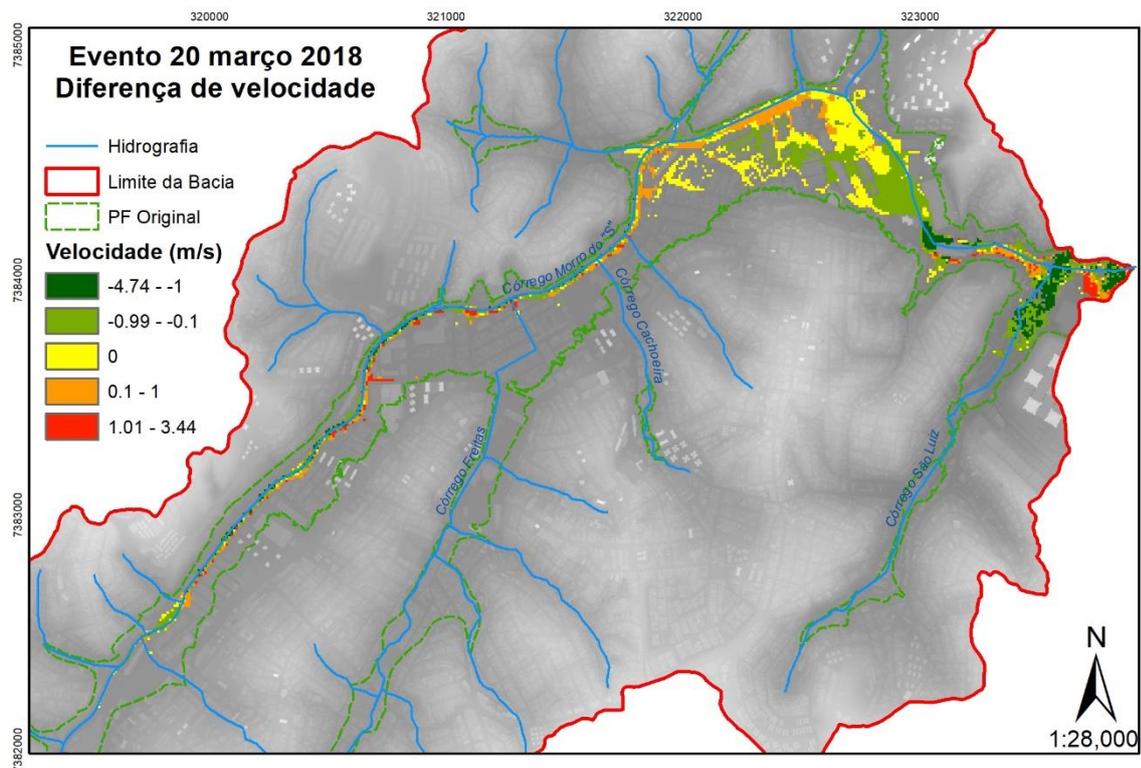
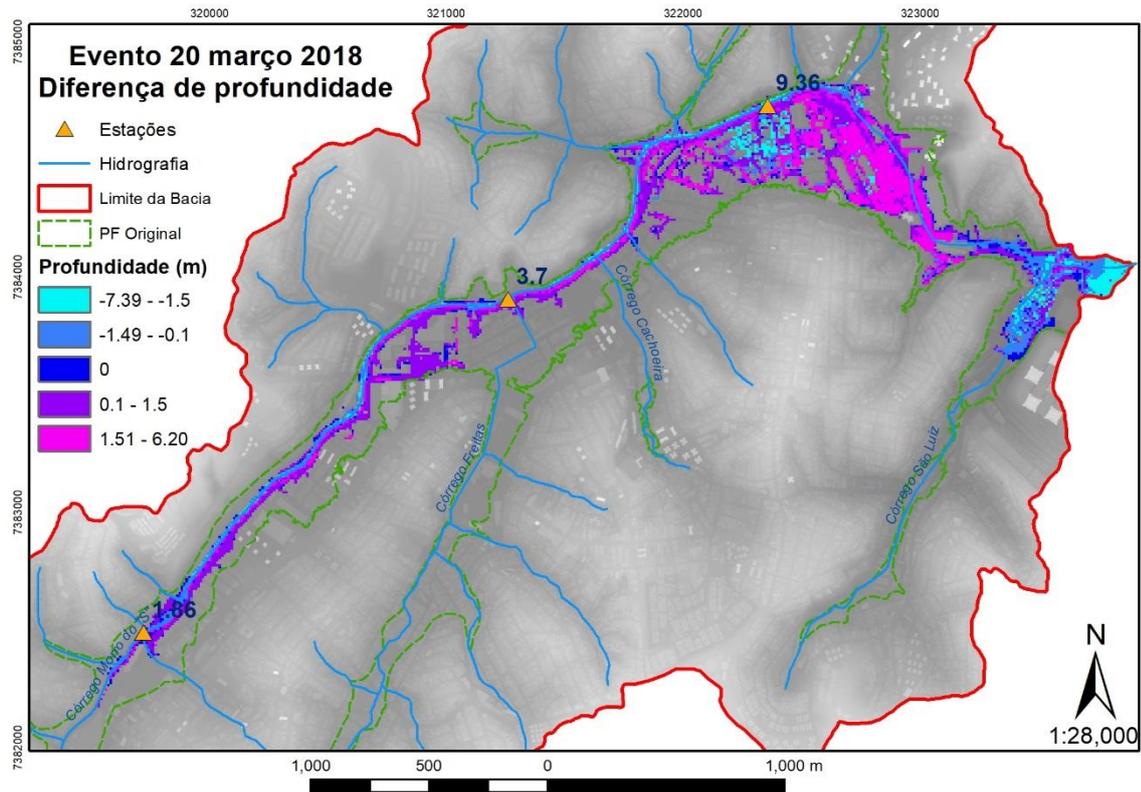


Figura 57: Comparação de profundidade da mancha de inundação - evento de 24/03/2018.

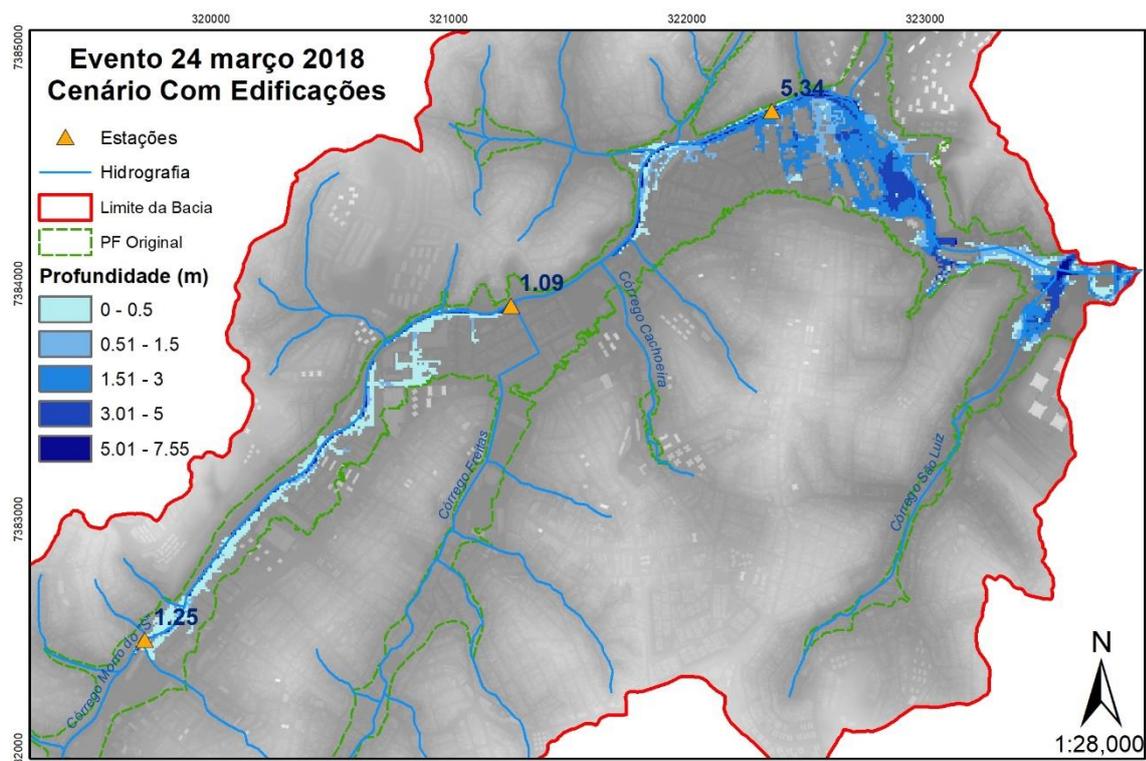
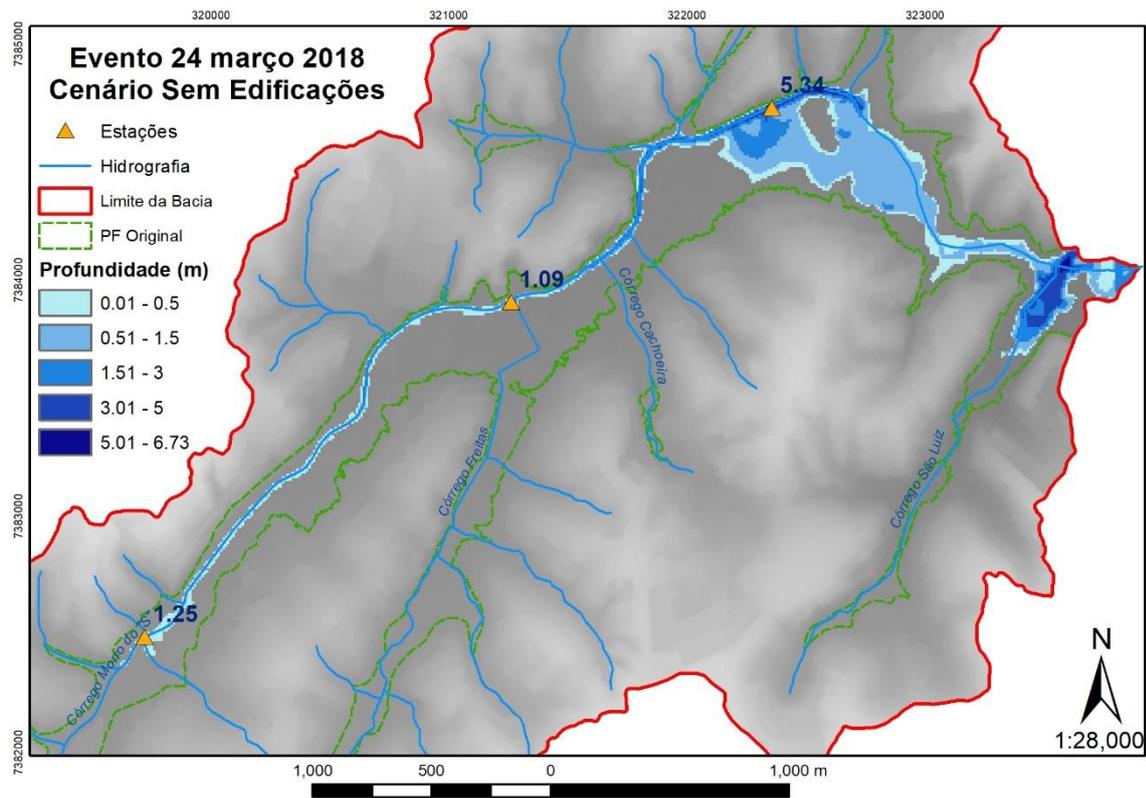


Figura 58: Comparação de velocidade do fluxo - evento de 24/03/2018.

