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

IURY TADASHI HIROTA SIMAS

**Análise retrospectiva de episódios de inundações na Bacia Hidrográfica do
Rio Aricanduva - São Paulo**

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo

2017

IURY TADASHI HIROTA SIMAS

**Análise retrospectiva de episódios de inundações na Bacia Hidrográfica do
Rio Aricanduva - São Paulo**

Dissertação 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, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, especialidade Geografia Física.

Orientadora: Prof^a Dr^a Cleide Rodrigues

Co-orientador : Prof. Dr. João Lima Sant'Anna Neto

De acordo:___/___/___

Assinatura da Orientadora:_____

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo

2017

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 retrospectiva de episódios de inundações na
Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva - São Paulo /
Iury Tadashi Hirota Simas ; orientadora Cleide
Rodrigues. - São Paulo, 2017.
168 f.

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

1. Riscos. 2. Inundações. 3. Antropogeomorfologia.
4. Geografia do Clima. 5. Zona Leste de São Paulo.
I. Rodrigues, Cleide, orient. II. Título.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Sandoval Aparecido Simas e Luci Mieko Hirota Simas , por mais motivos do que seria possível aqui listar.

Agradeço aos meus orientadores, Prof^a Dr^a Cleide Rodrigues pelas direções dadas ao longo de todos os trabalhos e ajuda inestimável em mais de uma forma, e Prof. Dr. João Lima Sant'Anna Neto, pela amizade e por fornecer os primeiros incentivos que levaram-me a me tornar geógrafo. Também agradeço à Prof^a Dr^a Sidneide Manfredini e ao Prof. Dr. Jurandyr Ross pelas contribuições dadas em meu exame de qualificação.

Aos amigos do Laboratório de Geomorfologia da USP, e demais colegas de todas as origens encontrados ao longo dos últimos anos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq), pela bolsa de estudos concedida, sem a qual minha dedicação a este trabalho não seria possível.

RESUMO

Quando considerado o problema histórico dos episódios de inundação na cidade de São Paulo, notam-se como insuficientes as propostas que fazem uso das metodologias da climatologia e geomorfologia enquanto campos do conhecimento geográfico igualmente necessários para uma abordagem integrada do problema dos impactos socioespaciais associados. Ou seja, insuficientes justamente por trabalharem estes campos de forma isolada. Em vista desta demanda, esta pesquisa é pautada em análises concomitante dos sistemas físicos e sociais que caracterizam eventos naturais, direcionando a análise a uma bacia hidrográfica onde se registra a recorrência desses eventos com a presença de grupos vulneráveis em localidades de alta susceptibilidade. Nessa perspectiva, foi considerado o longo histórico de intervenções antrópicas nos sistemas hidrogeomorfológicos originais, como as canalizações, a instalação de piscinões, a crescente e ampla impermeabilização, etc. Para tanto, a análise retrospectiva abrangeu dois períodos representativos de sua ocupação urbana, sendo um de ocupação mais acelerada (1970) e outro mais recente (2000). Nesse estudo considera-se que o componente do escoamento superficial como o elemento fundamental das dinâmicas de sistemas fluviais e de vertente originário de precipitações pluviais. Por isso foi especialmente considerado nas análises comparativas entre tendências de processos em diversos cenários morfológicos mais preservado (ou original) e mais antropizadas da bacia. As informações morfológicas destes cenários foram consideradas em conjunto com dados de chuva interpolados, detalhados em escala rítmica, de dias com inundações confirmadas por fontes históricas em temporadas chuvosas selecionadas. Foram também correlacionados dados de leituras fluviométricas realizadas em diferentes pontos do curso principal da bacia. Paralelamente, foi elaborado um mapeamento da vulnerabilidade socioespacial da área de estudo, produto de um índice que associa fatores de susceptibilidade dos compartimentos físicos (morfológicas originais do sistema fluvial) e vulnerabilidade socioeconômica da população. Isso permitiu vislumbrar o processo de exposição ao risco atual. Dentre os resultados mais significativos, está a identificação dos locais na bacia onde há a sobreposição de condições da mais alta vulnerabilidade social com a presença de planícies de inundação (alta susceptibilidade). Identifica-se também que há baixa correlação entre dias com eventos de grandes volumes de precipitação e os episódios de inundação relatados. A modelagem espacial do componente escoamento superficial possibilitou observar mudanças ocasionadas pelas formas antrópicas nos sistemas nas duas décadas. Estas, quando associadas às informações secundárias sobre condições das estruturas de drenagem urbana e de engenharia presentes no canal, permitiu a efetiva reconstituição das variáveis envolvidas para a efetivação de cada episódio. Conclui-se que a proposta de análise recotrospectiva viabilizou bases para a avaliação da participação de diferentes fatores de origem climática e hidrogeomorfológica para o desencadeamento de um episódio impactante em um ambiente altamente modificado e apropriado por meio da lógica de reprodução do espaço urbano, definido pelos sujeitos sociais controladores.

Palavras-chave: Riscos, inundações, antropogeomorfologia, Geografia do Clima, Zona Leste de São Paulo.

ABSTRACT

When considering the historical problem of flood episodes in the city of São Paulo it's noticeable that there are insufficient proposals that make use of climatology and geomorphology methodologies as equally necessary geographical knowledge fields for an integrated approach to the problem of associated sociospatial impacts. This means that those proposals so far are insufficient because they treat those two fields isolatedly. Viewing this demand, this research is based on simultaneous analyzes of physical and social systems that characterize natural events. The analysis is directed to a hydrographic basin where the recurrence of these events is registered with the presence of vulnerable groups in locations of high susceptibility. It's cosidered the long history of anthropogenic interventions in the original hydrogeomorphological systems, such as urban drainage implementation, construction of stormwater reservoirs, the growing and extensive creation of impervious surfaces, etc. A retrospective analysis covered two representative periods of urban occupation, one of the fastest occupation (1970) and another more recent (2000). In this study it is assumed the component of surface runoff as the fundamental element of river systems and slope dynamics originated from rainfall. For this reason this element was especially considered in the comparative analyzes between tendencies of processes in different morphological scenarios: more preserved (or original) and two anthropized basin conditions. Morphological information from these scenarios were assessed related to interpolated rainfall data, detailed on a rhythmic scale of days with floods confirmed by historical sources in selected rain seasons. Data were also correlated with fluvimetric readings taken at different points in the basin's main river. At the same time, a sociospatial vulnerability mapping for the study area was elaborated, resulting in an index that associates factors of physical compartments susceptibility to floodings and the population's socioeconomic vulnerability. This allowed a glimpse at the process of exposure to the currently observed risks. Among the most significant results there is the identification of sites in the basin where the worst conditions of social vulnerability and the presence of flood plains (high susceptibility) overlaps. It is also identified that there is a low correlation between days with events with high volumes of precipitation and the reported flood episodes. The spatial modeling of surface runoff made it possible to observe changes caused by anthropic forms in the systems in both decades. When associated to secondary information about the conditions of the urban drainage and engineering structures present in the canal, the modelling results allowed the effective reconstitution of variables involved on each episode. It is concluded that the proposal of a retrospective analysis made viable bases for the evaluation of different factors of climatic and hydrogeomorphological origin to trigger an flooding impact in a highly modified environment, occupied through the spatial reproduction logic defined by the Controlling social agents.

Keywords: Risks, floods, antropogeomorphology, Climate Geography, East Zone of São Paulo.

Lista de Figuras

Nº	Título	Pág
Figura 1	Modelo de ação humana (<i>human agency</i>) em paisagens modificadas.	17
Figura 2	Representação de uma planície fluvial meândrica em bloco diagrama.	21
Figura 3	Articulação dos elementos envolvidos na conceituação de risco adotada.	25
Figura 4	Síntese de metodologias e conceitos a serem apropriados dos campos de conhecimento.	32
Figura 5	Localização da BHA	33
Figura 6	Fragmento do Mapa Topográfico do Município de São Paulo (SARA Brasil, 1930).	34
Figura 7	Distritos na área de estudo e respectiva população.	35
Figura 8	Intervenções no sistema hidrológico da bacia, de acordo com Cronograma de Obras para Controles de Enchentes.	36
Figura 9	Polígonos de Thiessen representando a cobertura da BHA por estações pluviométricas de acordo com inventário da ANA.	41
Figura 10	Polígonos de Thiessen representando a cobertura da BHA por estações pluviométricas operantes na década de 1970.	42
Figura 11	Polígonos de Thiessen representando a cobertura da BHA por estações pluviométricas operantes na década de 2000.	44
Figura 12	Unidade ideal de relevo e suas componentes elementares.	49
Figura 13	Aerofotos de 1972 utilizadas para a classificação dos tipos de uso do solo.	50
Figura 14	Ortofotos de 2010 utilizadas para a classificação de uso do solo.	51
Figura 15	Exemplo de aplicação de kriging, demonstrando nuvens de dados diferentemente variáveis para obtenção de média constante de μ .	53
Figura 16	Exemplo de vetorização dos limites da Planície Fluvial sobre overlays georreferenciados.	58
Figura 17	Procedimentos do mapeamento da morfologia original.	59
Figura 18	Áreas potencialmente inundadas durante os episódios levantados para a temporada chuvosa 1976-77.	75
Figura 19	Áreas potencialmente inundadas e alagadas durante os episódios levantados para a temporada chuvosa 2009-2010.	77
Figura 20	Perfis de linhas d'água no rio Aricanduva para avaliação das capacidades de calha e nível correspondente por vazão.	84
Figura 21	Área da BHA na carta geotécnica do município de São Paulo.	85
Figura 22	BHA na carta geotécnica do município de São Paulo reclassificada.	86
Figura 23	Primeira localidade escolhida para checagem de litologia em campo.	87
Figura 24	Checagens da classificação litológica na região da Vila Formosa.	88
Figura 25	Segunda localidade escolhida para checagem de litologia em campo.	89
Figura 26	Checagens da classificação litológica na região do Parque do Carmo.	89
Figura 27	Declividade na BHA, reclassificada a partir dos patamares propostos em FCTH, 2015.	90
Figura 28	Fragmento da carta de feições mínimas de relevo da BHA.	91
Figura 29	Feições mínimas de relevo reclassificadas pelos domínios hidrodinâmicos.	92
Figura 30	Carta de tendências hidrodinâmicas de superfície da Bacia Hidrográfica do Aricanduva, no cenário original.	93
Figura 31	Uso do solo na BHA em 1972.	95
Figura 32	Alterações nas tendências hidrodinâmicas de superfície no cenário antropizado de 1972 e áreas potencialmente afetadas por inundações no período.	96
Figura 33	Uso do solo na BHA em 2010.	98
Figura 34	Alterações em tendências hidrodinâmicas de superfície no cenário antropizado de 2010 e as áreas potencialmente afetadas por inundações e alagamentos no período.	99
Figura 35	Alteração dos valores de CN pelo uso e ocupação do solo entre os dois períodos (1972 e 2010).	101
Figura 36	Vulnerabilidade social na BHA, classificada pela metodologia IPVS (SEADE, 2010).	102
Figura 37	Morfologias fluviais originais da Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva.	105
Figura 38	Carta de vulnerabilidade socioespacial atual (2010) a episódios de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva.	109

Figura 39	Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 26/11/76.	111
Figura 40	Isoietas do total acumulado para o período durante 25-26/11/76.	112
Figura 41	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 25-26/11/76.	115
Figura 42	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 1) sobre dados de chuva interpolados de 25-26/11/76.	115
Figura 43	Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada pelas inundações em 18-19/01/77.	118
Figura 44	Isoietas do total acumulado durante 18 e 19/01/77.	119
Figura 45	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 18-19/01/77.	121
Figura 46	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 1) sobre dados de chuva interpolados de 18-19/01/77.	121
Figura 47	Vulnerabilidade socioespacial e localização de pontos afetados por alagamentos em 01/12/09.	124
Figura 48	Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 01/12/09, segundo informações das fontes documentadas.	124
Figura 49	Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 01-02/12/09.	125
Figura 50	Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 01-02/12/09.	125
Figura 51	Isoietas do total acumulado para o período durante 01-02/12/09.	126
Figura 52	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 01-02/12/09.	128
Figura 53	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 01-02/12/09.	128
Figura 54	Vulnerabilidade socioespacial e localização dos pontos atingidos por alagamentos em 08/12/09.	131
Figura 55	Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 08/12/09.	131
Figura 56	Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 07-09/12/09.	132
Figura 57	Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 07-09/12/09.	132
Figura 58	Isoietas do total acumulado para o período durante 07 e 08/12/09.	133
Figura 59	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 07-08/12/09.	135
Figura 60	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 07-08/12/09.	135
Figura 61	Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 08/01/10.	137
Figura 62	Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 07-09/01/10.	138
Figura 63	Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 07-09/01/10.	138
Figura 64	Isoietas do total acumulado para o período durante 07 e 08/01/10.	139
Figura 65	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 07-08/01/10.	141
Figura 66	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 07-08/01/10.	141
Figura 67	Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 21/01/10.	143
Figura 68	Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 20-21/01/10.	144
Figura 69	Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 20-21/01/10.	144
Figura 70	Isoietas do total acumulado para o período durante 20-21/01/10.	145
Figura 71	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 20-21/01/10.	147
Figura 72	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 20-21/01/10.	147

Figura 73	Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação e alagamentos em 04/02/10.	149
Figura 74	Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 04-05/02/10.	150
Figura 75	Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 04-05/02/10.	150
Figura 76	Isoietas do total acumulado para o período durante 03-04/02/10.	151
Figura 77	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 03-04/02/10.	153
Figura 78	Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 03-04/02/10.	154

Lista de Quadros

Nº	Título	Pág
Quadro 1	Estações pluviométricas que cobrem a área de estudo.	40
Quadro 2	Fluxograma da etapa de levantamento e análise dos eventos climáticos e fluviais.	47
Quadro 3	Reclassificação dos grupos litológicos presentes na Carta Geotécnica.	48
Quadro 4	Classificação dos fluxos hídricos superficiais a partir das feições mínimas de relevo.	49
Quadro 5	Valores de CN em função do uso do solo e grupo litológico.	52
Quadro 6	Matriz de decisão e prioridade das variáveis empregadas de acordo com o método AHP.	53
Quadro 7	Fluxograma da etapa de desenvolvimento do modelo espacial.	54
Quadro 8	Modelos de semivariograma e transformações aplicadas no kriging para cada evento chuvoso investigado.	55
Quadro 9	Variáveis sistematizadas para o índice de vulnerabilidade social empregado no mapeamento de acordo com os scores fatoriais.	60
Quadro 10	Resumo da série das décadas analisadas na estação Foz do Aricanduva.	62
Quadro 11	Síntese do ranqueamento de temporadas pelos critérios estabelecidos.	63
Quadro 12	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação Foz Aricanduva, EMAE.	65
Quadro 13	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação Itaquera, DAEE.	66
Quadro 14	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação Jd. Centenário, DAEE.	67
Quadro 15	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação R. Pirani, EMAE.	68
Quadro 16	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação Vila Ema, EMAE.	69
Quadro 17	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Aricanduva Foz, EMAE.	70
Quadro 18	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Itaquera, DAEE.	71
Quadro 19	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Guaio, DAEE.	72
Quadro 20	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Vila Formosa, CGESP.	73
Quadro 21	Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Vila Prudente, CGESP.	74
Quadro 22	Ocorrências de inundações e alagamentos na BHA durante a temporada chuvosa 1976-77.	76
Quadro 23	Resumo de ocorrências de inundações e alagamentos na BHA durante a temporada chuvosa 2009-10.	78
Quadro 24	Resumo das alterações nas tendências hidrodinâmicas identificadas, em porcentagem.	100
Quadro 25	Estimativas para perda de capacidade de armazenamento de água nas planícies de inundação.	106
Quadro 26	Áreas de vulnerabilidade socioespacial, relativa a inundações, classificadas como altíssima e dentro de planícies de inundação (nível 9).	107
Quadro 27	Gráfico de análise rítmica do período 19 a 28/11/76.	113
Quadro 28	Leitura pluvio e fluviométrica do evento de 24-28/11/76 na estação Aricanduva Foz.	113
Quadro 29	Diagrama em caixa representando a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 25-26/11/76.	116

Quadro 30	Gráfico de análise rítmica do período 12 a 21/01/1977.	120
Quadro 31	Leitura pluvio e fluviométrica do evento de 16-20/01/77 na estação Aricanduva Foz	120
Quadro 32	Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 18-19/01/77.	122
Quadro 33	Leitura fluviométrica do evento de 01-02/12/09 na estação Shopping Aricanduva.	127
Quadro 34	Leitura fluviométrica do evento de 01/12/09 na estação Aricanduva Foz.	127
Quadro 35	Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 01-02/12/09.	129
Quadro 36	Leitura fluviométrica do evento de 07-09/12/09 na estação Shopping Aricanduva.	134
Quadro 37	Leitura fluviométrica do evento de 08/12/09 na estação Aricanduva Foz.	134
Quadro 38	Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 07-08/12/09.	136
Quadro 39	Leitura fluviométrica do evento de 07-09/01/10 na estação Shopping Aricanduva	140
Quadro 40	Leitura fluviométrica do evento de 07-08/01/10 na estação Aricanduva Foz.	140
Quadro 41	Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 07-08/01/10.	142
Quadro 42	Leitura fluviométrica do evento de 07-08/12/09 na estação Shopping Aricanduva.	146
Quadro 43	Leitura fluviométrica do evento de 21/01/10 na estação Aricanduva Foz.	146
Quadro 44	Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 20-21/01/10.	148
Quadro 45	Leitura fluviométrica do evento de 04-05/02/10 na estação Shopping Aricanduva.	152
Quadro 46	Leitura fluviométrica do evento de 04/12/10 na estação Aricanduva Foz.	152
Quadro 47	Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 04/12/10.	154
Quadro 48	Resumo dos principais resultados obtidos.	155

Lista de Tabelas

Nº	Título	Pág
Tabela 1	Piscinões em operação na BHA.	36
Tabela 2	Unidades climáticas naturais na região correspondente à bacia hidrográfica do Rio Aricanduva.	38
Tabela 3	Unidades climáticas urbanas na região correspondente à bacia hidrográfica do Rio Aricanduva.	38
Tabela 4	Caracterização pluviométrica para a BHA (série 1967-2007). Dados coletados na estação pluviométrica da Foz do Aricanduva (DAEE-SP).	39
Tabela 5	Caracterização pluviométrica para os meses historicamente mais chuvosos da BHA e Município de São Paulo. Dados coletados nas estações pluviométrica da Foz do Aricanduva (DAEE-SP) e Mirante de Santana (Inmet).	39
Tabela 6	Valores de precipitação incidente sobre a área entre 25-26/11/76, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.	112
Tabela 7	Valores de precipitação incidente sobre a área entre 18-19/01/77, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.	119
Tabela 8	Valores de precipitação incidente sobre a área entre 01-02/12/09, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.	126
Tabela 9	Valores de precipitação incidente sobre a área entre 07-08/12/09, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.	133
Tabela 10	Valores de precipitação incidente sobre a área entre 07-08/01/10, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.	139

Tabela 11	Valores de precipitação incidente sobre a área entre 20-21/01/10, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.	145
Tabela 12	Valores de precipitação incidente sobre a área entre 03-04/02/10, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.	151