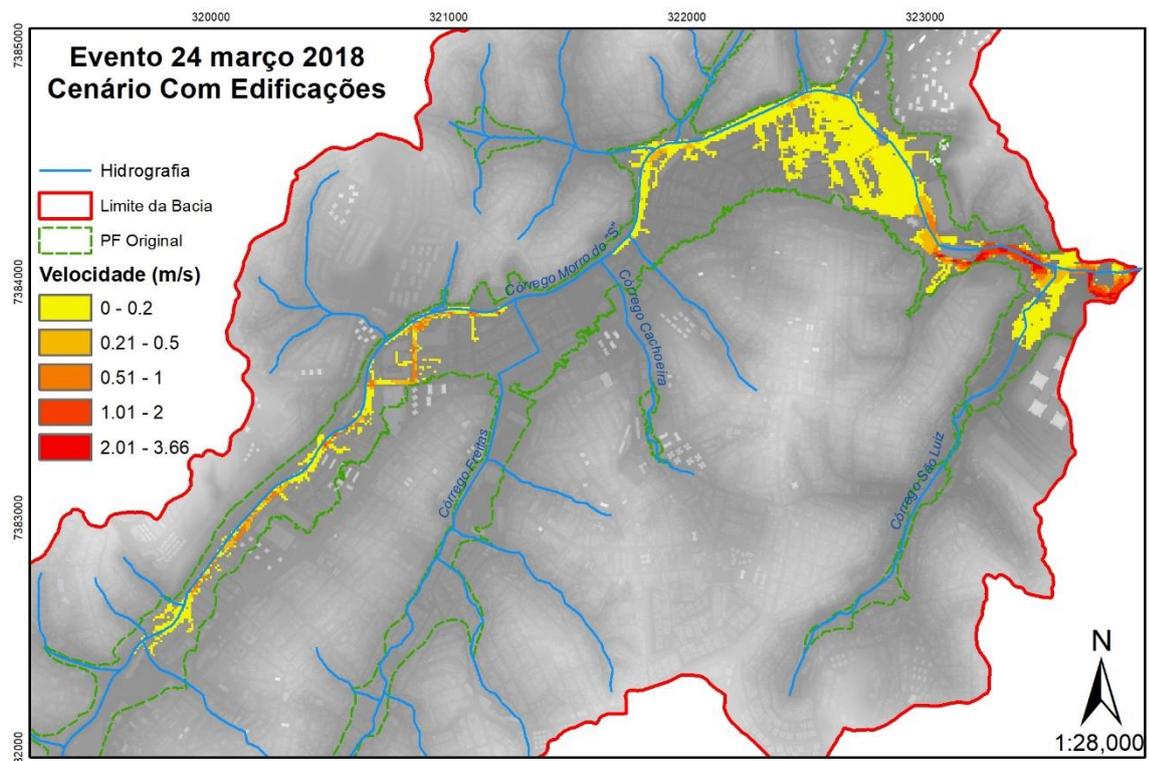
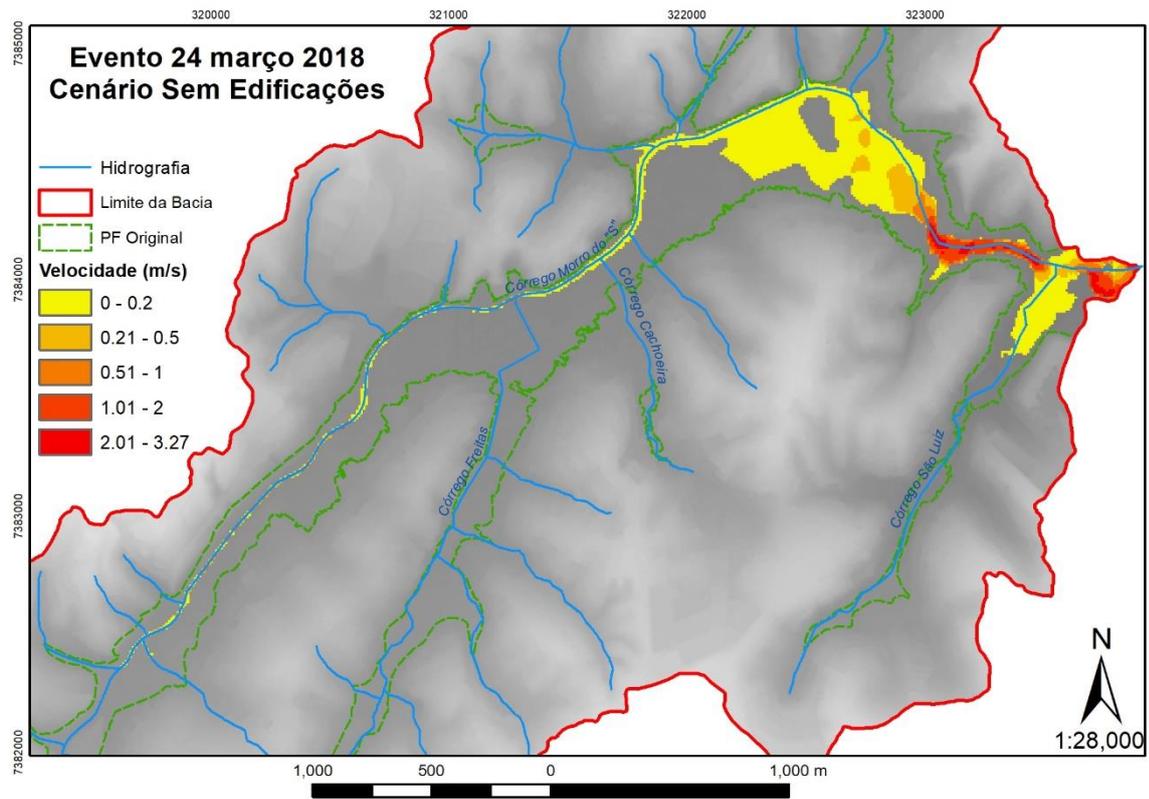
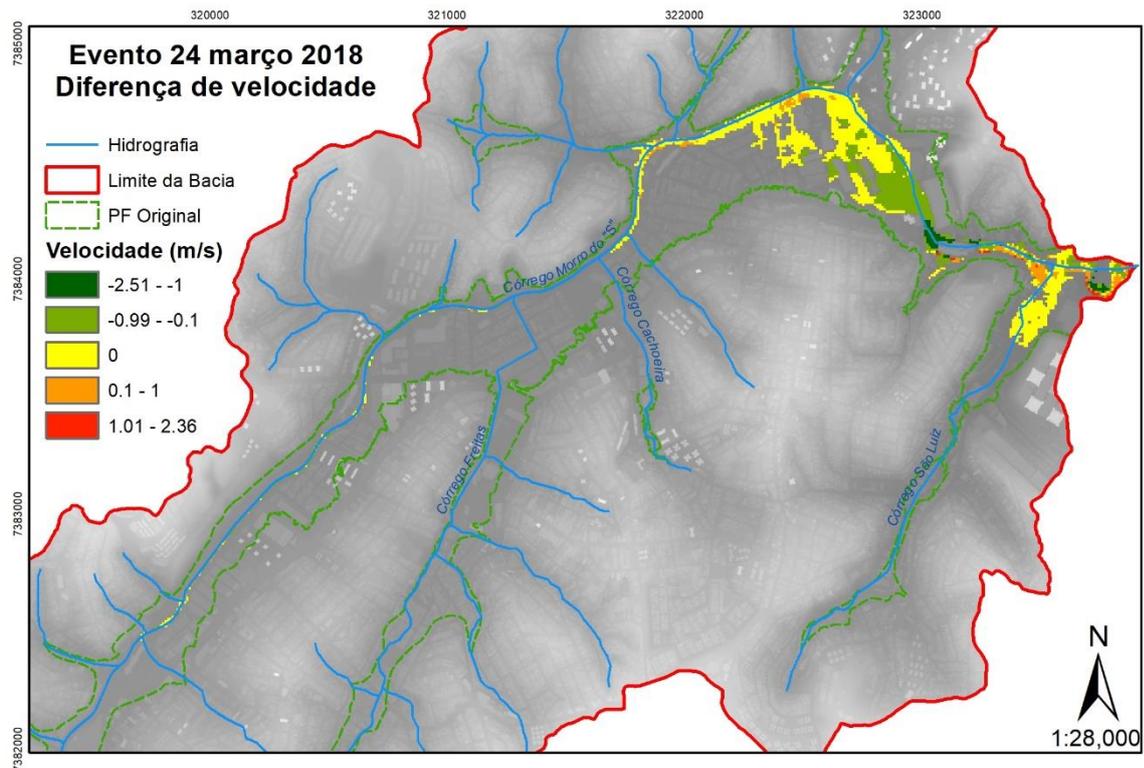
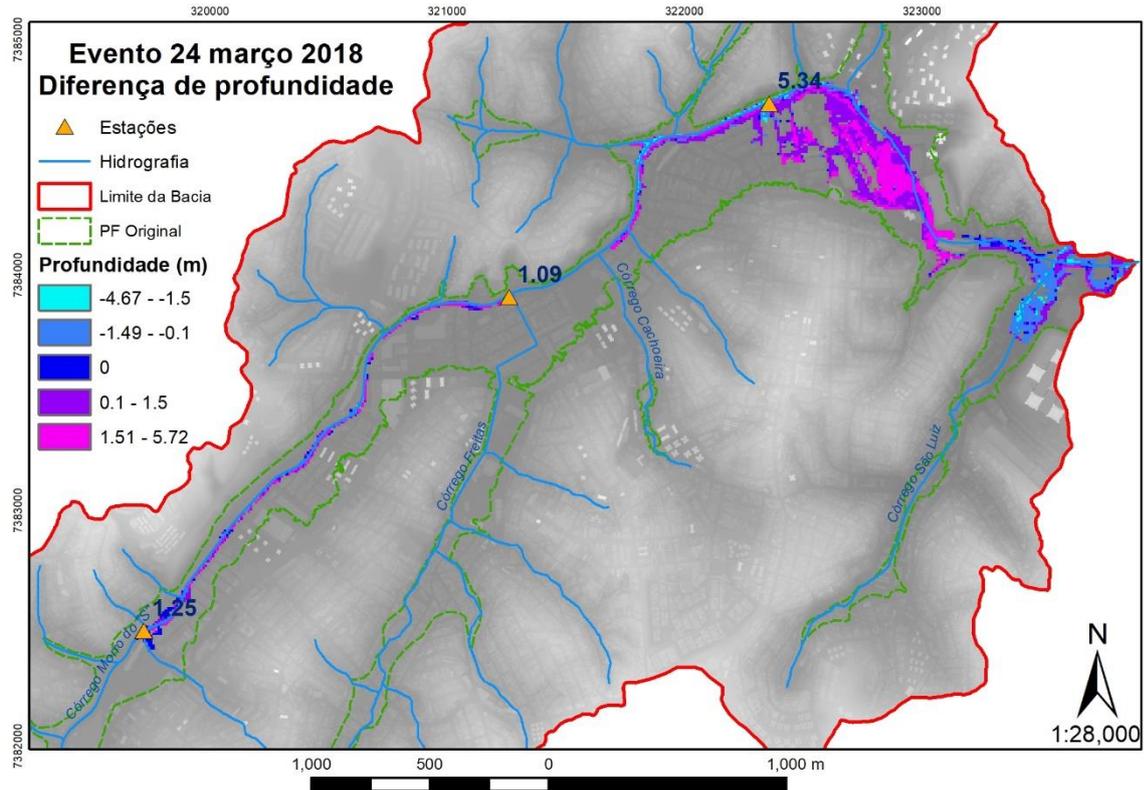


Figura 59: Diferença entre indicadores da mancha de inundação (cenário “com edificações” subtraído do cenário “sem edificações”) - evento de 24/03/2018.



5.7. Análise dos fatores causais de inundações.

A aplicação do método AHP permitiu a indexação em escala unificada das seis variáveis elencadas ao longo de todas as etapas desta pesquisa. O valor total gerado para cada evento analisado não significa necessariamente evento mais intenso ou com mais danos. Os danos dependem da organização espacial e a intensidade também dependerá de outras variáveis, por exemplo, do fator precipitação (como mínimo, máximo e total diário).

O que pode ser observado após a classificação dos 8 eventos a partir da metodologia proposta é que a pontuação (V Índice) de cada variável permite comparar sua maior ou menor relevância para o evento. Enquanto isso, a pontuação “V Ponderado” de cada fator permite observar o peso relativo do mesmo para efetivação da inundação.

Interessante observar que, naturalmente, eventos com maior relevância do fator “precipitação” apresentação um valor total final maior, enquanto eventos que tiveram os dois outros fatores como prevalentes, tenderão a ter um valor total mais baixo. Em outras palavras, observou-se que quanto mais baixo o valor de TOTAL, maior a influência das interferências antrópicas de superfície para a ocorrência do evento.

No **quadro 26**, é possível observar o resultado da aplicação do AHP, com destaque (em amarelo) para os três eventos com maiores impactos negativos registrados durante o período de análise.

Quadro 26: Resultado da aplicação de AHP para identificação dos fatores causais de inundações em cada um dos 8 eventos analisados.

Evento	Fator	Variável	Peso	Valor original	V Índice	V Ponderado	TOTAL
1	Precipitação	Volume	24.8%	26.94	3	1.644	3.528
		Intensidade	30.0%	10.43	3		
	Uso do solo	Conectividade	8.8%	12.00	4	0.6	
		Impermeabilização	6.2%	0.69	4		
	Ocupação da PF	Δ Profundidade	18.9%	78.3%	5	1.284	
		Δ Tempo Pico	11.3%	35.1%	3		

Evento	Fator	Variável	Peso	Valor original	V Índice	V Ponderado	TOTAL
2	Precipitação	Volume	24.8%	32.71	3	1.644	3.339
		Intensidade	30.0%	13.08	3		
	Uso do solo	Conectividade	8.8%	12.50	4	0.6	
		Impermeabilização	6.2%	0.72	4		
	Ocupação da PF	Δ Profundidade	18.9%	64.9%	4	1.095	
		Δ Tempo Pico	11.3%	30.7%	3		

Evento	Fator	Variável	Peso	Valor original	V Índice	V Ponderado	TOTAL
3	Precipitação	Volume	24.8%	24.00	2	1.096	2.791
		Intensidade	30.0%	9.29	2		
	Uso do solo	Conectividade	8.8%	12.04	4	0.6	
		Impermeabilização	6.2%	0.67	4		
	Ocupação da PF	Δ Profundidade	18.9%	63.9%	4	1.095	
		Δ Tempo Pico	11.3%	32.9%	3		

Evento	Fator	Variável	Peso	Valor original	V Índice	V Ponderado	TOTAL
4	Precipitação	Volume	24.8%	27.92	3	2.244	3.9
		Intensidade	30.0%	22.34	5		
	Uso do solo	Conectividade	8.8%	14.39	5	0.75	
		Impermeabilização	6.2%	0.82	5		
	Ocupação da PF	Δ Profundidade	18.9%	52.3%	3	0.906	
		Δ Tempo Pico	11.3%	32.5%	3		

Evento	Fator	Variável	Peso	Valor original	V Índice	V Ponderado	TOTAL
5	Precipitação	Volume	24.8%	39.13	4	1.892	3.776
		Intensidade	30.0%	10.92	3		
	Uso do solo	Conectividade	8.8%	12.26	4	0.6	
		Impermeabilização	6.2%	0.71	4		
	Ocupação da PF	Δ Profundidade	18.9%	79.5%	5	1.284	
		Δ Tempo Pico	11.3%	38.9%	3		

Evento	Fator	Variável	Peso	Valor original	V Índice	V Ponderado	TOTAL
6	Precipitação	Volume	24.8%	63.95	5	2.74	4.11
		Intensidade	30.0%	21.93	5		
	Uso do solo	Conectividade	8.8%	8.83	3	0.388	
		Impermeabilização	6.2%	0.52	2		
	Ocupação da PF	Δ Profundidade	18.9%	61.0%	4	0.982	
		Δ Tempo Pico	11.3%	28.1%	2		