Lista de Fotos

Nº	Título	Pág
Foto 1	Ocupação de alto risco sobre área de aterro, próximo à Av. Aricanduva em São Matheus.	37
Foto 2	Ocupação de alto risco sobre a estrutura de vertedouro do piscinão Aricanduva I, no Iguatemi.	37
Foto 3	Piscinão Aricanduva III, ao fundo, trecho onde há redução da largura da planície fluvial.	103
Foto 4	Ruptura de declividade bem demarcada no limite entre planície de inundação e sistema vertente, no cruzamento da Avenida Dália e a Avenida Aricanduva (margem direita do curso), baixa bacia.	104
Foto 5	Exemplo de ponto de alagamento em potencial na rua Montserrat ocasionado pela declividade transversal das ruas e ausência de bocas de lobo.	110
Foto 6	Avenida Aricanduva, na Vila Manchester, identificada como afetada no período, à altura do cruzamento com a rua Tumucumaque.	117
Foto 7	Localidade potencialmente afetada na Estrada do Carmo, São Matheus.	123
Foto 8	Ocupação potencialmente afetada na Avenida do Caboré, próximo ao vertedouro do piscinão do Córrego Limoeiro.	123
Foto 9	Av. Aguiar da Beira, local impactado em trecho de canalização aberta e dentro da planície de inundação do córrego Taboão, limite entre os distritos de Aricanduva e Sapopemba.	130
Foto 10	Localidade identificada como de vulnerabilidade mais alta às margens do córrego Guabirobeira.	137
Foto 11	Trecho ao longo da Av. Aricanduva onde foram registradas ocorrências em 21/01/10.	143
Foto 12	Bancos de areia no interior do canal artificial do rio Aricanduva em seu trecho estrangulado, na Vila Carrão.	149

SUMÁRIO

1.	Introdução.	12
2.	Objetivos.	14
3.	Referencial teórico e metodológico.	15
3.1.	Sistemas físicos e intervenção humana em geomorfologia e climatologia.	15
3.2.	Articulação com o conceito de riscos.	23
3.3.	A associação de conceitos e técnicas com a Geografia do Clima e a antropogeomorfologia.	26
4.	Area de Estudo.	33
5.	Procedimentos.	39
5.1.	Análise de dados pluviométricos e fluviométricos.	40
5.2.	Pesquisa Documental.	44
5.3.	Análise rítmica e dados de radares.	45
5.4.	Desenvolvimento do modelo espacial.	47
5.5.	Interpolação de dados de chuva e interpretação.	54
5.6.	Reconstituição e mapeamento das morfologias originais.	56
5.7.	Mapeamento da vulnerabilidade socioespacial.	59
6.	Resultados.	62
6.1.	Análise pluviométrica.	62
6.1.1.	Temporada 1976-77.	65
6.1.2.	Temporada 2009-10.	70
6.2.	Levantamento de notícias.	75
6.3.	Modelo Espacial.	85
6.4.	Carta de vulnerabilidade socioespacial.	101
6.5.	Análises retrospectivas dos episódios de inundação.	110
6.5.1.	Ocorrências do dia 26/11/1976.	110
6.5.2.	Ocorrências dos dias 18-19/01/1977.	116
6.5.3.	Ocorrência do dia 01/12/2009.	123
6.5.4.	Ocorrência do dia 08/12/2009.	130
6.5.5.	Ocorrência do dia 08/01/2010.	136
6.5.6.	Ocorrência do dia 21/01/2010.	142
6.5.7.	Ocorrência do dia 04/02/2010.	148
7.	Conclusões e considerações finais.	155
	Referência Bibliograficas	159

1. Introdução.

De maneira generalizada, a expansão da urbanização em países de economia transicional (ou emergente) se dá como uma série de formas que são inadequadas à sua própria funcionalidade, criando paisagens em que sua população mais pobre acaba por ser a maior prejudicada, independentemente da existência ou não de planejamento urbano e instrumentos legais. No caso da drenagem urbana, verifica-se que constantemente novas construções ocupam planícies de inundação e os caminhos da drenagem natural, bem como os problemas com drenagem de águas pluviais são frequentemente piorados por constrições no fluxo à jusante causadas por diferentes intervenções. São Paulo, a maior metrópole brasileira, apresenta uma história de urbanização e de apropriação territorial em geral conflituosa com as tendências dos sistemas físicos nos quais está inserida. As enchentes, decorrentes de inundações, são exemplos de episódios desorganizadores dos fluxos urbanos que tornam evidentes os problemas cumulativos do seu modelo de urbanização. Seus impactos são recorrentes e comumente colocados como consequência única e exclusivamente, de fenômenos de ordem natural como as chuvas. No entanto, superando o senso comum existente sobre esse tipo de episódios extremos, deve-se destacar que a chuva é apenas uma das variáveis responsáveis por sua ocorrência. São as características morfológicas e dos materiais de superfície e as formas de ocupação antrópica ligada à apropriação do espaço urbano que definem a fragilidade estrutural, a vulnerabilidade e susceptibilidade de certos grupos aos impactos (RODRIGUES et al, 2014, LUZ e RODRIGUES, 2015). Por outro lado, só é possível compreender a produção do risco e a vulnerabilidade se considerados como elementos sociais sob influência da lógica da produção e apropriação do espaço por agentes sociais e econômicos.

Com esta perspectiva, os esforços que se direcionam contra os riscos produzidos, no sentido de compreender os fatores envolvidos em sua efetivação e permitir a melhor avaliação de meios e objetivos para ação, constituem uma via de importância inegável por onde o conhecimento científico pode atingir a significância social. Dada a complexidade do problema abordado neste estudo, reforça-se ainda sua relevância quando considerado que “é dever da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de desastre”, e que “a incerteza quanto ao risco de desastre não constituirá óbice para a adoção das medidas preventivas e mitigadoras da situação de risco” (Lei 12.608, BRASIL, 2012).

Resoluções que proponham a abordagem integrada do problema apresentado, encontram respaldo no âmbito internacional, onde a questão do combate aos riscos por

inundações passa por um período de mudança de paradigma, por conta da crescente percepção de que inundações são eventos naturais e não podem ser impedidos ou totalmente eliminados (ALCANTARA-AYALA, 2010). Constatação suportada pela identificação de que a quase totalidade dos episódios de grandes impactos de inundações ocorrem dentro das próprias planícies de inundação. Então, diversas agências e organizações, através de seu suporte a projetos de mitigação a inundações, dão maior ênfase na gestão de riscos (dimensão social) do que à proteção e fortalecimento de capacidades de previsão e alarme. Para ajudar a minimizar a exposição e vulnerabilidade, mapeamentos de zonas propensas a inundação e de risco a inundações têm recebido grande prioridade em todos os programas de mitigação (PIZZUTO, 2011). Esta demanda têm comprovado a importância de tecnologias de sensoriamento remoto e SIG como ferramentas vitais no delineamento de áreas suscetíveis e na combinação desta informação a índices de exposição e vulnerabilidade.

A análise concomitante dos sistemas naturais e sociais que caracterizam episódios de inundações trata de uma relação indissociável, pois, os sistemas hidrogeomorfológicos e o clima, dentro de determinadas escalas, são reconfigurados e suas dinâmicas produzem efeitos diferenciados por conta da intervenção de agentes sociais e econômicos no processo histórico de produção de um espaço urbano desigual. Tal perspectiva ainda encontra-se relativamente pouco explorada e tal lacuna carece de um viés eminentemente geográfico que, sem abrir mão de uma abordagem crítica, radicalize leituras sobre a paisagem ao longo de processos históricos, permitindo identificar agentes sociais, processos e parâmetros que possibilitam dimensionar mudanças (RODRIGUES, 1997, 1999, 2004, 2005, 2010).

Essa pesquisa selecionou como área de estudo a bacia hidrográfica do Rio Aricanduva, na Zona Leste de São Paulo, que se define como uma área com recorrência histórica de inundações impactantes sobre a população desde o período de maiores taxas de crescimento e ocupação da área (anos 70). Além da vulnerabilidade socioespacial, nesta área encontram-se características físicas que permitem tomá-la como representativa do ambiente físico modificado no processo de urbanização recente da metrópole paulistana. Então, sobre este recorte, buscou-se primeiramente a análise de dados pluviométricos, a fim de identificar temporadas chuvosas onde haveria maior probabilidade de encontrar registros de inundações. A partir disso, através de pesquisa em fontes documentais, foram levantadas as ocorrências de inundações e alagamentos na área, durante as temporadas chuvosas escolhidas, suas consequências socioeconômicas e espacialização. De modo a combinar estas informações e fornecer uma base para quantificações, na etapa seguinte foram desenvolvidas cartas de tendências hidrodinâmicas de superfície, a partir de um modelo espacial. Este modelo

sistematizou elementos funcionais do sistema hidrogeomorfológico, representando a morfologia original e os diferentes estágios e graus de perturbação ao incorporar a abordagem da antropogeomorfologia à análise. Por fim, associou-se ao mapeamento e classificação da vulnerabilidade socioespacial na bacia, definida pela coincidência espacial entre sistemas da planície fluvial original (restituída) e locais com alta vulnerabilidade social, possibilitando realizar uma análise retrospectiva dos episódios com impactos mais severos confirmados.

Com os resultados obtidos por estas etapas, estruturou-se a pretendida análise de retrospectiva histórica da participação de diferentes forçantes para a efetivação dos riscos a inundações. A partir destas análises retrospectivas, procurou-se observar que, para efetivação dos episódios, as variáveis de ordem pluviométrica, como intensidade, volume e local das precipitações, associaram-se a alterações em processos hidrodinâmicos de superfície, que tiveram suas dinâmicas reconfiguradas entre os diferentes estágios observados. Isto é, fatores oriundos de intervenções antrópicas sobre o sistema vertente e da planície fluvial em diversos setores da bacia, tiveram influência sobre a geração de precipitação excedente, direcionamento e concentração de fluxos, sendo determinantes para a ocorrência de episódios que impactaram, com maior severidade, as populações mais vulneráveis.