Evento	Fator	Variável	Peso	Valor original	V Índice	V Ponderado	TOTAL
7	Precipitação	Volume	24.8%	4.83	1	0.848	1.3
		Intensidade	30.0%	8.28	2		
	Uso do solo	Conectividade	8.8%	5.13	1	0.15	
		Impermeabilização	6.2%	0.34	1		
	Ocupação da PF	Δ Profundidade	18.9%	41.1%	1	0.302	
		Δ Tempo Pico	11.3%	22.2%	1		

Evento	Fator	Variável	Peso	Valor original	V Índice	V Ponderado	TOTAL
8	Precipitação	Volume	24.8%	2.09	1	0.548	1.226
		Intensidade	30.0%	3.58	1		
	Uso do solo	Conectividade	8.8%	6.12	1	0.15	
		Impermeabilização	6.2%	0.35	1		
	Ocupação da PF	Δ Profundidade	18.9%	38.8%	1	0.528	
		Δ Tempo Pico	11.3%	33.5%	3		

Dentre os resultados sintetizados pela generalização do AHP, podemos constatar:

a) O evento de maior intensidade (6) e que causou os maiores impactos durante todo o período analisado também é o que possui maior pontuação total, enquanto os dois de menor impacto e magnitude (7 e 8) também são os de menor pontuação. A pontuação das variáveis que compõem o fator “precipitação” foi determinante. Isto permitiria inferir que as condições de precipitação presentes no evento 6 causariam uma inundação na bacia analisada independentemente das condições de superfície. Enquanto isso, a precipitação incidente nos eventos 7 e 8 somente foi capaz de causar inundações devido às condições de ocupação da planície fluvial (sobretudo devido seu impacto na variação do tempo para pico da inundação);

b) O evento nº 3, apesar de ter registrado impactos negativos significativos, não possui pontuação total elevada. Isso se deve, como já descrito anteriormente, devido à baixa representatividade das variáveis do fator precipitação incidente durante o evento. Cabe destacar que, se considerados os totais diários, a precipitação do evento nº 3 está entre as três maiores do período analisado. No entanto, o recorte para os valores das horas do evento permite observar a maior participação relativa da concentração das chuvas sobre áreas com incremento de conectividade e de alta impermeabilização. Portanto, para este evento é possível inferir que a magnitude da inundação está mais relacionada ao fator “uso do solo”, dado o padrão de distribuição da chuva.

c) O evento nº 4 também chama atenção pela alta pontuação total, apesar de não ter sido um evento com grandes impactos negativos constatados (maior do que os eventos nº 3 e 5, classificados com esta condição). O que o diferencia é justamente a maior intensidade da precipitação, e menor participação do fator “ocupação da Planície Fluvial”. Nos eventos que tiveram danos maiores constatados, as variáveis deste fator necessariamente aparecem com pontuação maior. Ou seja, é possível interpretar que no evento 4, a precipitação tem as características necessárias para causar uma inundação, sobretudo por ter se concentrado sobre áreas de alta impermeabilização e conectividade, o que causaria uma mancha de inundação de grandes dimensões, mesmo se a ocupação da Planície Fluvial não fosse intensa como

atualmente. Já nos eventos 3 e 5, a distribuição da mancha de inundação e os efeitos sobre ela provocados pela presença de edificações no interior da Planície Fluvial são mais relevantes para os impactos registrados. Isto resulta na menor pontuação total dos eventos 3 e 5, favorecendo a conclusão de que isto (baixa pontuação) indica a maior participação das alterações antrópicas em superfície como fator causal da inundação.

6. CONCLUSÕES.

Ao longo da pesquisa, através da aplicação da perspectiva de análise forense sobre eventos de inundação, quatro hipóteses foram testadas. Em geral, estas foram corroboradas pelos resultados obtidos, mas limitações também foram identificadas bem como possibilidades para novos desdobramentos.

Hipótese 1: “Estudos de áreas específicas tendem a identificar como fatores causais somente fenômenos estudados naquela área”.

A partir das duas etapas de metanálise desenvolvidas, foi possível identificar a correspondência entre palavras-chave predominantes entre as áreas de conhecimento e as escolhas metodológicas das pesquisas que, por sua vez, determinam os fatores identificados como causais. Isto corrobora os resultados esperados apontados por Oliver-Smith et al (2016). Ainda, podemos indicar como relevante a identificação de que técnicas baseadas no emprego de SIGs e modelagem hidrológica são relativamente transversais (sendo apropriadas pela geomorfologia, por exemplo) mas raramente técnicas de outras subáreas são apropriadas na hidrologia (como o mapeamento geomorfológico, por exemplo). Este resultado provou-se verdadeiro tanto em produções científicas nacionais quanto internacionais. Ainda, a metanálise permitiu elencar os três fatores preponderantemente identificados como causais de inundações em locais de contexto semelhante à área de estudo, fundamentando demais etapas da análise forense.

Resultados do teste desta hipótese foram publicados em SIMAS et al (2021a).

Hipótese 2: “As inundações do período mais recentes possuem características de flash floods, mais semelhantes aos de meios áridos ou montanhosos do que do meio tropical úmido propriamente dito”.

De forma geral, puderam ser observadas diversas similaridades entre os resultados da análise das inundações ocorridas na bacia urbanizada amostrada de São Paulo e trabalhos da literatura internacional sobre estes ambientes. Indicadores de processos de vertente, como as taxas de impermeabilização e incremento de conectividade, bem como processos de canal, como o gradiente de elevação de cota em eventos extremos, *lagtime*, tempo para pico e duração dos eventos de inundação, apresentaram correspondência na comparação proposta. Uma importante diferença deve ser notada: no caso de cursos de ambiente semiárido, há o fator essencial de mudanças morfológicas de canal, o que não se aplica ao caso de rios urbanos onde esta dinâmica é suprimida pela artificialização de canais (HOOKE, 2016). Logo, nossa comparação diz respeito à hidrodinâmica de superfície das bacias e resposta hidráulica do canal, na relação precipitação/deflúvio/velocidade (hidráulica do fluxo gerado), não em todos

os processos geomorfológicos envolvidos. Também não foram abordadas na presente pesquisa a questão dos processos sedimentológicos e outras variáveis hidráulicas relevantes, como o *streampower*.

Resultados do teste desta hipótese foram apresentados em SIMAS et al (2022).

Hipótese 3: “As estruturas de reservação e canais artificiais atuais ou factíveis não são capazes de contrapor a perda de serviços e atributos ambientais provocados pelas mudanças antrópicas”.

Com emprego de técnicas da cartografia geomorfológica retrospectiva, modelagem de terreno de alta resolução, e modelagem hidráulica dinâmica, foi possível constatar que o volume de estocagem médio perdido pela presença de edificações decresce conforme é elevado o nível da água nos eventos simulados (metros cúbicos perdidos por metro de coluna d’água da inundação). Isso permite afirmar que um dos efeitos mais imediatos da presença de edificações na planície de inundação é o aumento das manchas de inundação em eventos de menor magnitude (vazão e nível). Quando testado o completo preenchimento da planície de inundação, o volume ocupado pelas edificações corresponde a 25% do volume de água que poderia ser armazenado pela mesma. Tal volume de armazenamento perdido supera em 22 vezes a capacidade projetada pelo poder público para instalação de estruturas de reservação artificial. Ainda, se considerado um evento de inundação de alta magnitude recentemente ocorrido (5 metros acima das margens plenas) o volume de estocagem perdido supera em 17 vezes a capacidade em projeto. Por fim, o volume total ocupado por edificações na ocorrência de uma inundação com 0,5m acima da margem do canal principal artificial, já supera a capacidade total de estocagem planejada para implementação por medidas estruturais na bacia.

Resultados do teste desta hipótese foram publicados em SIMAS et al (2021b) e SIMAS et al (2022).

Hipótese 4: “As áreas que registram os maiores danos não são aquelas em que há maior intervenção antrópica atualmente”.

Esta hipótese foi parcialmente comprovada, uma vez que seu teste requer complementação. Isso, pois, foi possível identificar as localidades com maior recorrência de inundações na temporada chuvosa enfocada, que também correspondem àquelas com maior suscetibilidade a receberem fluxos de extravasamento mesmo em eventos modelados de baixa magnitude. Estas áreas são localidades, preponderantemente, residenciais de médio a baixo padrão, que estão instaladas na região próxima ao córrego Morro do S há mais de cinco décadas, no seu terço à jusante. Enquanto isso, as áreas com maior perturbação ativa recente estão localizadas nas cabeceiras de drenagem, em seu terço mais à montante, no que diz

respeito à implementação de estrutura urbana e aumento da impermeabilização. Quanto ao incremento da conectividade, também se nota que as áreas que mais contribuíram com o aumento deste indicador estão em setores de topo de vertente, mais marcadamente na porção sudeste da bacia, não afetada por inundações. Também é importante apontar o papel desempenhado pelo aumento da ocupação da planície fluvial da bacia estudada por edificações de grande porte, como galpões e residenciais verticais, que colaboram para a tendência crescente de perda de capacidade de estocagem e, como vimos, para ampliação de manchas de inundação produzidas nos eventos de inundação de menor magnitude.

É importante considerar que a pesquisa buscou operacionalizar algumas ferramentas técnicas e teóricas de pesquisa em diferentes campos, sendo necessárias escolhas metodológicas. Por exemplo, das especialidades da geomorfologia (geomorfologia urbana e antropogeomorfologia, sobretudo) foram empregadas técnicas como a cartografia geomorfologia retrospectiva para obtenção de alguns parâmetros e observação da tendência espacial a certos processos, mas não foram realizadas todas as leituras por ela permitida. Indicadores importantes ao estudo de inundações, sobretudo em planícies encaixadas em domínio de planaltos do meio tropical úmido (tanto da geomorfologia fluvial quanto da pedologia), também não foram empregados, uma vez que outros parâmetros foram identificados como mais adequados à sistematização pretendida (como a variação conectividade/impermeabilização). Logo, uma metodologia que permita integrar estes indicadores mais clássicos e amplamente utilizados nas ciências da terra viria a suprir pontos que, nesta pesquisa, foram tratados através de generalizações.

Por fim, considera-se também que a pesquisa atingiu o objetivo de adaptar e aplicar a metodologia de análise forense para ocorrências de inundações na cidade de São Paulo, identificando os principais fatores causais e elaborando um índice que avalia a participação relativa destes para a efetivação de eventos individualizados. Entende-se que tal índice permite novos *insights* e uma abordagem mais pragmática sobre o problema das inundações urbanas, tornando-se interessante sua aplicação a outras bacias urbanizadas de contexto semelhante em metrópoles do meio tropical úmido.

REFERÊNCIAS.

AB'SABER, A. N. 1957. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. Tese de Doutorado em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS –ANA. Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso em 05/07/2014.

ALCANTARA-AYALA, I. 2010. Geomorphology and disaster prevention. In: ALCANTARA-AYALA, I. GOUDIE, A. S. **Geomorphological Hazard and Disaster prevention**. New York: Cambridge University Press. Pg 269-278.

ALMEIDA, F. F. M. 1964. Fundamentos geológicos do relevo Paulista. São Paulo: **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, n. 41.

BENITO, G.; HUDSON, P. F. 2010. Flood hazards: the context of fluvial geomorphology. In: ALCANTARA-AYALA, I. GOUDIE, A. S. **Geomorphological Hazard and Disaster prevention**. New York: Cambridge University Press. Pg. 111-127.

BERGES, B. 2013. **Geomorfologia Urbana Histórica aplicada à análise das inundações na bacia hidrográfica do Córrego da Mooca – São Paulo/SP**. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

BEVEN, K. J. 2012. **Rainfall-runoff modelling: the primer**. London: John Willey & Sons, 2nd edition.

BOTELHO, M. H. C. 1998. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blucher.

BRACKEN, L. J., WAINWRIGHT, G. A., TETZLAFF, D., SMITH, M. W., REANEY, S. M., ROY, A. G. 2013. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways, and future agendas. Elsevier: **Earth-Science Reviews**, v. 119, pg. 17-34.

BRASIL, Lei n. 12608, de 10 de Abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm (consultado em Janeiro de 2016)

BROOK, D.; MARKER, B. 1988. Geomorphological Information Needed for Environmental Policy Formulation. In.: HOOKE, J. (Org.) **Geomorphology in environmental planning**. Chichester: John Wiley and Sons.

BROOKES, A.; GREGORY, K. 1988. Channelization, River Engineering and Geomorphology. In.: HOOKE, J. (Org.) **Geomorphology in environmental planning**. Chichester: John Wiley and Sons.

BRUNSDEN, D. 1996. Geomorphological events and landform change. Stuttgart: **Zeitschrift für Geomorphologie**, 40, 3, pág 273-288.

BURTON, I. 2010. Forensic Disaster Investigations in Depth: A New Case Study Model. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 52, n. 5, p. 36–41.

CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS DE SÃO PAULO - CGESP. Eventos de alagamentos. Disponível em: <http://www.cgesp.org/v3/alagamentos.jsp>. Acesso em 08/11/2018.

CHIN, A.; GREGORY, K. J. 2009. From research to application: management implications from studies of urban river channels. **Geography Compass**, v. 1, n. 3. Pag. 297-328.

CHORLEY, R. J. 1972. **Spatial Analysis in Geomorphology**. London: Harper & Row Publishers.

CHRISTOFOLETTI, A. 1981. **Geomorfologia Fluvial**. Vol 1. São Paulo: Edgard Blucher.

CLARO, M. S. 2013. **Unidades Morfológicas Complexas na bacia hidrográfica do Córrego da Tapera, São Paulo, SP: contribuições ao planejamento urbano e ambiental**. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

COLTRINARI, L. Z. 1996. Natural and anthropogenic interactions in the Brazilian tropics. In.: BERGER, A. R., IAMS, W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: A. A. Balkema, pag. 295-305.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. 1990. **Geomorphology in environmental management: a new introduction**. 2a edição. New York: Oxford University Press.

CRUTZEN, P. J. 2002. Geology of mankind. **Nature**, 415: doi 101038/415023a.

CUTTER, S. 2011. The vulnerability of Science and the Science of vulnerability. **Annals of the association of American Geographers**, 93:1. Pag. 1-12.

CUTTER, S. L., BORUFF, B. J., SHIRLEY, W. L. 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science Quarterly**, Vol 84, n°2. Pag 242-261.

DAVENPORT, G. C. 2001. Remote Sensing Applications in Forensic Investigations. **Historical archaeology**, v. 35, p. 87–100.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Banco de dados Hidrológicos do Estado de São Paulo. Disponível em : <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>. Acesso em : 05/07/2014.

_____. 2011. **Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê – PDMAT 3**. 12 volumes.

D'ERCOLLE, R. 1994. Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés: concepts, typologie, modes d'analyse. Grenoble: **Revue de Géographie Alpine**, n°4. Pág. 87-96.

DOUGLAS, I. 1983. **The Urban Environment**. London: Edward Arnold.

_____. 1988. Urban Planning Policies for Physical Constraints and Environmental Change. In.: HOOKE, J. (Org.) **Geomorphology in environmental planning**. Chichester: John Wiley and Sons.

DOUGLAS, I. SPENCER, T. 1985. **Environmental Change and Tropical Geomorphology**. Londres: George Allen & Unwin.

DOWNS, P. W., BOOTH, D. B. 2011. Geomorphology in environmental management. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO – EMPLASA. 2010. **Projeto Mapeia**. Ortofotos de recobrimento do Estado de São Paulo, escala 1:10.000.

ERICKSON, K. T. 1976. Everything in its path: destruction of Community in the Buffalo Creek Flood. New York: Simon and Schuster.

ESRI. 2014. How Kriging works. In.: **Arcmap help**. Disponível em : <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>. Acesso em 01/04/2015.

ESTADO DE S. PAULO. Acervo online. Disponível em : <http://acervo.estadao.com.br/>. Acesso em : 10/09/2018.

FUNDAÇÃO CENTRO DE TECNOLOGIA HIDRAULICA – FCTH. 1999. **Diretrizes Básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. São Paulo, 1999. Disponível em:<http://www.fcth.br/public/cursos/canaismares/md.pdf>. Acesso em: 10/09/2015.

_____. 2015. **Relatório de andamento o projeto de complementação do Mapa Hidrográfico do Município de São Paulo**. São Paulo: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano.

_____. 2016. **Caderno de bacia hidrográfica: córrego Morro do S**. São Paulo: SIURB/FCTH.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANALISE DE DADOS – SEADE. 2010. **Índice Paulista de Vulnerabilidade Social**. São Paulo: Secretaria Estadual de Desenvolvimento e Planejamento Regional.

GOUDIE, A. S. 2004. **Encyclopedia of Geomorphology**. Londres: Routledge.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2013. **Plano de manejo da APA Várzea do Rio Tietê**. Obra em 5 volumes. São Paulo: Secretaria Estadual do Meio Ambiente.

GRANT, G. E., SWANSON, F. J. Morphology and Processes of Valley Floors in Mountain Streams, Western Cascades, Oregon. 1995. *Geophysical Monograph*, n. 89. Pág. 83-101.

GURNELL, A. M., PERIY, J. L., PETTS, G. E. 2003. Using Historical Data in Fluvial Geomorphology. In.: **Tools in fluvial geomorphology**, Org.: Kondolf, G. M., Piegay, H. New Jersey: John Wiley & sons.

HASUI, Y., ALMEIDA, F. F. M., BRITO-NEVES, B. B. 1978. **As estruturas brasileiras**. Recife: Anais do congresso brasileiro de geologia, SBG.

HART, M. G. 1986. **Geomorphology: Pure and applied**. London: Allen and Unwin.

HERGET, J., MEURS, H. 2010. Reconstructing peak discharges for historic flood levels in the city of Cologne, Germany. **Global and planetary change**, 70, p. 108-116.

HOOKE, J. M. 1988. **Geomorphology in environmental planning**. Chichester: John Wiley and Sons.

HOOKE, J. M. 1995. Processes of channel planform change on meandering channels in the UK. Chichester: **Changing River Channels**, pág. 87-115.

_____. 1999. Decades of change: contributions of geomorphology to fluvial and coastal engineering and management. **Geomorphology**, 31(1-4). Pag. 373-389.

_____. 2016. Geomorphological impacts of an extreme flood in SE Spain. **Geomorphology**, n. 263, pg. 19-38.

_____. 2019. Extreme sediment fluxes in a dryland flash flood. **Nature: Scientific reports**, v. 1686, nº9. Pág. 1-12.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE. 2010. **Resultados do censo 2010: Aglomerados subnormais**. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em 08/07/2014.

JAMES, L. A.; MARCUS, W. A. 2006. The human role in changing fluvial systems: retrospect, inventory and prospect. **Geomorphology**, 79. Pg. 152-171.

JONES, J. L. 2004. Mapping a Flood... Before it happens. Tacoma: **U. S. Geological Survey**, Fact Sheet 2004-3060.

JULIANI, C. 1992. O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. In.: **Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: ABAS-ABSE-SBG/SP.

KARALIS, S., KARYMBALIS, E., VALKANOU, K., CHALKIAS, C., KATSAFADOS, P., KALOGEROPOULOS, K., BATZAKIS, V., BOFILIOS, A. 2014. Assessment of the relationships among catchments' morphometric parameters and hydrologic indices. **International Journal of Geosciences**, n. 5, pág. 1571-1583.

KNIGHTON, A. D., NANSON, G. C. 2001. An event-based approach to the hydrology of arid zone rivers in the Channel Country of Australia. *Journal of Hydrology*, n. 254. Pág. 102-123.

LEOPOLD, L. B. 1968. Hydrology for urban land planning – a guidebook of the hydrologic effects of urban land use. Washington: **Geological Survey Circular**, n. 554.

LEOPOLD, L. B., LANGBEIN, W. B. 1963. Association and Determinacy in Geomorphology. In.: **The Fabric of Geology**, Geological Society of America, pág .184-192.

LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. Jr.. 1954. The Flood Control Controversy. New York. The Ronald Press.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. 1995. **Fluvial processes in Geomorphology**. New York: Dover Publications.

LIMA, C. R. 1990. **Urbanização e intervenções no meio físico na borda da bacia sedimentar de São Paulo: Uma abordagem geomorfológica**. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

LOCZY, D., SUTO, L. 2011. Human activity and geomorphology. GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

LUZ, R. A. 2014. **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização**. Tese de doutorado em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

LUZ, R. A., RODRIGUES, C. 2015. **Anthropogenic changes in urbanised hydromorphological systems in a humid tropical environment : River Pinheiros, Sao Paulo, Brazil**. Stuttgart : Zeitschrift für Geomorphologie, Vol. 59, Suppl. 2, pág. 109-135.

MANTOVANI, J. C. RODRIGUES, C. 2018. Geomorfologia aplicada à análise forense: uma avaliação necessária. São Paulo: **Revista do Departamento de Geografia**. Volume Especial do II Workshop do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física.

MACDONALD, N., REDFERN, T., MILLER, J., KJELDSSEN, T. R. 2022. Understanding the impact of the built environment mosaic on rainfall-runoff behaviour. **Journal of Hydrology**, v. 604. 127147. Pg 1-13.

MIALL, A. 2014. **Fluvial Depositional Systems**. Springer: London. 322 pgs.

MONTEIRO, C. A de F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo: Estudo geográfico sob a forma de Atlas**. São Paulo: USP/Igeog, 1973.

_____. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1976.

_____. **Clima e excepcionalismo: Conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Editora da UFSC: Florianópolis, 1991.

_____. Teoria e Clima Urbano. In.: **Clima Urbano**. Org: Monteiro, C. A. de F.; Mendonça, F. 1ª edição. São Paulo: Contexto, 2009. P. 9-69.

MOROZ – CACCIA GOUVEIA, I. C. 2010. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da Geografia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, na Região Metropolitana de São Paulo**. Tese de doutorado em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE - NRCS. 1986. **Urban hydrology for small watersheds**. United States Department of Agriculture. Technical Release n° 55.

NIR, D. 1983. **Man, a geomorphological agent**. Jerusalem: Keter Publishing.

NUNES, B. A.; RIBEIRO, M. I de C.; ALMEIDA, V. J.; NATALI FILHO, T. 1994. **Manual técnico de geomorfologia**. Série Manuais Técnicos em Geociências, No. 5. Rio de Janeiro: IBGE.

OLIVER-SMITH, A. 2013. Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation: The View from Applied Anthropology. **Human Organization**, Vol. 72, No. 4. Pág. 275-282

OLIVER-SMITH, A. ALCÁNTARA-AYALA, I., BURTON, I., LAVELL, A. M. 2016. **Forensic Investigations of Disasters (FORIN): a conceptual framework and guide to research** (IRDR FORIN Publication n°2). Beijing: Integrated Research on Disaster Risk.

PAZZOTTI, A. C. 2014. **Enxurrada no rol dos riscos ambientais: ausência ou falta de definição precisa?**. Trabalho de conclusão de curso em Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

PARKINSON, J.; MARK, O. 2005. **Urban Stormwater Management in Developing Countries**. Londres: IWA Publishing.

PHILLIPS, J. D. 2011. Disturbances and responses in Geomorphic Systems. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. 2018. **Geosampa – Base de dados georreferenciados do município**. Disponível em : <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/aricanduva/historico/index.php?p=35>. Acesso em 10/08/2018.

PRICE, S. J.; FORD, J. R.; COOPER, A. H.; NEAL, C. 2011. **Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in Great Britain**. Londres: Philosophical Transactions of the Royal Society A, 369. Pg. 1056-1084.

REDFERN, T. W. 2017. **Monitoring, Understanding and modelling rainfall-runoff behaviour in two small residential urban catchments**. Tese de doutorado, School of Environmental Sciences, University of Liverpool.

RICCOMINI, C., COIMBRA, A. M., TAKIYA, H. 1992. Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. In.: **Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: ABAS-ABSE-SBG/SP.

RICCOMINI, C., SANT'ANNA, L. G., FERRARI, A. L. 2004. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO et al, **Geologia do Continente Sulamericano**. São Paulo: Beca.

RODRIGUES, C. 1997. **Geomorfologia aplicada: Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros**. Tese de doutorado (Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

_____. 1999. On antropogeomorphology. In: **Anais da regional Conference on geomorphology** : Rio de Janeiro. Pág. 100-110.

_____. 2004. A urbanização da metrópole sob a perspectiva da geomorfologia: Tributo às leituras geográficas. In: Carlos, A. F. A.; Oliveira, A. U. de (Org.) **Geografias de São Paulo : Representação e crise da metrópole**. Obra em 2v. São Paulo: Contexto. Pág. 89-115.

_____. 2010. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. São Paulo: FFCHL-USP, **Revista do Departamento de Geografia**, nº20. Pág. 111-125.

_____. 2015. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo. São Paulo: **GEOUSP** (Online), v. 19, n. 2. Pag 324-347.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. 2005. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando a Geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos. Pág. 147-166.

RODRIGUES, C.; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; LUZ, R. A.; VENEZIANI, Y.; SIMAS, I. T. H.; SILVA, J. P. Antropoceno e mudanças geomorfológicas: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico** (Online), v. 40, p. 105-123, 2019.

ROSS, J. L. S., MOROZ, I. C. 1996. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**. v.10. Pg. 41-58.

RUFFELL, A.; MCKINLEY, J. 2005. Forensic geoscience: applications of geology, geomorphology and geophysics to criminal investigations. **Earth-Science Reviews**, v. 69, n. 3-4 Pág. 235-247.

SAATY, R. W. 1987. The Analythic Hierarchy Process – What it is and how it is used. **Mathl Modelling**, v. 9, n. 3-5, pág. 161-176.

SANT'ANNA NETO, J. L. 2001. Por uma Geografia do Clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. São Paulo: **Terra Livre**, nº17. Pág. 49-62.

_____. 2011. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista brasileira de climatologia**, ano 7, vol. 8. Pág. 45-59.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. 1977. New York: Wiley.

SCHUMM, S. A. 1979. Geomorphic thresholds: the concept and its applications. **Transactions of the Institute of British Geographers**, n. 4, v. 4. Pág 485-515.

SCHUMM, S. A.; LICHTY, R. W. 1965. Time, space and causality in geomorphology. **American Journal of Science**, n. 263. Pag. 110-119.

SEABRA, O. C. L. 1987. **Meandros dos rios nos meandros do poder: Tiete e Pinheiros - valorização dos rios e das várzeas na cidade de São Paulo**. Tese de doutorado (Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SILVA DIAS, M. A. F.; DIAS, J.; CARVALHO, L. M. V.; FREITAS, E. D.; SILVA DIAS, P. L. 2013. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, Vol. 116, n. 3, p. 705-722.

SIMAS, I. T. H. 2017. **Análise retrospectiva de episódios de inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva – São Paulo**. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SIMAS, I. T. H., RODRIGUES, C. 2016. Flood hazards analysis based on changes of hydrodynamic processes in fluvial systems of São Paulo, Brazil. **Geophysical Research Abstracts**. v. 18 Göttingen: Copernicus GmbH, 2016.

SIMAS, I. T. H.; RODRIGUES, C.; HOOKE, J. M. 2021. **DSM floodplain mapping model based on aerial photo stereoscopy**. In: 8th International Conference on Flood Management, Iowa City. ICFM8 Book of Abstracts. Iowa City: University of Iowa.