2. Objetivos.

O objetivo central desse estudo é o de identificar as diversas influências de fatores climatológicos e antropogeomorfológicos na ocorrência dos episódios de enchentes em dois períodos representativos da história de ocupação da bacia hidrográfica do Rio Aricanduva, reconstituindo a dinâmica dos processos do sistema fluvial nos eventos identificados.

São objetivos específicos:

- a) Levantar as ocorrências de enchentes na área de estudo na temporada mais chuvosa da década de 1971-1980 e da década de 2001-2010, a partir de fontes documentais para, a partir disso;
- b) Analisar os elementos climáticos, sobretudo pluviometria, no período próximo das ocorrências em escala rítmica;
- c) Elaborar modelo espacial que contemple as informações de morfologia original e antropogênica mais relevantes para configuração das tendências hidrodinâmicas de superfície na área de estudo. Sendo, no caso das Morfologias Originais (MO) a litologia, declividade, curvatura (planta e perfil) e limites dos subsistemas da planície fluvial, e, no caso da Morfologia Antropica (MA), observar as taxas de impermeabilização, padrões de arruamento, piscinões e obras de engenharia hidráulica sobre o canal;

d) Representar espacialmente totais de chuva incidentes na bacia hidrográfica nos dias com inundações relatadas para modelizá-los, identificando por meios comparativos as mudanças no balanço escoamento/infiltração entre os diferentes cenários (configuração originais e antrópicas).

e) Estabelecer e avaliar a relação entre as diferentes características climáticas, geomorfológicas, e de vulnerabilidade socioespacial da área para com os impactos das inundações constatadas nos dois períodos históricos representativos.

3. Referencial teórico e metodológico.

3.1. Sistemas físicos e intervenção humana em geomorfologia e climatologia.

Os objetivos desta pesquisa foram propostos com o reconhecimento de que agentes sociais e econômicos, através da produção e ocupação de novos espaços habitáveis pelo processo de apropriação urbana, efetivam-se como agentes de mudança nos sistemas físicos. Ao mesmo tempo em que alteram taxas de processos e dinâmicas dos sistemas, criam condições de vulnerabilidade diferenciadas no espaço. Logo, fenômenos naturais passam a impactar diferenciadamente em decorrência da atuação de forças reconfiguradas no ambiente urbano. Portanto, a este trabalho interessa apropriar-se de recursos teórico-metodológicos da geomorfologia e climatologia que contenham as técnicas adequadas às escalas e que possibilitem a interdisciplinaridade requerida. Sendo o conhecimento geográfico desenvolvido pelo relacionamento dinâmico entre os elementos de seus campos de conhecimento, o emprego de uma base teórica com abordagem sistêmica permite a compreensão integrada dos fenômenos naturais (TRICART, 1976).

Conceituando-se um sistema como “um conjunto estruturado de objetos e atributos unidos por relações definidas entre eles” (HART, 1986), temos a possibilidade de desenvolver uma análise que, ao abordar um determinado fenômeno, integra arcabouços teóricos de mais de um campo da Geografia.

Dentre os campos referidos, a geomorfologia tem como campo objeto de estudo as formas da superfície terrestre, os materiais superficiais e processos correlatos (Cooke e Doornkamp, 1974, apud HART, 1986) e tem como procedimentos fundamentais descrever, classificar e compreender esses processos. Ou ainda, para Williams (2011), Geomorfologia é o estudo da origem e evolução do relevo, considerando-se que todo relevo contém um legado de eventos tectônicos e climáticos passados e processos geomórficos e antropogênicos presentes. Como colocado por Loczy e Suto (2011):

“Desde sua aparição, mesmo antes da historia documentada, as sociedades humanas envolvem-se com os sistemas e processos geomórficos. A intensidade de envolvimento tem sido proporcional ao tamanho da população humana, às suas demandas sobre o ambiente e ao nível de progresso tecnológico alcançado para satisfazer as demandas crescentes.” (pag. 260)

Sherlock (1922) já indicava, a partir de estimativas, que o volume de material terrestre movido pela ação humana (já àquela época) superava o volume movimentado por qualquer outro agente geomorfológico considerado individualmente. Estudos mais recentes como de Wilkinson e McElroy (2007, *apud* LOCZY e SUTO, 2011), através da comparação efeitos de processos derivados de diversas praticas humanas (como desmatamento e uso inadequado do solo para agricultura) com as taxas naturais de sedimentação em rios no tempo geológico, concluíram que o acúmulo de material aluvionar pós-ocupação humana em canais de tributários de maior ordem e planícies de inundação é o processo geomórfico mais importante (em termo de erosão e deposição) atualmente na face da Terra. Com isso, o termo antropoceno (CRUTZEN, 2006) tornou-se amplamente aceito como correspondente ao período geológico em que a atividade humana sobre sistemas geológicos e ecológicos são de efeito dominante. A discussão sobre a efetiva separação deste período do Holoceno está em torno da possibilidade (ou não) de se estabelecer um limite estratigráfico. Isto, pois, considera-se que a ação humana age desde escalas locais e regionais (através da construção de estradas, por exemplo) até continentais (canais de navegação do Danúbio, grandes hidrelétricas chinesas, etc.) (LOCZY e SUTO, 2011).

Assim sendo, dentro das possibilidades de análise do campo de conhecimento da geomorfologia, há aquela de apropriação do conhecimento sobre um contexto de sistemas complexos, a ser aplicado para observar os impactos de atitudes e condições sociais, culturais e econômicas de uma população sobre determinada área (HART, 1986). A investigação da criação humana direta de formas e modificação de processos biofísicos naturais (principalmente através de mudanças no uso da terra) corresponde à antropogeomorfologia, conforme conceituado por Golomb e Eder (1964, *apud* LOCZY e SUTO, 2011).

Os efeitos da ação humana alteraram vetores, isto é, as taxas, magnitudes, e algumas vezes a direção, mas não a natureza essencial dos processos geomorfológicos (RODRIGUES, 1999). Ainda, deve-se observar que um sistema geomorfológico consiste de uma série de subsistemas em cascata, espacialmente relacionados, sendo que as interações dos componentes ambientais e sociais são complexas e requerem metodologias para examinar mudanças espaciais nos sistemas físicos e uma perspectiva analítica para compreender as

dinâmicas atuais e pretéritas destes sistemas (Rodrigues, 1997, 1999, 2004, 2005, 2010). Com isso em mente, a interdisciplinaridade é o promotor das orientações teórico-metodológicas básicas para a análise do antrópico, definindo a abordagem como antropogeomorfológica (NIR, 1983). Segundo o autor, o homem é entendido como agente geomorfológico que impacta a superfície terrestre com atividades que configuram diferentes categorias de intervenção, realizando influências diretas e indiretas sobre o meio.

Segundo diversos autores, revistos por Rodrigues (1997, 2000, 2004, 2005, 2010) a urbanização seria uma dentre diversas categorias ou modalidades de intervenção, com diversas formas de interferência, que configura um fenômeno geomorfológico de alta relevância ao meio físico, desenvolvido em escala de tempo histórica. Esta categoria é particularmente adequada a um estudo aplicado desenvolvido sob a ótica antropogeomorfológica, uma vez que sua proposta inclui à metodologia geomorfológica abordagens de natureza histórica e socioeconômica, a serem integradas pela abordagem do planejamento (NIR, 1983). Especificamente, as análises históricas são requeridas para estabelecer condições dos sistemas em um ou mais tempos passados e para definir os momentos de maior impacto, como mudanças no uso do solo, canalizações e outras intervenções de engenharia, enfim, pressões humanas sobre processos e formas fluviais. Tal abordagem é especialmente pertinente pois somente contextualizando a evolução do sistema fluvial é possível interpretar as suas condições atuais (GURNELL et al, 2011).

Figura 1: Modelo de ação humana (*human agency*) em paisagens modificadas. Fonte: LOCZY e SUTO, 2011.

Em termos geomorfológicos, as atividades humanas desenvolvidas no processo de urbanização resultam no cessar dos processos de formação de solo em áreas construídas e

pavimentadas, na formação de solos novos em parques e áreas vegetadas não naturais, na redução das redes hidrológicas naturais e, por consequência, na modificação de bacias em sentido amplo (NIR, 1983). Basicamente, a criação de uma nova paisagem envolve massiva modificação da circulação de energia, água, e outros materiais, mas a nova paisagem não pode ser criada sem considerar alguma paisagem pré-existente (DOUGLAS, 1983). Nir (1983) propõe diferenciar os efeitos desta ação, processada pela urbanização, em três estágios de desenvolvimento: (1) transição do período pré-urbano ao período suburbano; (2) transição do período urbano “primário” ao estágio mesourbano, ou período de construção; (3) transição do período mesourbano ao estágio urbano avançado, ou período urbano desenvolvido. Esta diferenciação destes estágios representativos da morfodinâmica antropogênica tem sua necessidade ligada ao fato de que é indispensável ter como parâmetro um estágio pré-urbano reconhecido (LIMA, 1990, RODRIGUES, 1997).

Pensando-se no sentido da aplicação, estudos da modalidade de intervenção “urbanização” mostram que esta é diretamente relacionada, por exemplo, às alterações nas funções hidrológicas em planícies fluviais (RODRIGUES, 2000), bem como mudanças na morfologia (tanto por acresção quanto subtração de matéria) em sistemas de vertente e fluviais (LIMA, 1990). São, portanto, exemplos de indicadores de ordem física que servem para buscar dimensionar a intervenção urbana nos processos, materiais e formas da superfície, reconhecendo tais intervenções conforme a classe social e técnicas de apropriação do meio físico envolvidas (RODRIGUES, 1992, 1997, 1999, 2003, 2004).