SIMAS, I. T. H.; RODRIGUES, C.; HOOKE, J. M. 2022. **High resolution modelling of floodplain water storage capacity loss in a highly urbanized tropical catchment and its implications for flood management**. In: 10th International Conference on Geomorphology, Coimbra. Annals of the 10th International Conference on Geomorphology. Göttingen: Copernicus GmbH.

SIMAS, I. T. H.; RODRIGUES, C.; CAZAROTO, P. C.; SCHIMIDTKE, B. 2021. Metanálise de pesquisas sobre inundações urbanas: identificação de fatores causais e métodos empregados em estudos recentes. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. 41, p. 1-11.

SIMAS, I. T. H.; SANTANNA NETO, J. L. ; DUBREUIL, V. 2014. Application de la technique d'analyse rythmique à la vulnérabilité aux événements pluviométriques extrêmes

dans des quartiers urbains à São Paulo, Brésil. **Actes de l'Association Internationale de Climatologie**, Dijón, 2014. Pág. 590-598.

SISTEMA DE ALERTA A INUNDAÇÕES DE SÃO PAULO - SAISP. Relatórios de eventos chuvosos. Disponível em : <http://www.saisp.br/historic/index.jsp?C=N;O=D>. Acesso em 10/11/2018.

SMITH, M. J., PAIN, C. F. 2011. Geomorphological Mapping. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

STRAHLER, A. 1952. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, n. 63. Pag. 923-938.

TAKYIA, H. 1997. **Estudo da sedimentação neogênico-quadernária no município de São Paulo: Caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana**. Tese de doutorado em Geociências. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

TUCCI, C. E. M. 1999. **Aspectos institucionais no controle de inundações**. Brasília: I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste.

TURNER, B. L., KASPERSON, R. E., MEYER, W. B., DOW, K. M., GOLDING, D., KASPERSON, J. X., MITCHELL, R. C., RATICK, S. J. 1990. Two types of global environmental change. Definitional and spatial-scale issues in their human dimensions. **Global Environmental Change**, 1, 1, pg. 14-22.

VENEZIANI, Y. 2014. **A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica e hidráulica na bacia do Corrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações**. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

VENEZIANI, Y. RODRIGUES, C. MANTOVANI, J. 2019. Geomorfologia Fluvial do baixo Ribeira de Iguape, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 20, nº 3. Pág. 541-562.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2001.

WHITE, G. F. 1976. **Natural Hazards: Local, National, Global**. Oxford: Oxford University Press.

XIAORONG, L., COOPER, J. R., PLATER, A. J. 2021. Quantifying erosion hazards and economic damage to critical infrastructure in river catchments: Impact of a warming climate. **Climate Risk Management**: doi: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100287>.

APÊNDICE 1: Relação completa de características das 106 sub-bacias hidrográficas localizadas totalmente dentro do perímetro do município de São Paulo, realizada para escolha de bacia amostral. Fontes de dados: Prefeitura Municipal de São Paulo, FCTH, IG, IBGE, IPT, ANA.

Bacia Hidrográfica	Área (Km²)	Perímetro (Km)	Comprimento total dos canais (Km)	Densidade de Drenagem	Gradiente altimétrico (M)	Declividade média (°)	Estações Pluviométricas	Áreas de Risco	Uso Predominante do Solo				População estimada	Agglomerados Subnormais	Concentração de ZEIS 1
									Tipo 1	%	Tipo 2	%			
Bacia Jusante Cór. Cassandoca	3,4360	11,0037	4,6299	1,34747	50,4365	0,8722	1	-	Residência vertical - alto padrão	34,42%	Armazéns e depósitos	16,68%	28.564,33	1,431%	0,000%
Bacia Jusante Rio Cocaia	2,8236	8,8052	7,7754	2,75372	65,1658	6,3889	-	8	Residência horizontal - baixo padrão	44,26%	Residência horizontal - médio padrão	22,66%	31.192,40	4,895%	10,127%
Braço Rio Monos	4,4289	11,1765	9,7196	2,19456	36,0891	2,0200	-	-	Residência horizontal - baixo padrão	61,38%	Terrenos vagos	30,25%	1.243,27	0,120%	0,115%
Córrego Aclimação	4,6224	9,8577	5,3847	1,16493	95,4675	5,9073	-	-	Residência vertical - médio padrão	49,55%	Comércio e serviço vertical	16,54%	76.912,73	0,454%	0,129%
Córrego Água Branca	0,6203	4,0547	1,0366	1,67109	12,6865	0,7184	1	-	Residência vertical - médio padrão	43,97%	Armazéns e depósitos	42,45%	3.091,02	0,441%	5,271%
Córrego Água Espreada	11,3473	21,1246	22,9851	2,02559	112,5938	5,5766	2	12	Residência horizontal - médio padrão	38,38%	Residência vertical - médio padrão	19,48%	137.642,49	2,813%	2,356%
Córrego Água Preta	3,8549	10,4892	5,5380	1,43660	112,5269	5,7199	-	-	Residência vertical - médio padrão	47,75%	Residência horizontal - médio padrão	15,96%	57.508,95	0,000%	0,000%
Córrego Alberto de Oliveira Lima	0,6619	3,7828	1,2623	1,90708	81,7616	7,4512	-	-	Residência horizontal - médio padrão	77,59%	Residência vertical - alto padrão	10,00%	1.396,66	0,000%	0,000%
Córrego Anhangabaú	5,2946	12,7883	11,5718	2,18557	100,2180	5,0144	1	-	Residência vertical - médio padrão	33,62%	Comércio e serviço vertical	29,67%	114.291,00	1,314%	0,004%
Córrego Anhanguera	4,9949	13,3972	4,0281	0,80645	100,4233	2,2254	-	-	Residência vertical - médio padrão	42,99%	Comércio e serviço vertical	26,10%	119.590,54	0,665%	0,000%
Córrego Antônio Gonçalves Campos	0,5246	4,1221	0,6310	1,20290	112,8766	10,7565	-	1	Residência vertical - alto padrão	81,71%	Escola	9,88%	314,55	0,000%	0,002%
Córrego Apereiba	2,8329	8,1346	4,5675	1,61234	76,2872	2,8265	-	-	Residência vertical - alto padrão	24,87%	Residência horizontal - médio padrão	19,30%	24.461,22	0,144%	0,158%
Córrego Apucas	6,8710	13,6550	15,9025	2,31443	107,9545	6,7905	1	14	Residência horizontal - baixo padrão	42,41%	Garagens	15,14%	98.753,63	14,580%	25,163%
Córrego Assis Ribeiro	4,8753	13,5114	7,9071	1,62188	84,5773	5,3515	-	3	Residência horizontal - médio padrão	31,05%	Residência horizontal - baixo padrão	24,84%	63.707,70	3,106%	15,370%
Córrego Belini	2,0830	7,9234	2,5389	1,21891	96,4485	5,2844	-	-	Residência horizontal - médio padrão	59,29%	Residência vertical - médio padrão	23,36%	14.856,23	0,000%	0,000%
Córrego Boaventura José Neto	0,7921	4,4110	1,8692	2,35984	91,6807	8,6220	-	2	Residência vertical - médio padrão	49,65%	Residência horizontal - médio padrão	26,17%	9.062,13	1,739%	3,674%
Córrego Cabuçu de Baixo	42,5878	45,9792	145,4900	3,41624	488,7324	12,7549	2	216	Residência horizontal - médio padrão	30,06%	Residência horizontal - baixo padrão	23,40%	409.020,98	4,113%	20,475%
Córrego Carandiru	7,3742	15,2624	15,2632	2,06980	93,0204	5,8440	2	-	Residência horizontal - médio padrão	38,28%	Residência vertical - médio padrão	19,09%	84.371,21	0,033%	0,870%
Córrego Cassandoca	4,4559	10,8237	6,1268	1,37500	68,9431	1,9557	2	-	Residência vertical - médio padrão	25,52%	Residência horizontal - médio padrão	15,57%	47.997,99	0,566%	0,016%
Córrego Charles de Gaulle	1,5673	5,9484	2,2904	1,46138	87,7521	4,5665	-	-	Armazéns e depósitos	45,77%	Residência horizontal - médio padrão	28,05%	5.589,36	0,567%	0,629%
Córrego Cintra	4,3055	10,7677	13,2521	3,07794	86,1279	7,1596	1	-	Residência horizontal - médio padrão	37,92%	Residência vertical - médio padrão	10,39%	45.290,40	1,426%	1,494%
Córrego Coberá	0,8650	4,3134	1,7796	2,05734	68,5213	5,1855	-	-	Residência horizontal - médio padrão	73,17%	Comércio e serviço vertical	13,69%	11.460,36	0,000%	0,000%
Córrego Comendador Martinelli	0,8507	5,5809	1,7756	2,08709	25,5776	0,9870	-	-	Armazéns e depósitos	30,06%	Comércio e serviço horizontal	24,42%	2.031,25	0,000%	0,627%
Córrego Cordeiro	16,9044	26,0920	37,8557	2,23940	132,3018	6,1424	-	18	Residência horizontal - médio padrão	43,40%	Residência horizontal - baixo padrão	16,66%	217.546,24	2,202%	8,352%
Córrego Curtume	1,4318	5,7061	1,6621	1,16083	36,5863	1,0352	1	-	Comércio e serviço horizontal	31,25%	Armazéns e depósitos	15,73%	9.885,26	0,000%	0,000%