Ao mesmo tempo, no campo da climatologia geográfica entende-se que o clima, definido como a sucessão habitual dos tipos de tempo, “organiza” espaços climáticos a partir das escalas superiores em direção às inferiores, e que a ação antrópica atua nesta organização em sentido oposto, das escalas inferiores às superiores (MONTEIRO, 2000). Enquanto o clima obedece a comandos superiores (escala global e zonal), esta ação indireta do antrópico se realiza com a concentração de suas atividades sobre a superfície, especialmente no espaço urbanizado, onde os agentes concentram-se demograficamente e produzem economicamente, modificando sistemas naturais que, em sua forma original, não eram capazes de prover as necessidades humanas (MONTEIRO, 2000).

“A partir da organização primitiva da natureza, o homem promove, de maneira concentrada, uma série infindável de derivações que se aglutinam na massa de edificações urbanas: sua arquitetura, numa estruturação morfológica e dinâmica funcional, com seu sistema viário de circulação interna e de relacionamento regional, ao cabo de que as primitivas condições geoecológicas do local vão sendo derivadas por acréscimos. Aterros, represamentos e reservatórios d’água; eliminação

de acidentes topográficos indesejáveis. Substituições ou alterações, como aquelas produzidas na vegetação original extensivamente ou em manchas, em parques ou jardins etc. Tudo isso, aliado à própria dinâmica da população aí concentrada, circulando e desempenhando variadas atividades e serviços, faz com que as cidades sejam – por excelência – os lugares onde as resultantes ambientais configuram-se como obra conjunta de uma natureza retrabalhada e afeiçoada aos propósitos do viver humano” (MONTEIRO, 2009, pag. 10).

Deve-se destacar entre os diferentes elementos do clima (temperatura, pressão atmosférica, umidade, etc.) aquele que mais diretamente se relaciona ao objeto de estudo: a chuva, ou precipitação de água líquida. Conforme Gilman (1964), as condições para ocorrência de precipitação são o funcionamento de: 1) Mecanismos de resfriamento (descompressão adiabática associada com o movimento ascendente); 2) Mecanismos de condensação (ionização com núcleos hidrosscópicos e difusão molecular); 3) Mecanismos para crescimento de gotas (colisão e coalescência de cristais de gelo e gotas d’água) – superação da estabilidade coloidal pela velocidade de gotas de diferentes tamanhos e condensação de vapor nos cristais de gelo; 4) Mecanismos de acumulo de umidade (convergência, ou influxo horizontal de ar por unidade de área). Estudos como os de Monteiro (1976) e Lombardo (1985) demonstram a capacidade da intervenção humana, sobre estes diferentes mecanismos determinantes e sobre o elemento meteorológico da chuva, em particular, na configuração de um ambiente urbano.

Tomando-se isso em conta, no sentido da compreensão da repercussão dos fenômenos atmosféricos e considerando-se os espaços intensamente modificados, por excelência urbanos, há na climatologia proposta de uma perspectiva analítica onde o clima urbano é constatado como fato geográfico. Ou seja, assim como os objetos tratados pela antropogeomorfologia, o clima e os tipos de tempo são considerados como dotados de uma dimensão socioespacial, um produto da interação entre a atmosfera e um espaço urbano onde os seus impactos são diferentemente percebidos e vivenciados, na forma de risco, pelos diferentes grupos sociais (SANT’ANNA NETO, 2011).

Pensando-se na integração existente entre estas perspectivas analíticas dos dois campos do conhecimento científico, os sistemas fluviais representam o modelado ideal para o estudo de impactos humanos sobre sistemas físicos. Isto, pois, permitirão remontar a própria história de relação dos diferentes elementos presentes nesta interface homem/rio – homem/relevo e, por que não, homem/tempo (climático). Geomorfologicamente, um sistema fluvial funciona justamente como sistema processo-resposta dentro do qual uma alteração em uma parte pode ter efeito em muitas outras (COOKE & DOORNKAMP, 1990). E ainda, estes

sistemas devem ser postos como constituintes de uma bacia hidrográfica, um sistema maior, mais complexo e aberto, cujo equilíbrio e funcionamento (dependente do ajuste entre formas, materiais e processos) permite a visão sistêmica almejada (RODRIGUES, 1997, MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010). Na realidade, é exatamente a não extrapolação e não sistematização dos sistemas fluviais, com resultante isolamento, é que podem levar à miopia hidráulica que cria as falhas na explicação de como rios respondem aos complexos sistemas não lineares (como o tempo e os processos superficiais) que interagem com as atividades humanas (JAMES & MARCUS, 2006).

“Estudos geomorfológicos devem ampliar sua perspectiva espacial e temporal combinando abordagens retrospectivas e prospectivas. Há necessidade de iluminar a trajetória dos sub-sistemas terrestres e como mudanças geomorfológicas são transferidas para cada um deles em um módulo cascadeante com seus próprios tempo e limiares.” (KONDOLF e PIEGAY, 2011, pag. 114)

A adequação do recorte de uma bacia hidrográfica para uma análise sistêmica já era reconhecido e exemplificado por Gilbert (1877, apud HUGGET, 2011) quando afirmava que “em cada bacia todas as linhas de drenagem unem-se em uma linha principal, e um distúrbio em qualquer linha é comunicado através dela para a principal e então para cada tributário. E assim como qualquer membro de um sistema pode influenciar todos os outros também cada membro é influenciado por cada um dos outros”.

Da mesma forma, as escalas espaciais e temporais em geomorfologia fluvial tem correspondência entre si, sendo que um diz respeito especificamente ao tamanho da área englobada pelos sistemas e sub-sistemas, e a segunda refere-se ao tempo requerido para desenvolver ou modificar consideravelmente as características da superfície desta área. Por exemplo, o formato do canal de um rio está na ordem de metros (raramente milhares deles), enquanto sua extensão está na ordem de milhares a dezenas de milhares de metros, logo representam, respectivamente, escalas de tempo de menos de um ano e centenas de anos (PIZZUTO, 2011). Dadas essas diferenças, o próprio estabelecimento dos limites dos impactos humanos sobre rios e as escalas de tempo requeridas para o seu eventual ajuste a esses impactos representam um grande desafio de pesquisa na geomorfologia fluvial.

Associadas genética e funcionamento aos rios (e ao sistema canal), as planícies de inundação se definem como as áreas topograficamente mais baixas que servem à recepção dos fluxos não comportados além das margens. De maneira geral, as planícies de inundação do meio tropical possuem grande quantidade de “oxbow lakes”, complexos de barras marginais, bacias de decantação (backswamps) e lagos (sazonais ou permanentes). Suas

inundações são geralmente resultantes de chuvas intensas ou prolongadas por um extenso período e área, servindo de reflexo das características da sua área de captação, rede de drenagem e condições climáticas em toda bacia. Ainda, as planícies de inundação neste contexto podem ser encaradas como “geoarquivos”, para observação de mudanças ambientais naturais e induzidas pelo homem, explicando os casos de hiper (ou sub) sensibilidade deste subsistema (LOCZY e SUTO, 2011).

Figura 2: Representação de uma planície fluvial meândrica em bloco diagrama. Org.: RODRIGUES, C., SIMAS, I. T. H. Fonte: RODRIGUES, 2015.

Dadas suas características, um enfoque sobre este compartimento em específico, a planície fluvial (e seus subsistemas), permite evidenciar a herança de ações físicas descontínuas, na forma de obras hidráulicas de grande porte e intervenções problemáticas sobre sub-bacias, cujos limiares de ocupação há muito foram ultrapassados.

O desenvolvimento urbano, a partir da introdução da estrutura que suporta a habitação, modifica o funcionamento de uma bacia pois muda a fonte e quantidade de água e de sedimentos que nela circulam. Na etapa inicial de consolidação, uma grande quantidade de sedimento é mobilizada em um período curto, o que comumente estrangula o canal com a formação de barras em afluentes, criando condições de extravasamento. O estabelecimento subsequente de coberturas impermeáveis leva à rápida redução da infiltração e ao concomitante aumento do escoamento superficial. A destinação da água aos canais de drenagem é ainda mais acelerado pela colocação de drenagens pluviais artificiais ao longo da extensão da superfície impermeabilizada de ruas, lotes pavimentados, e edificações, além de diversas formas de obras sobre os canais (JENS, 1964). Por conta desses efeitos, são comuns

(especialmente no local estudado) obras de canalização, que envolvem retificação, alargamento e alinhamento de canais em concreto, modificando os canais naturais correntes pela área urbana, trazendo como efeito a acentuação de picos de vazão com chuvas intensas e diminuição dos baixos fluxos entre chuvas (GUPTA, 1984). Por causa da complexidade efeitos sobre os canais, reguladas por limiares, é difícil prever ajustes de longo termo nos processos de um rio canalizado (SCHUMM, 1979). Por exemplo, a retificação encurta seu comprimento e conseqüentemente torna mais íngreme seu gradiente hidráulico, e em um canal com velocidade elevada há maior capacidade de erosão, transporte e conseqüente depósito de sedimentos à jusante em pontos de menor declividade (JENS, 1964). Ainda, em canais de leitos arenosos (como é o caso) é requerida dragagem constante, o que rebaixa o nível de base, favorece a retomada erosiva nos afluentes, bem como na planície de inundação, e este aprofundamento pode transformar meandros em bacias de decantação ocasionando a elevação relativa dos terraços (COOKE & DOORNKAMP, 1990). Em resumo, as mudanças no tempo entre entrada/saída significam elevação dos picos de cheia e as curvas de subida e descida das cotas ficam mais íngremes, ou seja, mesmo para as cheias menores se espera aumento em altura e frequência (COOKE & DOORNKAMP, 1990).

Ainda, a ocupação humana inclui a acumulação de material e a ampla remoção de depósitos naturais e artificiais previamente existentes, operando concomitantemente aos seus equivalentes naturais (PRICE et al, 2011; DOUGLAS, 1983). No estudo de rios urbanos uma abordagem holística esta se tornando prevalente e Chin e Gregory (2009) enfatizam os seguintes requerimentos no planejamento urbano: “consideração dos impactos do uso do solo e da bacia afetada, retenção da precipitação, “atraso” do escoamento superficial, gestão dos efeitos do escoamento superficial dentro das áreas urbanas e planejamento das conseqüências a jusante”. Tal perspectiva tem grande valor, uma vez considerado que, durante todo o processo da urbanização, morfologias importantes do ambiente natural (ou pré-intervenção) que provêm das dinâmicas hidrológicas de atenuação de inundações, têm estes benefícios originais amplamente ignorados enquanto a cidade se desenvolve (PARKINSON e MARK, 2005).

Consideradas estas diferentes inter relações compatíveis com a abordagem sistêmica, o fenômeno das inundações no meio urbano pode ser interpretado considerando-se, resumidamente, que todo curso d’água possui um período de cheia, e a inundação como perigo (efetivando um episódio de enchente) é uma falha do urbanismo e planejamento. O mesmo podendo ser dito dos alagamentos, fenômenos causados por sistema inadequado de drenagem para águas pluviais e pode ocorrer frequentemente onde esta infraestrutura é

faltante ou deficiente. Deste modo, compreende-se a enchente como ocorrência caracterizada enquanto episódio, isto é, pressupõe sua interação com a organização social, enquanto a inundação é um evento, ocorrência de um fenômeno existente mesmo em condições pré-perturbação. Trata-se portanto, de uma conceituação baseada, mas não totalmente alinhada à literatura do tema, que, acredita-se, aborda de forma mais adequada os objetos de estudo segundo as perspectivas da antropogeomorfologia. Então, seguindo um critério de hierarquização por impactos à sociedade, teríamos primeiramente as ocorrências de alagamentos, passando por inundações maiores (de larga escala, com recorrência de aproximadamente 1-2 vezes por ano, e que pode causar transtornos e danos generalizados), até as inundações extremas, que ocorrem infrequentemente e resultam em episódios de enchentes de prolongada duração e em grandes áreas, atingindo uma escala dramática por seus impactos e danos às estruturas urbanas e vidas humanas (PARKINSON e MARK, 2005).

Torna-se evidente que no caso dos sistemas fluviais e hidrogeomorfológicos urbanizados na cidade de São Paulo, encontramos uma ampla gama de fatores físicos e sociais a serem contemplados na análise de um de fenômenos como as inundações quando estes se efetivam como episódios de enchentes. Na articulação entre as propostas teóricas que abrangem estes diferentes fatores reside o maior esforço deste trabalho.

3.2. Articulação com o conceito de riscos.

Segundo Hooke (1999), primeira fase de aplicação da geomorfologia, isto é, aplicação de suas teorias e conceitos estabelecidos a problemas de importância social, baseia-se no reconhecimento de que as formas da terra modificam-se significativamente durante o tempo de intervenção de um projeto de engenharia e que projetos que desencadeiam processos geomorfológicos frequentemente causam efeitos deletérios em outros locais. Atualmente já se enfatiza a compreensão de condições que governam a variabilidade geomorfológica, sua instabilidade e equilíbrio, com amplo uso de modelos aprimorados e sensoriamento remoto para prever efeitos e riscos de diferentes cenários de gestão. Como os objetivos da gestão ambiental geralmente envolvem tanto a redução de riscos postos pelo ambiente construído através de mudanças nas formações superficiais, minimizando impactos, e na restauração de atributos ambientais, a geomorfologia é comumente vista como a ferramenta para aplicação multi e interdisciplinar (DOWNS e BOOTH, 2011). É notável que muito do aparato teórico-metodológico e conjunto de técnicas empregadas em estudos de geomorfologia combinam-se com as principais demandas da gestão ambiental, conforme já sistematizado por Rodrigues

(1997), o que inclui, por exemplo, a concepção de modelos e o emprego da cartografia diretamente ao estudo de impactos antrópicos.

Tradicionalmente, e em ambos os campos, o da geomorfologia e o da climatologia, os estudos de perturbações ou impactos humanos, empregam estes termos com conotação de negatividade e anormalidade, uma vez que a percepção destes impactos são necessariamente ligados à percepção de propriedades intrínsecas de ciclos de processos com ocorrência no tempo de vida humano (ritmo climático, inundações, etc.). As abordagens dos processos e fenômenos percebidos entregam-se então a uma perspectiva de relacionamento estímulo-resposta e perturbação-recuperação, onde enquadram-se conceitos como susceptibilidade, vulnerabilidade, riscos, e perigos (*hazards*, eventos possíveis) (PHILLIPS, 2011).

White (1974) em sua “*geomorphological hazard matrix*” apresenta quatro critérios a serem observados no “perigo”, ou evento possível: 1- frequência, geralmente expresso como a probabilidade ou tempo de recorrência de um evento; 2- duração; 3- velocidade de ocorrência (investida, no original); 4- espaçamento temporal (randômico ou regular); 5- extensão areal; 6- dispersão espacial (difuso ou concentrado). 7- Magnitude, como uma medida de força, poder, energia ou fluxo de matéria. Uma avaliação por este tipo de enquadramento deve acompanhar o estudo da mudança, reconhecendo que há possibilidade de múltiplas repostas e trajetórias, de efeitos amplificados ou reduzidos (suprimidos).

Pensando-se nos sistemas ambientais, há como conceito próprio a sensibilidade (ou sensibilidade) da paisagem, que significa a possibilidade de uma dada mudança superando as condições limite (biostasia) em que forças no sistema produzam respostas sensíveis, reconhecíveis e persistentes (resistasia). Nesta concepção, segundo Phillips (2011), o distúrbio original interage com esta propriedade através de fatores intermediários amplificadores/inibidores, que desta forma irão condicionar outras quatro características: A *resposta*, ou o tempo e taxa da reação ao distúrbio, considerando o período necessário para o sistema iniciar a resposta e o tempo de relaxamento (por exemplo, o tempo de resposta à remoção da vegetação de uma vertente pode depender de quão cedo um evento de precipitação vem a ocorrer). A *resistência*, que é a capacidade do sistema em evitar ou minimizar respostas a mudanças externamente impostas, e normalmente é indicada por medidas de força, estabilidade química ou mecânica. A *resiliência*, ou a capacidade de um sistema recuperar o seu estado pré-distúrbio e é diretamente relacionado à estabilidade dinâmica. E a *recursão* (*feedback*), a resposta do distúrbio a si mesmo, podendo ser de forma positiva, reforçando ou acelerando e até perpetuando a mudança, ou negativa, retardando ou mesmo negando uma mudança. Estes fatores determinam a existência e magnitude da

susceptibilidade a determinado tipo de fenômeno em um dado espaço ou território, que potencialmente poderá ser efetivado como um risco.

A existência de um risco é sempre referente a um dado grupo ou indivíduo vulnerável, tornando-o um elemento essencialmente social (VEYRET, 2001). Por sua vez, a vulnerabilidade, enquanto uma propensão a sofrer danos, se articula em escalas de tempo e espaço que lhe são próprias de acordo com a natureza e organização dos elementos em risco, sua posição (em relação ao sistema planície fluvial, por exemplo) e o período de análise (antes, durante, após um desastre, ou em períodos mais ou menos chuvosos) (D'ERCOLE, 1994). Vulnerabilidade tem muitas conotações diferentes, dependendo da orientação e perspectiva da pesquisa, mas assume-se aqui que a vulnerabilidade é uma condição social, uma medida de resistência societal ou resiliência aos riscos (BLAIKIE et al, 1994).

Vulnerabilidade social é produto de desigualdades sociais, fatores sociais que influenciam ou moldam a susceptibilidade de vários grupos ao dano e que também governam sua habilidade à resposta. No entanto, isto também inclui a desigualdades de local, isto é, características das comunidades e do ambiente construído, como o nível de urbanização, taxas de crescimento, e vitalidade econômica (CUTTER et al, 2003). Nesta conceituação, o risco (uma medida objetiva da probabilidade de um episódio) interage com a mitigação (medidas para enfraquecer riscos ou reduzir seus impactos) para produzir risco potencial (**Figura 3**). Este potencial é moderado ou fortalecido pelo “filtro geográfico” (local e situação, proximidade) bem como a malha social do local. Esta malha inclui a experiência comunitária com riscos, sua habilidade de responder, resistir, recuperar-se, ou adaptar aos riscos, que em seu turno são influenciadas por características econômicas, demográficas e de habitação (CUTTER et al, 2003).

Figura 3:Articulação dos elementos envolvidos na conceituação de risco adotada. Adaptado de: ALVES, 2006.

Assim, para analisar estas relações complexas é preferido neste estudo o conceito de vulnerabilidade socioespacial, por dar o entendimento de que a vulnerabilidade é essencialmente definida por características de ordem social e econômica de indivíduos ou

grupos que vivem em um espaço desigualmente constituído e apropriado (SANT'ANNA NETO, 2011).

Com esta concepção, o risco é o elemento que tornará coeso o estudo concomitante sobre objetos da geomorfologia e da climatologia, satisfazendo não apenas a via de impacto humano sobre o meio físico como também o canal de resposta do meio à organização social pela mudança induzida. Embasando esta afirmação, Cutter (2011) se refere à necessidade de uma abordagem integradora e interdisciplinar para o estudo da vulnerabilidade social e/ou socioespacial e essa necessidade decorre, sobretudo, da complexidade das interações entre os sistemas naturais, sociais, econômicos e culturais em jogo. A autora aponta como princípio fundamental do que chama a “ciência da vulnerabilidade”, o a obrigatoriedade do conhecimento geográfico (espacial) da investigação com base nos locais, uma vez que todos os desastres e as respostas são necessariamente efetivas na escala local (CUTTER, 2011). Apesar deste entendimento, o estudo da vulnerabilidade, considerada como um produto da exposição aos processos perigosos e dos fatores de predisposição (a vulnerabilidade social, em sentido restrito), pode e tem sido realizado em diferentes escalas, que vão do nacional ao local, passando pelo regional (FREITAS e CUNHA, 2013).