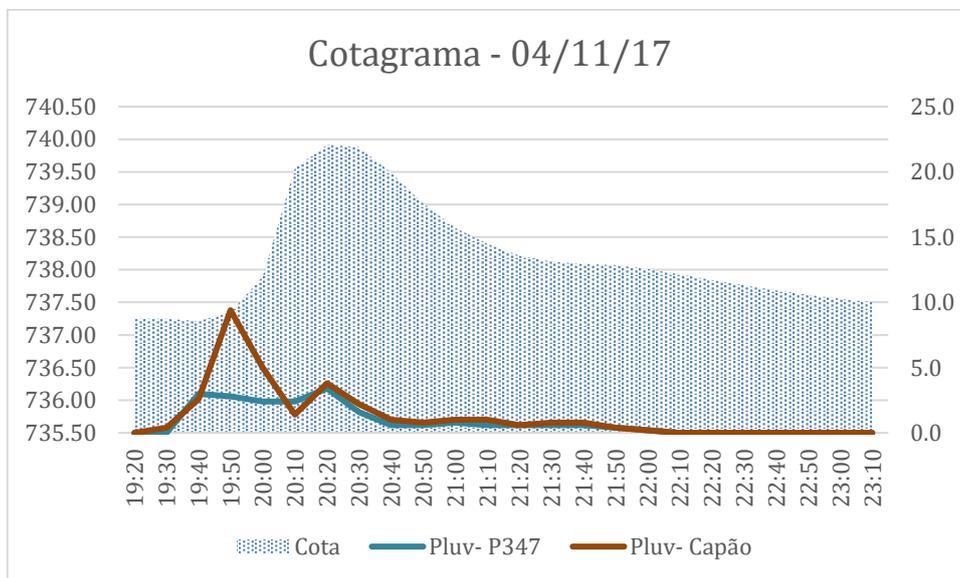
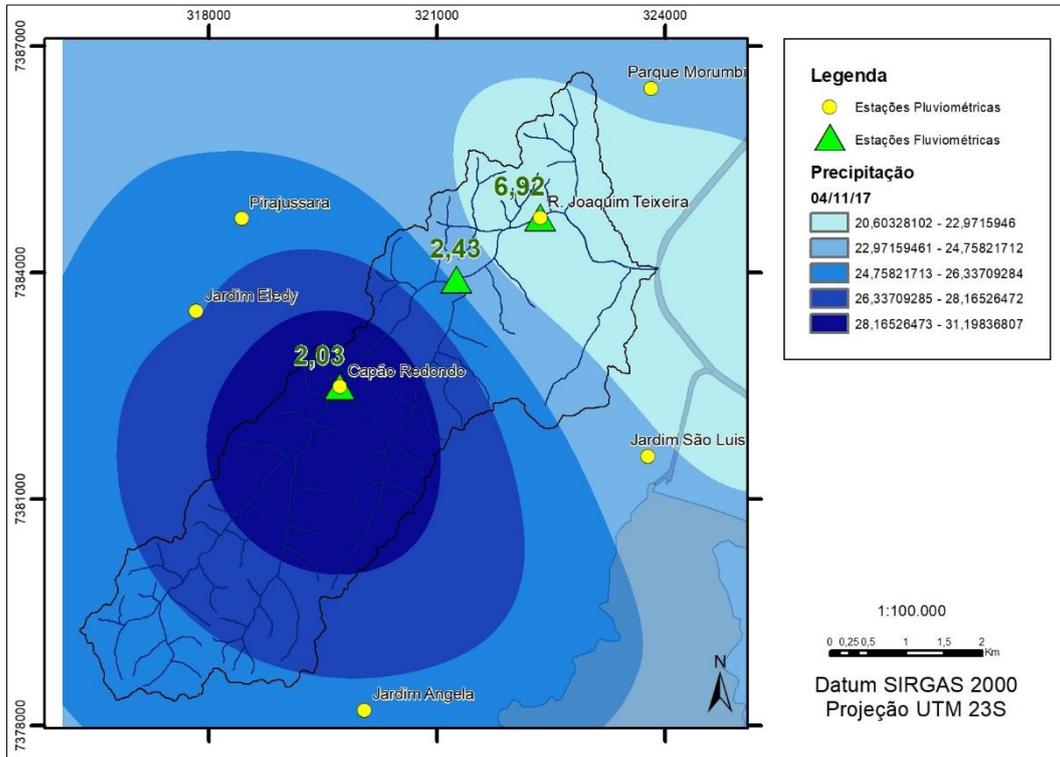
Córrego da Divisa	3,8546	9,5210	3,5180	0,91267	89,7639	2,9665	1	-	Armazéns e depósitos	19,92%	Residência horizontal - médio padrão	18,74%	29.307,48	0,086%	0,063%
Córrego da Fonte	1,1406	5,3718	2,3770	2,08399	113,6783	13,7085	-	15	Não especificado	96,88%	Residência horizontal - baixo padrão	2,93%	20.132,82	2,188%	87,141%
Córrego da Luz	1,8076	8,5745	2,7712	1,53308	45,8098	0,9724	-	-	Residência vertical - alto padrão	34,86%	Comércio e serviço verical	26,73%	25.627,45	1,328%	0,000%
Córrego da Mooca	15,0248	26,9832	26,5641	1,76802	113,9135	4,7225	2	-	Residência horizontal - médio padrão	41,84%	Residência vertical - médio padrão	14,15%	192.093,13	0,310%	1,366%
Córrego da Traição	6,2466	14,7090	8,2404	1,31918	98,9132	2,3396	-	-	Residência horizontal - médio padrão	31,70%	Escola	25,35%	42.291,46	0,000%	0,061%
Córrego das Corujas	2,7039	7,7616	2,8141	1,04078	96,0800	4,8615	1	-	Residência horizontal - médio padrão	36,86%	Residência vertical - médio padrão	36,63%	27.754,30	0,075%	0,193%
Córrego do Violão	1,9751	7,4400	2,9477	1,49243	86,6538	3,3534	-	5	Residência horizontal - médio padrão	54,42%	Comércio e serviço verical	16,52%	26.726,69	1,285%	4,547%
Córrego Fiat Lux	1,9578	7,9814	5,8019	2,96345	81,8016	8,1540	-	-	Comércio e serviço verical	51,10%	Residência horizontal - médio padrão	41,26%	6.728,03	0,488%	0,852%
Córrego Fortunato Ferraz	2,3354	7,0645	2,5653	1,09844	91,2869	2,6855	-	-	Comércio e serviço horizontal	25,14%	Residência horizontal - médio padrão	23,65%	8.058,07	0,000%	0,000%
Córrego Golfe Clube	12,7571	18,1102	55,2506	4,33098	107,3661	5,7798	-	-	Residência horizontal - baixo padrão	96,10%	Residência horizontal - médio padrão	2,46%	1.784,74	0,000%	0,344%
Córrego Guavirituba	3,7515	10,1345	8,2468	2,19829	97,0762	9,7767	-	8	Residência horizontal - baixo padrão	63,32%	Residência horizontal - médio padrão	18,43%	60.915,74	6,840%	39,239%
Córrego Iguatemi	5,2434	12,1451	7,3456	1,40092	103,1625	2,1196	2	-	Residência vertical - médio padrão	46,39%	Residência horizontal - médio padrão	20,33%	78.912,88	0,000%	0,000%
Córrego Ipiranga	23,1179	31,4617	52,1187	2,25447	122,8611	5,9844	3	2	Residência vertical - médio padrão	25,51%	Residência horizontal - médio padrão	23,17%	249.278,54	0,362%	0,551%
Córrego Itupu	6,8445	17,6376	12,9291	1,88897	149,0200	8,1998	1	12	Residência horizontal - baixo padrão	53,51%	Residência horizontal - médio padrão	34,62%	43.299,93	3,480%	15,601%
Córrego Jaboticabal	3,4594	9,6091	7,5551	2,18389	96,6807	6,8443	1	-	Residência horizontal - médio padrão	29,56%	Comércio e serviço horizontal	19,81%	48.712,29	1,056%	5,265%
Córrego Jacu	37,6012	37,1097	97,7261	2,59901	149,4513	6,4652	4	21	Residência horizontal - baixo padrão	26,03%	Não especificado	22,21%	404.387,84	1,653%	13,268%
Córrego Jaguaré	28,0437	31,4030	62,0810	2,21373	143,6942	7,0068	3	38	Residência horizontal - médio padrão	23,32%	Residência vertical - médio padrão	15,90%	252.263,85	2,015%	7,176%
Córrego José Papaterra Limongi	1,1778	4,5815	1,7050	1,44757	60,9918	3,0457	-	-	Comércio e serviço horizontal	26,88%	Residência vertical - médio padrão	22,74%	11.488,67	0,719%	3,078%
Córrego Mandaqui	18,6109	25,2872	62,8606	3,37763	108,8540	7,4232	2	8	Residência horizontal - médio padrão	42,78%	Residência vertical - médio padrão	21,92%	265.908,35	0,251%	1,110%
Córrego Maria Joaquina	3,0985	8,3662	3,6530	1,17897	72,2165	2,3247	-	-	Residência horizontal - médio padrão	46,43%	Garagens	18,07%	15.813,64	0,000%	0,000%
Córrego Moinho Velho	11,2414	16,6296	18,9416	1,68499	106,8260	4,8096	2	6	Residência horizontal - médio padrão	34,42%	Residência vertical - médio padrão	19,94%	173.298,39	2,669%	5,345%
Córrego Mongaguá	9,3913	15,0130	18,1740	1,93520	88,4001	5,6072	1	6	Residência horizontal - baixo padrão	23,49%	Residência horizontal - médio padrão	23,43%	127.681,44	2,325%	18,347%
Córrego Moringuinho	1,5698	6,1242	1,2629	0,80447	91,9232	4,7431	-	-	Comércio e serviço verical	33,12%	Residência vertical - médio padrão	27,30%	39.435,42	3,197%	0,000%
Córrego Morro do "S"	22,5989	30,2098	59,6612	2,64001	146,5552	8,8936	-	90	Residência horizontal - baixo padrão	36,86%	Residência horizontal - médio padrão	13,72%	411.238,28	7,972%	26,472%
Córrego Morumbi	2,0200	7,2672	5,8180	2,88019	118,0455	11,1865	1	4	Residência vertical - médio padrão	75,61%	-	14,45%	23.573,22	3,623%	8,510%
Córrego Nova Paulista	1,0869	4,7981	3,5106	3,22980	98,0061	10,8256	-	-	Não especificado	57,52%	Escola	28,54%	9.739,80	0,025%	37,411%
Córrego Novo Mundo	4,1572	10,1539	7,5945	1,82684	92,7029	4,5386	-	-	Residência horizontal - médio padrão	38,01%	Comércio e serviço verical	15,43%	49.588,58	1,248%	3,003%
Córrego Olaria	1,1844	7,3303	2,9196	2,46494	76,9376	4,4391	-	-	Residência vertical - alto padrão	36,57%	Residência horizontal - médio padrão	24,41%	10.540,28	2,275%	3,522%
Córrego Oliveira Lima	0,6761	4,5915	1,8551	2,74379	68,5912	6,5135	1	-	Residência horizontal - médio padrão	45,71%	Residência vertical - médio padrão	23,48%	7.343,93	0,000%	0,000%

Córrego Ordem e Progresso	1,0437	4,4942	1,9083	1,82844	56,8184	4,1985	1	-	Residência vertical - médio padrão	30,34%	Armazéns e depósitos	20,99%	13.643,20	0,000%	0,731%
Córrego Oscar Americano	1,0998	5,9936	2,7125	2,46636	84,0236	8,9591	-	-	Residência horizontal - médio padrão	71,06%	Escola	20,09%	1.331,66	0,000%	0,000%
Córrego Pacaembu	3,2566	10,2994	5,3524	1,64356	100,1640	6,4769	-	-	Residência horizontal - médio padrão	29,88%	Residência vertical - médio padrão	19,40%	24.363,61	0,105%	0,000%
Córrego Paciência	5,3501	13,7400	12,9809	2,42629	80,3580	5,7202	-	4	Residência horizontal - médio padrão	61,29%	Comércio e serviço vertical	10,96%	95.022,43	0,282%	0,804%
Córrego Pedreiras	3,7743	11,6629	7,8538	2,08087	87,4913	7,6191	-	6	Residência horizontal - baixo padrão	42,77%	Residência horizontal - médio padrão	15,72%	74.145,25	9,492%	25,870%
Córrego Pedro Avancini	1,0961	5,0638	2,6186	2,38910	90,4725	9,7708	1	3	Residência horizontal - médio padrão	33,36%	Residência vertical - médio padrão	27,33%	6.186,73	2,974%	0,760%
Córrego Pirituba	8,7480	20,4085	34,2434	3,91443	251,3375	10,7717	2	1	Residência horizontal - médio padrão	40,16%	Residência vertical - médio padrão	13,91%	50.360,70	0,809%	1,869%
Córrego Poli	2,7253	8,2769	3,5495	1,30242	84,7610	2,8415	-	-	Residência vertical - médio padrão	50,84%	Residência horizontal - médio padrão	22,99%	15.397,80	0,108%	0,106%
Córrego Ponte Baixa	6,8284	13,3284	13,5100	1,97852	99,7442	9,0346	1	39	Residência horizontal - baixo padrão	39,64%	Residência horizontal - alto padrão	12,89%	131.507,33	7,955%	54,861%
Córrego Quirino dos Santos	1,0634	6,5010	2,2267	2,09390	89,8342	2,2169	-	-	Residência vertical - médio padrão	38,57%	Não especificado	14,49%	12.364,18	0,262%	0,000%
Córrego Reimberg Cocaia	19,2790	24,4788	53,7638	2,78873	101,5537	6,9730	1	33	Residência horizontal - baixo padrão	60,66%	Não especificado	14,94%	208.946,35	4,991%	38,555%
Córrego Santa Fé	19,1333	24,4156	68,7831	3,59495	410,2406	13,2739	1	33	Não especificado	56,63%	Residência horizontal - baixo padrão	16,21%	56.571,45	0,492%	12,230%
Córrego São José	3,8125	11,2027	10,0754	2,64275	111,0676	6,1813	-	38	Residência horizontal - baixo padrão	43,05%	Residência horizontal - médio padrão	24,28%	48.402,38	6,259%	23,918%
Córrego São Martinho	1,7614	6,5116	2,9157	1,65541	26,1307	0,5020	-	-	Residência horizontal - baixo padrão	57,22%	Terrenos vagos	24,86%	34.949,34	11,831%	75,807%
Córrego Sapateiro	9,4793	16,8638	12,3551	1,30338	105,5273	2,4323	2	-	Residência vertical - médio padrão	28,81%	Escola	18,39%	86.133,97	0,092%	0,157%
Córrego Sumaré	3,4085	10,3965	5,0013	1,46731	111,7203	5,7997	2	-	Residência vertical - médio padrão	45,44%	Residência horizontal - médio padrão	16,14%	47.274,13	0,007%	0,000%
Córrego Tanquinho	3,8956	11,1029	11,0478	2,83597	88,1631	7,2056	-	2	Escola	26,66%	Residência horizontal - baixo padrão	21,85%	32.102,97	1,059%	17,894%
Córrego Tatuapé	11,4734	20,3446	24,3972	2,12641	102,5323	4,7492	1	-	Residência horizontal - médio padrão	37,58%	Residência vertical - médio padrão	24,85%	125.723,22	0,060%	0,043%
Córrego Tenente Rocha	3,6396	9,3198	9,3682	2,57395	77,7316	4,8669	1	-	Escola	46,05%	Residência horizontal - médio padrão	20,36%	25.410,05	0,041%	0,190%
Córrego Thomaz Magalhães	1,3649	5,4873	1,5005	1,09935	67,5461	5,6469	-	-	Residência horizontal - médio padrão	66,22%	Residência vertical - médio padrão	9,07%	21.064,46	0,000%	0,000%
Córrego Tiburtino	3,4728	9,8146	7,9333	2,28437	96,5175	5,3896	-	-	Residência horizontal - médio padrão	30,44%	Residência vertical - médio padrão	24,05%	30.842,54	0,000%	0,000%
Córrego Tijuco Preto	2,2095	7,5946	4,9300	2,23122	71,1477	4,4013	-	16	Residência horizontal - baixo padrão	61,47%	Comércio e serviço horizontal	8,58%	36.987,91	5,753%	30,882%
Córrego Tiquatira - Leste	19,2576	27,0443	49,6273	2,57702	115,7905	5,6106	3	11	Residência horizontal - médio padrão	49,58%	Residência horizontal - baixo padrão	15,80%	268.607,57	1,087%	5,717%
Córrego Tiquatira - Norte	0,3500	2,5798	0,5943	1,69768	95,5128	11,0253	-	6	Residência horizontal - baixo padrão	52,05%	Residência horizontal - médio padrão	33,33%	5.206,43	7,225%	54,841%
Córrego Uberaba	10,0032	18,6132	12,7397	1,27356	100,0430	2,8321	3	-	Residência vertical - médio padrão	41,25%	Residência horizontal - médio padrão	21,44%	133.899,45	0,181%	0,259%
Córrego Verde I - Região Oeste	2,6541	11,0450	5,3984	2,03398	111,0063	4,2612	-	-	Residência vertical - médio padrão	32,31%	Residência horizontal - médio padrão	23,37%	31.173,76	0,000%	0,000%
Córrego Verde II - Região Oeste	4,9127	11,5016	6,2695	1,27618	99,7816	2,9180	-	-	Residência vertical - médio padrão	30,26%	Residência horizontal - médio padrão	24,15%	49.290,42	0,000%	0,000%
Córrego Zavuvus	8,8710	18,6588	21,1895	2,38864	107,4711	5,8929	1	11	Residência vertical - médio padrão	25,38%	Residência horizontal - médio padrão	24,32%	133.831,24	2,683%	12,986%
Jaceguava	2,0638	6,5471	7,2740	3,52463	59,7319	3,3916	-	-	-	-	-	-	16,52	0,000%	0,000%