3.3. A associação de conceitos e técnicas com a Geografia do Clima e a antropogeomorfologia.

Neste estudo toma-se a bacia hidrográfica como recorte ideal ao exame sistêmico pretendido. Em uma bacia, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, há alterações no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais (RODRIGUES e ADAMI, 2005). Se refletida pela perspectiva do Sistema Clima Urbano (SCU) de Monteiro (1976), a afirmação anterior corresponde a um dos processos de entrada de insumos contidos no subsistema hidrometeorológico, cuja percepção pela sociedade se dá pelo canal dos impactos meteorológicos. Nesta proposta paradigmática, o clima urbano configura um sistema aberto, onde fenômenos como as chuvas intensas são reconhecidamente dependentes de insumos energéticos atmosféricos (atuações frontais, formações convectivas, etc.), mas a análise do impacto destes depende da inserção do elemento humano à análise climática. O clima urbano pode ser sintetizado como a modificação substancial de um clima local, onde o desenvolvimento urbano, através da densidade de edificações e concentração populacional, tende a acentuar ou eliminar diferenças causadas pelo sítio, caracterizando aumento de temperatura, modificações na ventilação, na umidade e precipitações, que tendem a ser mais

acentuadas (LANDSBERG, 1962 apud MONTEIRO, 1976). A partir disto, a abordagem ideal ao estudo de eventos chuvosos intensos e suas repercussões está na escala do ritmo climático.

“[...] o ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo. (...) só a análise rítmica detalhada ao nível de tempo, revelando a gênese dos fenômenos climáticos pela interação dos elementos e fatores, dentro de uma realidade regional, é capaz de oferecer parâmetros válidos à consideração dos diferentes e variados problemas geográficos desta região.” (MONTEIRO, 1971, apud SANT’ANNA NETO, 2001, pag. 53).

O emprego desta conformação das escalas geográficas do clima para os fins aqui pretendidos encontra respaldo em considerações feitas por Gilman (1964), que afirma que “ao planejamento pratico, médias deveriam ser negligenciadas, e mais confiança deveria ser posta nos estudos de frequência passada e em extremos de ambas as pontas do espectro”.

Com isso em mente, é posta a necessidade de identificação das condições de susceptibilidade espacial aos processos hidrodinâmicos não apenas atuais, mas também originais na área da bacia. Para isto, como já referido, sem o monitoramento continuado e sistemático de mudanças ambientais em uma área, Cooke e Doornkamp (1990) sugerem, entre outras, uma aproximação do “laboratório ao local”, isto é, uma tradução de experimentos e simulações para específicas condições de campo. Considerando-se o princípio de indeterminação na geomorfologia aplicada (LEOPOLD e LANGBEIN, 1963), casos individuais irão ter diferenças entre si, mas suas médias podem ser reproduzidas em diferentes amostras em situações que as leis físicas podem ser satisfeitas por combinações de valores de variáveis interdependentes. Estas sistematizações de elementos geográficos, que podemos definir como modelos (neste caso espaciais), têm sua significância no quão aproximadamente reproduzem os processos hidrológicos e em seu poder explanatório (CHORLEY, 1972). Modelos podem ser usados para conectar princípios teóricos a hipóteses testáveis sobre fenômenos do mundo real e também prover representações baseadas em dados da observação destes fenômenos. A comparação de hipóteses derivadas de modelos teóricos com evidências suportadas por modelos de dados servem, portanto, como base para testes empíricos (RHOADS e THORN, 2011).

Do ponto de vista quantitativo, os modelos trazem como vantagem um produto de saída passível de representação em mais de uma forma, ampliando o alcance de observações que podem ser utilizadas para comparar objetos e processos. Como em geomorfologia estes

não podem, por motivos práticos, ser considerados ou mensurados em totalidade, as características do sistema tendem a ser simplificados ou agregadas em espaço e tempo, assumindo-se que estes conjuntos irão ter comportamento consistente em todas as unidades temporais e espaciais. Por isso, como afirma Kirkby (1996), modelos devem ser o mais simples quanto possível, tornando-os mais fáceis para construção e compreensão, elevando a probabilidade de que sejam parcimoniosos com os dados necessários para serem rodados e parametrizados. Assim, escolher o que modelar, como modelar e, sobretudo, com qual sistema trabalhar, são estágios necessários para garantir que modelos não são “gerais”, mas desenvolvidos para serem relevantes a locais particulares, em certas escalas espaciais e para determinados períodos de tempo (SCHUMM e LICHTY, 1965).

Para fornecer as informações básicas à sistematização de modelos explicativos em geomorfologia, a partir de referenciais selecionados por Rodrigues (1997), destacam-se duas categorias de informação. A primeira diz respeito ao emprego de fontes históricas com observações de fenômenos fluviais, propriamente, e registros de fenômenos dependentes (GURNELL et al, 2003). Aqui interessa principalmente a primeira categoria para observação dos eventos com impactos imediatos, que tem como principais fontes a serem consultadas: os registros de mídia e de instituições responsáveis por assistência na ocorrência dos fenômenos (companhia de trânsito, centro de gerenciamento de emergências, etc.). Agora, no sentido oposto, de se analisar as pressões humanas sobre processos e formas fluviais, as análises históricas em geomorfologia têm como ferramenta fundamental as aerofotos e o sensoriamento remoto. São estas as fontes a serem empregadas para obtenção de informações como mudanças no uso e ocupação do solo na bacia e intervenções estruturais sobre o canal, que constituiriam geoindicadores importantes à avaliação de mudanças relevantes no sistema hidrogeomorfológico.

Desta forma, na estruturação de um modelo, seria possível cruzar as informações espaciais históricas sobre locais impactados por inundações com informações geotécnicas de litologia e morfometria para gerar cartas de “tendências hidrodinâmicas de superfície” originais e em diferentes períodos da ocupação de interesse (conforme FCTH, 2015). Isto é, informações espaciais de uso e ocupação do solo e morfometria, quando ponderadas quanto à sua relevância para a circulação hídrica, permitiriam indicar, por exemplo, áreas geradoras de fluxos concentrados e a supressão de áreas com maior capacidade para infiltração, o que é extremamente relevante para a ocorrência de inundações. Além disso, possibilita-se a abordagem para a relação tradicionalmente estabelecida na análise da interação das chuvas com a superfície terrestre, isto é, a relação precipitação x escoamento superficial (runoff). O

escoamento superficial é a parcela de escoamento que se desloca sobre a superfície do solo em fluxo coletado por uma bacia, representando uma parcela da precipitação total incidente (CHOW, 1964). A esta parcela que contribui diretamente para o escoamento superficial, chamamos precipitação excedente, que inclui todo o volume não interceptado, evaporado, transpirado, armazenado ou infiltrado (CHOW, 1964).

O ponto de convergência nesta proposta metodológica se daria pelo mesmo princípio da cartografia geomorfológica: os produtos não se referem à concretização da pesquisa, mas à base de compreensão das relações espaciais, sintetizadas através dos compartimentos, permitindo abordagens de interesse geográfico (TRICART, 1965). Guardadas, é claro, as diferenças existentes entre o mapeamento proposto e a cartografia geomorfológica já consagrada. O que se justifica com o fato de que o potencial dos mapeamentos em geomorfologia está ligado, sobretudo, à sua fundamentação como uma interface interdisciplinar, passível de apropriação para projetos comerciais, governamentais e acadêmicos, desempenhando um papel central na síntese de dados diversos (SMITH e PAIN, 2011). Também é verdade que as tecnologias de informação geográfica foram indutoras de novas possibilidades de mapeamento em geomorfologia: com a oferta de novas fontes de dados permitindo novos insights e mapeamento mais rápido, organizado dentro da estrutura de um sistema de informação. Um plano de trabalho digital possibilita tomar camadas de dados de entrada e produzir camadas de saída temática e mapeada. É a sobreposição de camadas de mapas, associada a diversos outros cuidados analíticos, que permite a análise de relações entre diferentes elementos no espaço geográfico, e a avaliação dos efeitos de certos elementos sobre outros (OGUCHI e WASKLEWICZ, 2011). O registro de dados de diferentes naturezas em um único sistema de referência geodésica é tecnicamente simples, mas possui um impacto profundo e reforça a importância de trabalho em campo, uma vez que esta forma de aquisição e validação de dados também é favorecida por novas técnicas.

Particularmente à gestão de águas e na hidrologia, as raízes do uso de informações geográficas estão nas idéias sobre estabelecimento de relações entre clima, drenagem, canal e sociedade, que emergiram mais de uma centena de anos atrás (CLARK, 1998). Considera-se o início de uma abordagem geográfica mais contundente sobre hidrologia de canais tenha sido fundada por Strahler (1952), que apontou pela geomorfologia fluvial os princípios básicos da mecânica e dinâmica de fluidos, considerando parâmetros espacialmente distribuídos. A idéia de resposta de longa duração dos sistemas de canal às mudanças nos controles hidrológicos, bem como a noção de limiares de mudança no canal, foi apresentada nos estudos de Leopold e Maddock (1954) e Schumm (1968). Schumm e Lichty (1965) ainda trouxeram os argumentos

necessários ao reconhecimento de que as relações causa-efeito podem ser modificadas ou mesmo revertidas com a variação em escalas espaciais e temporais da frequência e magnitude de processos geomorfológicos.