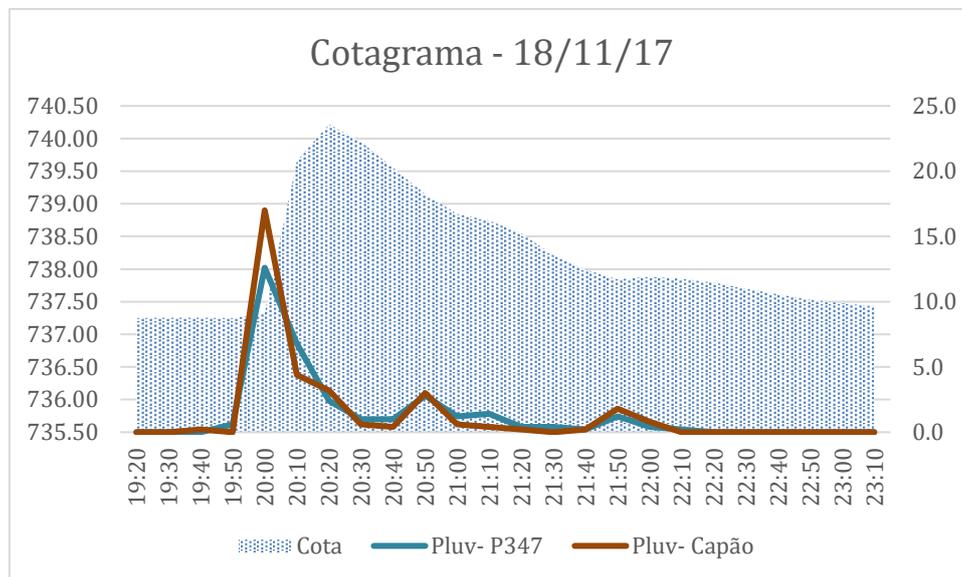
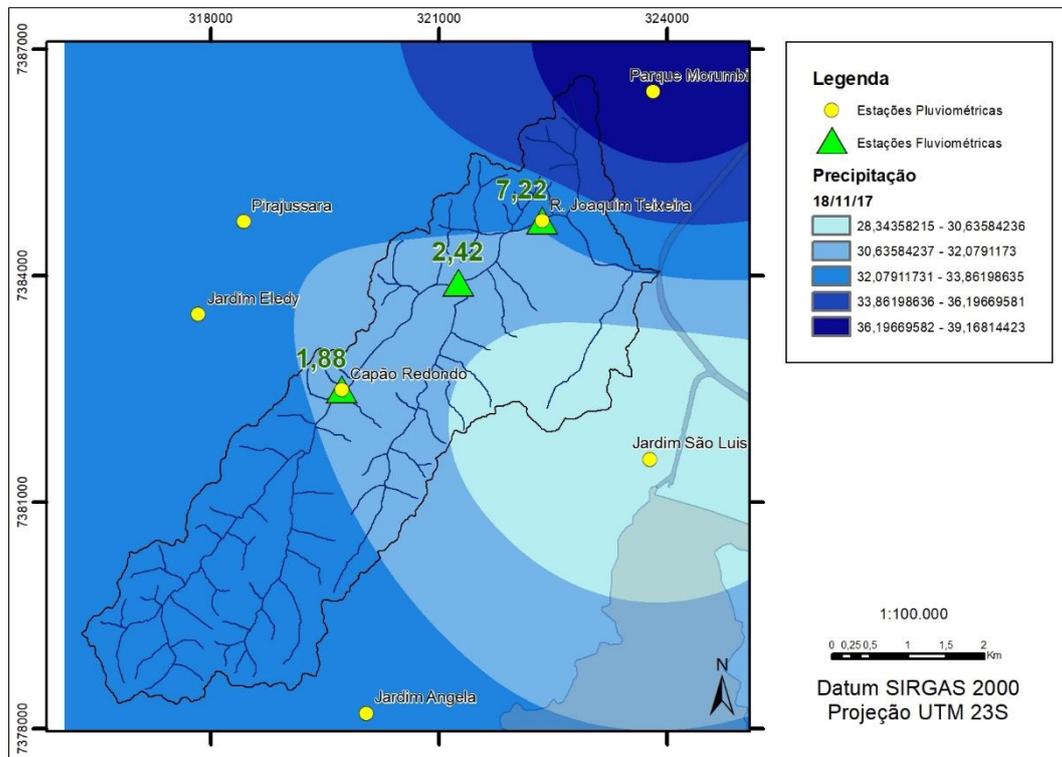
Jaceguay	2,7409	8,8777	8,8141	3,21575	122,9789	6,2393	-	-	Residência horizontal - médio padrão	53,48%	Não especificado	38,91%	410,56	0,000%	0,000%
José Teixeira Penteado	2,6589	7,6957	9,8093	3,68928	109,3285	7,2869	-	-	-	-	-	-	99,11	0,000%	0,000%
Jusante Ribeirão Colônia	4,5482	11,6175	17,9437	3,94521	61,1613	4,2508	-	-	-	-	-	-	132,70	0,000%	0,000%
Recanto do Sonho	3,0699	9,4426	16,0166	5,21725	56,3572	2,6590	-	-	Residência horizontal - baixo padrão	100,00%	-	0,00%	50,04	0,000%	0,000%
Ribeirão Água Vermelha	5,3774	15,9800	9,3564	1,73995	107,8640	3,4993	1	12	Residência horizontal - baixo padrão	58,81%	Residência horizontal - médio padrão	12,20%	90.042,52	3,661%	12,000%
Ribeirão Colonia	10,5719	19,8203	52,7860	4,99305	110,2109	9,9779	-	5	Residência horizontal - baixo padrão	99,16%	Não especificado	0,84%	10.554,01	0,227%	4,792%
Ribeirão dos Perus	28,9224	29,1936	65,7600	2,27367	495,3987	11,7441	3	51	Não especificado	40,48%	Residência horizontal - baixo padrão	26,08%	195.854,63	2,319%	13,186%
Ribeirão Grande	3,2392	10,9811	17,3626	5,36012	129,8519	7,7485	-	-	Terrenos vagos	50,65%	Residência horizontal - baixo padrão	35,04%	458,89	0,000%	0,000%
Ribeirão Guacuri	4,8616	12,1968	18,6566	3,83753	135,3642	8,5056	1	5	Residência horizontal - baixo padrão	36,49%	Residência horizontal - médio padrão	22,30%	39.595,26	4,124%	19,859%
Ribeirão Parelheiros	47,3252	40,4498	191,4303	4,04500	176,4435	8,8594	4	12	Residência horizontal - baixo padrão	61,63%	Não especificado	8,64%	106.742,45	1,061%	8,859%
Ribeirão São Miguel	13,2686	19,2938	41,4197	3,12164	413,0970	11,8059	-	4	Não especificado	49,33%	Residência horizontal - médio padrão	22,49%	32.123,06	0,676%	7,872%
Ribeirão Taquacetuba	10,1440	17,5420	44,4062	4,37761	82,3759	2,8907	-	-	Residência horizontal - baixo padrão	65,12%	Comércio e serviço verical	16,32%	3.629,72	0,395%	0,465%
Ribeirão Varginha	39,6677	37,0791	142,2976	3,58724	125,6942	5,2281	1	23	Residência horizontal - baixo padrão	66,05%	Não especificado	11,17%	40.296,76	1,044%	4,754%
Ribeirão Verde - Região Norte	12,1495	17,0999	35,2648	2,90258	171,5923	9,0999	1	6	Residência horizontal - médio padrão	39,98%	Residência horizontal - baixo padrão	18,69%	168.327,08	2,001%	6,348%
Ribeirão Vermelho - Região Sul	15,2780	19,1221	49,7671	3,25743	133,9375	5,0861	-	2	Residência horizontal - baixo padrão	99,58%	Comércio e serviço verical	0,42%	17.999,92	0,101%	9,888%
Rio Aricanduva	103,8998	63,2236	310,4358	2,98784	273,7584	7,9663	11	236	Residência horizontal - médio padrão	28,04%	Residência horizontal - baixo padrão	22,83%	1.124.118,04	1,999%	14,273%
Rio das Pedras - Região Norte	5,3384	16,3626	18,9860	3,55646	152,2661	8,8312	-	17	Residência horizontal - baixo padrão	31,95%	Residência horizontal - médio padrão	30,83%	103.840,03	3,564%	33,996%
Rio das Pedras - Região Sul	6,0992	14,2675	11,3048	1,85350	107,8707	5,6274	2	22	Residência horizontal - baixo padrão	32,75%	Residência horizontal - médio padrão	28,50%	80.635,52	1,511%	12,672%
Rio dos Monos/Rio Capivari	148,4493	78,7356	1.046,5942	7,05018	814,2639	11,0411	-	-	Terrenos vagos	72,44%	Residência horizontal - baixo padrão	27,56%	4.949,64	0,000%	0,001%
Rio Embu-Guaçu	27,1653	42,3401	179,9644	6,62478	137,5203	5,7445	-	-	-	-	-	-	563,23	0,000%	0,000%
Rio Tremembé/Ribeirão Piqueri	34,5425	31,5465	120,8417	3,49835	449,4543	11,6944	3	79	Residência horizontal - médio padrão	48,55%	Comércio e serviço verical	10,52%	242.358,94	1,488%	10,344%
Solo Sagrado	1,9250	7,2411	7,0438	3,65909	95,2603	6,0008	-	-	Não especificado	100,00%	-	0,00%	43,97	0,000%	0,000%
Usina Piratininga	1,0529	4,3920	2,2755	2,16127	43,3550	2,2481	-	-	Comércio e serviço horizontal	77,15%	Residência horizontal - médio padrão	12,68%	2.452,67	0,228%	0,222%

APÊNDICE 2: Interpolação dos acumulados diários de precipitação em dias com eventos de inundação confirmados e cotagramas de cheia.

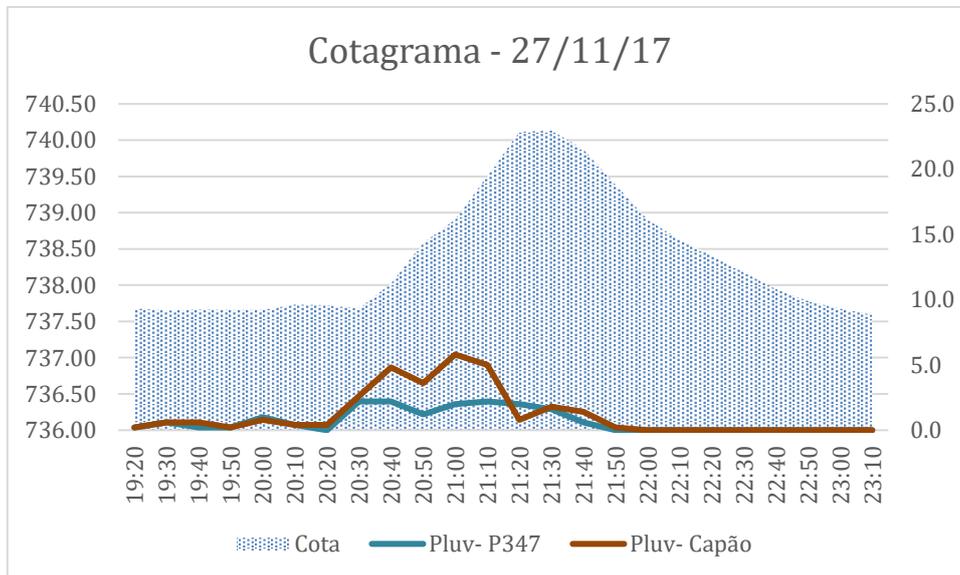
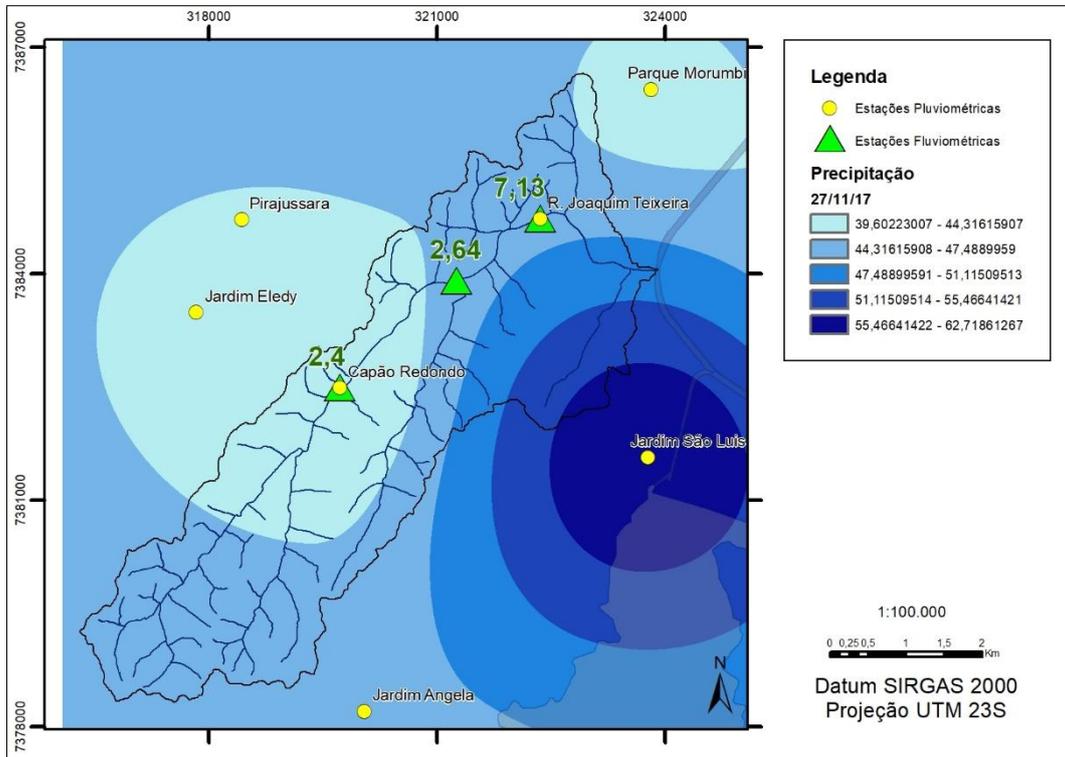
04 de novembro de 2017.



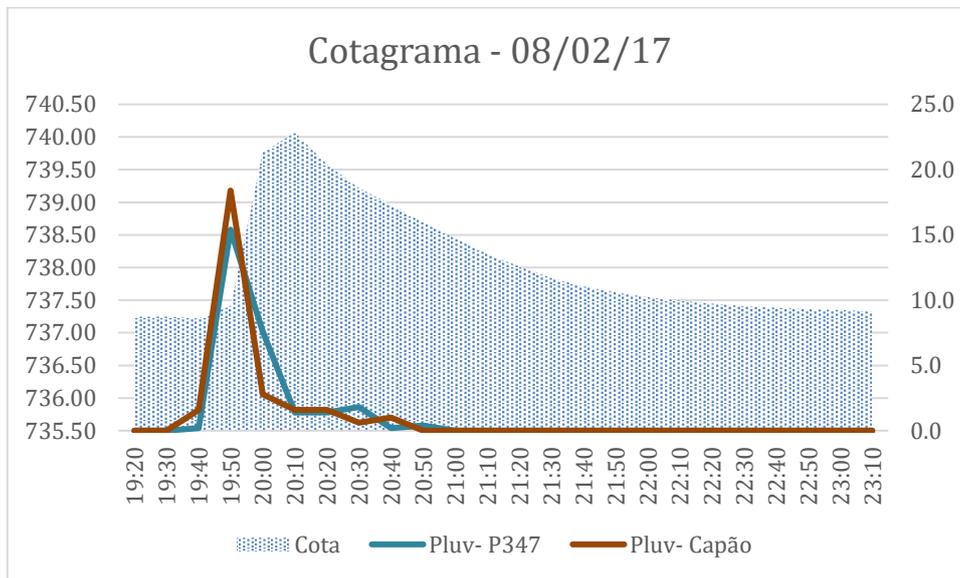
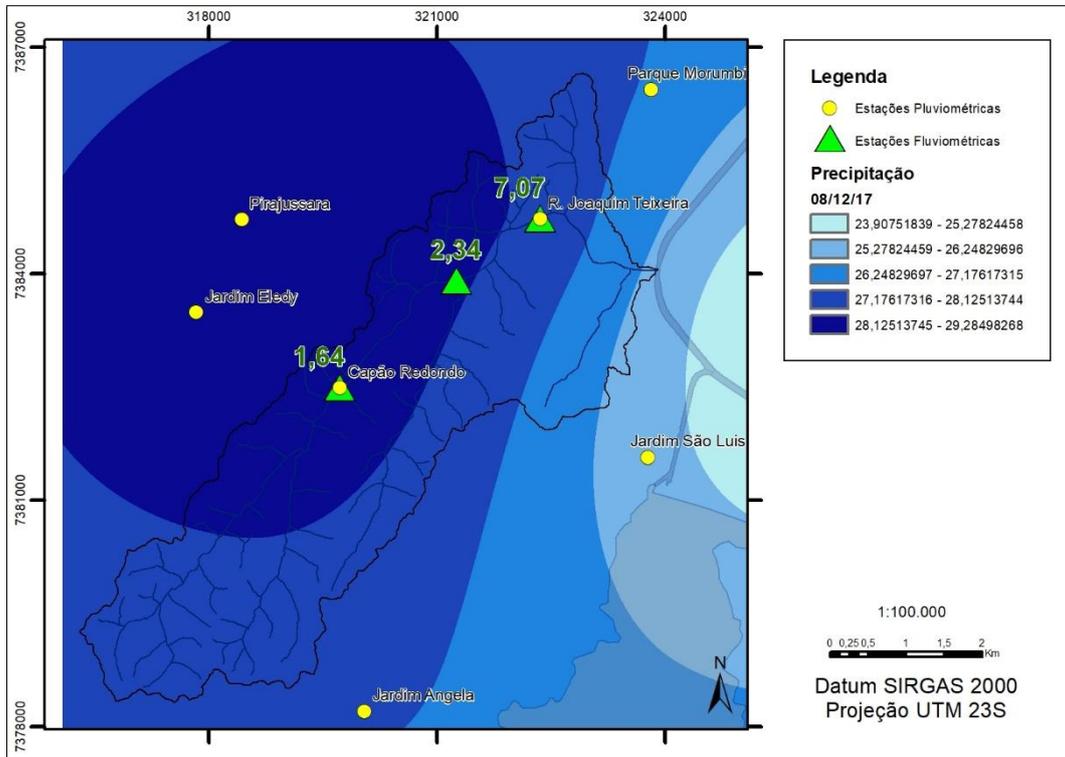
18 de novembro de 2017.



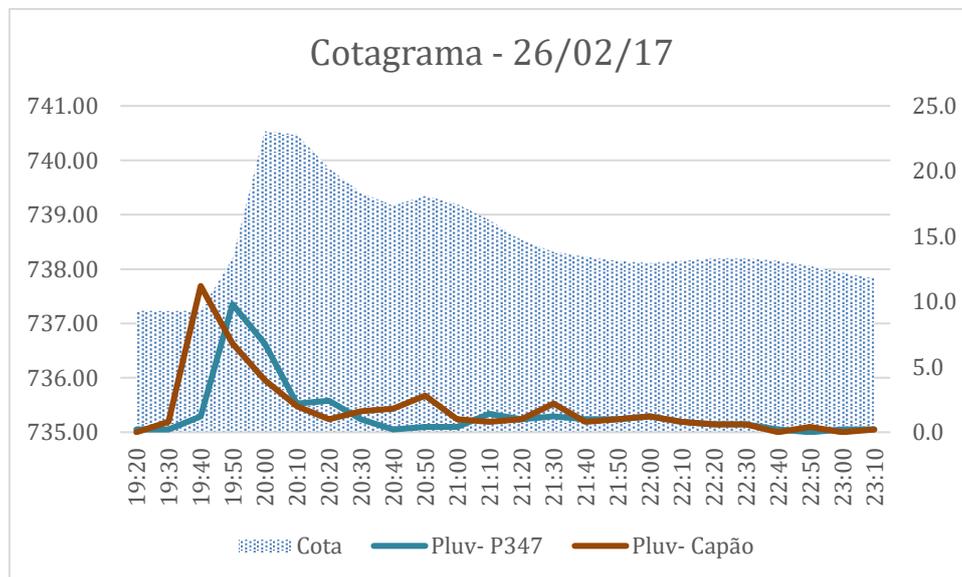
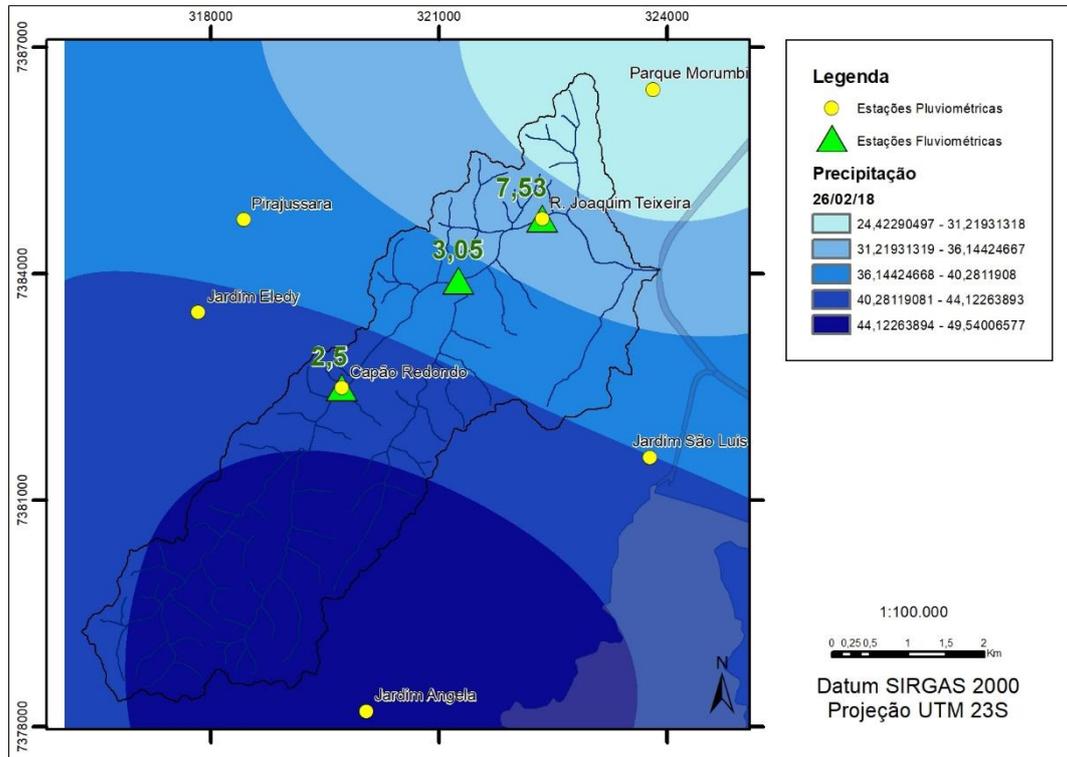
27 de novembro de 2017.



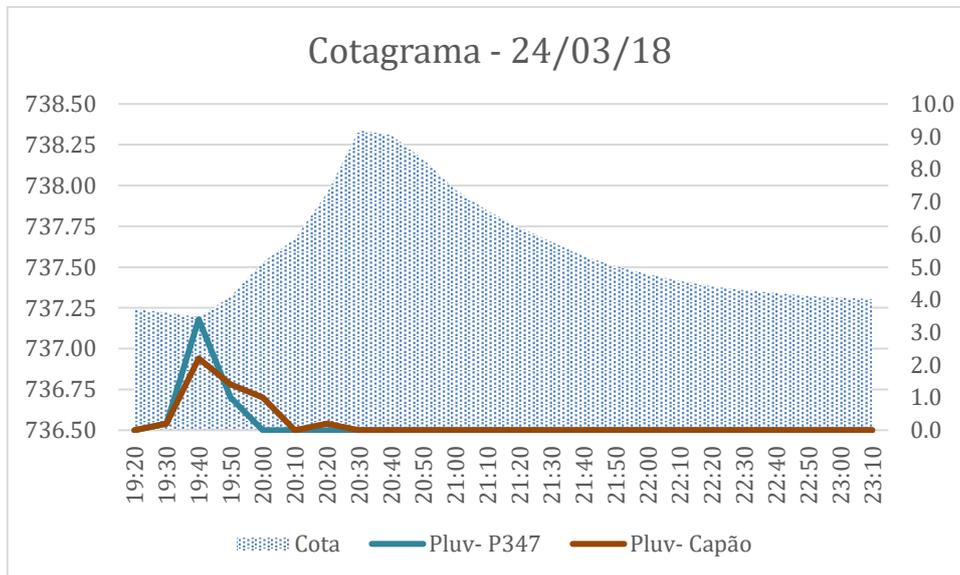
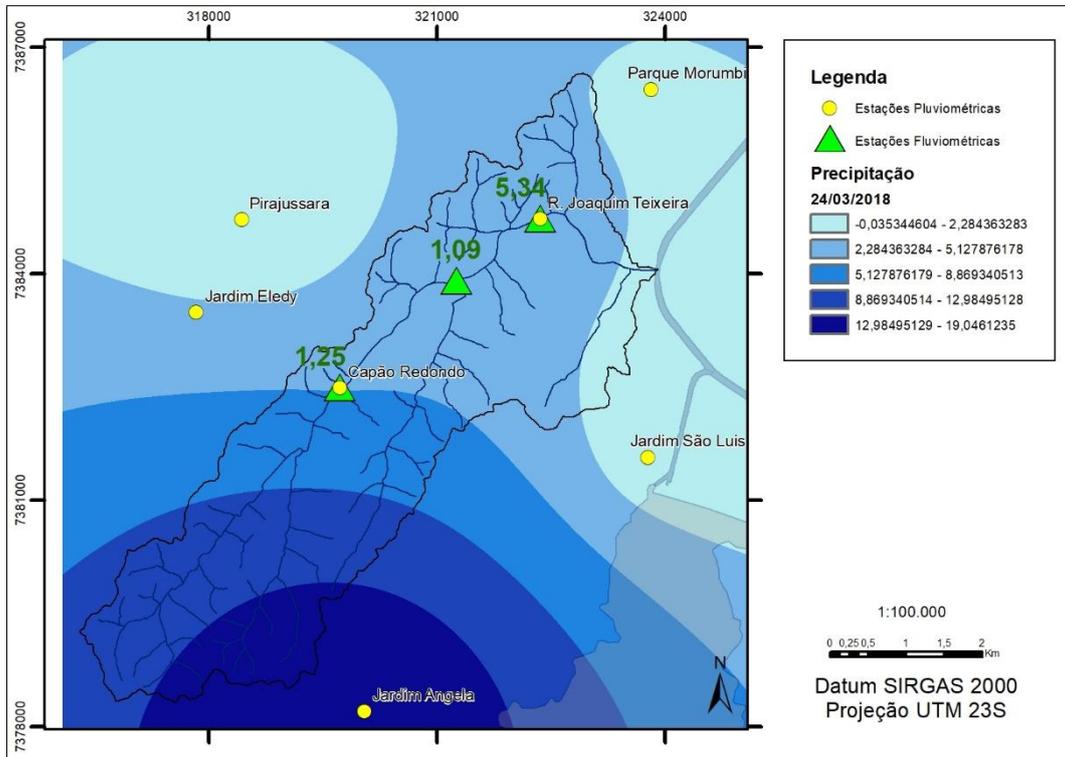
08 de dezembro de 2017.



26 de fevereiro de 2018.



24 de março de 2018.



30 de março de 2018.