Com isso, ao mesmo tempo em que se reforça a possibilidade de uma interpretação interdisciplinar, o mesmo ocorre quanto à questão de operação das escalas em que se encontram os diferentes elementos. A operação interescalar, inclusive, é um problema identificado como persistente nos estudos de impactos humanos no meio físico assim como é a identificação de ligações processo-resposta, e o “isolamento” de forçantes antrópicas e naturais em sistemas fluviais (JAMES & MARCUS, 2006). Tal desafio é identificado como oriundo do âmago dos sistemas geomórficos, que não são lineares, tornando em alguns casos impossível a reconstituição que permita identificar qual variável do sistema gerou determinada resposta (JAMES & MARCUS, 2006). Isto é agravado, como no caso da área de estudo, com falta de continuidade no monitoramento de rios, o que por sua vez dificulta identificar herança de formas, causalidades poligenéticas e equifinalidade, limiares, etc.

No entanto, tais problemas não são postos desacompanhados de propostas. Se o foco inicial é a identificação de determinados tipos de mudanças no ambiente, cumulativas, que contribuem mais diretamente às mudanças sistêmicas hidrológicas, a mesoescala configura o enquadramento ideal para desenvolvimento destas análises, pois sua importância pode ser sintetizada na realização da ligação entre micro e macro escalas (TURNER et al, 1990). Estudos específicos nesta escala média demonstram que diferentes locais e situações criam múltiplos meios pelo qual a terra é transformada, permitindo uma compreensão mais completa da forma na qual as forças globais (macro) atuam em específicos contextos espaciais e culturais (micro). Por conta das questões escalares, em muitos estudos, há uma grande confusão na ponderação da participação das forças, quando ocorre um evento de magnitude tão grande que é quase incompreensível que tal estava incluída nas condições naturais daquele espaço (BRUNSDEN, 1996). É especialmente importante considerar que, no ambiente urbanizado, a superfície original já não está mais lá. Embora estatisticamente improváveis, tais magnitudes de eventos são fisicamente possíveis, dependentes da rara coincidência de controles favoráveis para se desencadear. Ou seja, mesmo se o evento é o limite de processo (extremo) do qual o próprio sistema não pode se recuperar, ele deve ser parte das condições iniciais consideradas (BRUNSDEN, 1996). Ainda, para além do sistema físico, podemos pensar em um evento extremo como uma situação de superação dos limites da capacidade mitigatória e de resiliência de um dado espaço dentro do território urbano e, por consequência, de uma dada população.

Esta conceituação de evento extremo, em detrimento da definição de extremo geomorfológico ou climático limitada a uma evidência estatística, é fundamental no estudo sistêmico pretendido. Pois, se por um lado, mudanças são parte do funcionamento de sistemas, a distinção das atuais mudanças ambientais está na crescente habilidade da humanidade de afetar diretamente a operação dos sistemas físicos (TURNER et al, 1990), atingindo limites de resistência (limiares) em tempos muito mais curtos do que o que seria natural. O limiar, portanto, é uma condição de instabilidade incipiente, ou uma condição de criticidade auto organizada (PHILLIPS, 2011).

Talvez o mais claro exemplo de rompimento de limiar esteja na noção de riscos e *hazards* geomorfológicos, podendo ser compreendidos por meio de conceitos envolvidos na compreensão da evolução das paisagens (ALCANTARA-AYALA, 2010). Por exemplo, um aumento de vazão preenche o canal fluvial ao ponto em que a vazão de margens plenas é excedida, e o fluxo corre sobre margens. O limiar é a vazão de margens plenas, e o evento que supera o limiar é a inundação, que configura um “*hazard*”, um perigo a sujeitos vulneráveis, como populações que habitam em setores de planícies de inundação. Nesse caso, a própria forma do canal representa (expressa) a interação de processos básicos do fluxo de fluido e transporte de sedimentos em um dado espaço e tempo, sendo que qualquer mudança no fluxo deste fluido nos diversos setores do sistema onde ele está circunscrito (bacia) afetará o equilíbrio entre forma do canal e deposição (NIR, 1983). O mesmo se aplica ao compartimento da planície de inundação já que, enquanto o canal é ajustado para acomodar descargas pela maior parte do tempo, a planície de inundação é ajustada para transmitir fluxos maiores, sendo os dois funcionalmente relacionados (COOKE & DOORNKAMP, 1990), conforme previamente tratado.

Posta esta perspectiva para o entendimento da dinâmica envolvida no fenômeno das inundações, é possível centralizar a temática a partir dos riscos e direcionar a análise através do tripé da análise geográfica do clima proposto por SANT’ANNA NETO (2001) e dos dez princípios propostos por Rodrigues (2004) para o estudo da atividade antrópica na superfície terrestre, sendo estes:

1. Observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre;
2. Investigar padrões de ações humanas significativos para a morfodinâmica;
3. Investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com os estágios pré-perturbação;
4. Empregar diversas e complementares escalas espaço-temporais;
5. Empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe;

6. Explorar a abordagem sistêmica e a teoria do equilíbrio dinâmico;
7. Utilizar a noção de limiares geomorfológicos e a análise de magnitude e frequência;
8. Dar ênfase à análise integrada de sistemas geomorfológicos;
9. Levar em consideração as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais;
10. Ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados de ações antrópicas;

Enquanto a análise geográfica do clima, segundo Sant'Anna Neto (2001), deve contemplar:

1. O ritmo climático, através da análise episódica para a investigação da repercussão de processos e fenômenos atmosféricos sobre o espaço antropizado;
2. A ação antrópica, em sua atuação sobre os controles do clima, e de forma a não minimizar os aspectos de ordem social, econômica e ideológica do processo de intervenção e apropriação dos recursos naturais;
3. O impacto ambiental, a ser observado em busca das relações causa-efeito do papel do clima, e conseqüentemente dos diferentes tipos de tempo, na superfície terrestre.

Assim, esta pesquisa orienta-se com uma abordagem metodológica integrada para riscos a inundação, baseado em informações históricas climatológicas, e geomorfológicas, utilizando alguns elementos selecionados da morfologia original e antrópica, a fim de sistematizá-las em um estudo efetivamente aplicado. A aplicação será sobre a bacia do Rio Aricanduva, exemplo de processo em que ações antrópicas, ao longo do processo histórico de urbanização, imprimem mudanças na paisagem e derivam processos hidrológicos, e uma percepção do clima, diferenciados por grupos vulneráveis, configurando cenários de risco.

Figura 4: Síntese de metodologias e conceitos a serem apropriados dos campos de conhecimento.

4. Área de estudo.

A partir da delimitação aqui desenvolvida nesse estudo, verifica-se que a bacia hidrográfica do Aricanduva (BHA) possui uma área de drenagem de cerca de 102,5 km², orientando-se na direção geral SSE a NNW.

Figura 5: Localização da BHA. Base cartográfica: IBGE.

Trata-se de sistema hidrográfico de forte controle litológico e estrutural, onde a foliação e os sistemas de juntas condicionaram o entalhe da rede de drenagem principal (Hasui et al, 1975). Apresenta um eixo maior de aproximadamente 20 km e largura em um intervalo entre 5 e 6 km. A declividade do talvegue varia de cerca de 0,025 m/m no trecho alto, a menos de 0,005 m/m nos trechos médio e baixo (DAEE, 2012), configurando-se como um sistema meândrico. Trata-se de curso de 5^a ordem pela classificação strahleriana. Seus afluentes são predominantemente de pequeno porte, destacando-se os ribeirões Rincão/Gamelinha, Taboão, dos Machados e o rio Caaguassu, afluentes condicionados por lineamentos e zonas de contato (Hasui et al, 1975).

Figura 6: Fragmento do Mapa Topográfico do Município de São Paulo (SARA Brasil S. A., 1930). “O Aricanduva, num trecho onde ele se transforma nitidamente em um rio direcional, caminhando próximo do contato entre os terrenos cristalinos e os sedimentos terciários”. Fonte: Ab’Saber, 1957.

Geologicamente, a BHA traz como característica determinante para sua escolha como área de interesse a presença de três principais grupos de formações litológicas classificadas de acordo com sua idade e efeitos sobre o balanço escoamento/infiltração: 1- Depósitos aluviais quaternários, originárias de deposição aluvionar mais recente; 2- Sedimentos terciários, principalmente com rochas da formação São Paulo, onde predominam depósitos arenosos e subordinadamente argilas e conglomerados; 3- Rochas cristalinas do embasamento Pré-cambriano, grupo composto por grande variedade litológica e onde se encontram as rochas mais antigas situadas na área do Município (complexo Embu), dentre as quais se destaca a presença de xistos, mica-xistos, filitos e corpos lenticulares de anfibolitos (SÃO PAULO, 2002).

A bacia abrange duas unidades morfoesculturas principais: as porções alta e média da bacia então no Planalto Paulistano/Alto Tietê, parte do Cinturão Orogênico do Atlântico, enquanto o trecho baixo está na unidade do Planalto de São Paulo, que pertence às Bacias Sedimentares Cenozoicas (ROSS e MOROZ, 1996). Segundo base cartográfica utilizada, as maiores declividades são encontradas perto da nascente do curso principal, sendo que na média e baixa bacia o terreno é regular. A área de drenagem da bacia engloba 11 distritos de 4

subprefeituras diferentes (**figura 7**) que, em sua maior parte, desde 1980 têm tido índices de crescimento demográfico negativos (SÃO PAULO, 1996).

Figura 7: Distritos na área de estudo e respectiva população. Fonte: IBGE, 2010. Org.: SIMAS, 2016.

Ao longo das últimas décadas, quando a cidade de São Paulo se consolidou como a grande metrópole nacional, o problema das inundações urbanas tenha se intensificado, já que o planejamento urbano não contempla a sobreposição histórica e geográfica dos problemas socioeconômicos (MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010). No caso específico da área que corresponde à bacia do Rio Aricanduva, o início de sua ocupação remonta ao século XVII. No entanto, somente na segunda metade da década de 70 que, com a construção da Avenida Aricanduva sobre o córrego homônimo, um novo impulso para sua ocupação foi dado e, como em muitos bairros periféricos da cidade, os problemas decorrentes da urbanização (induzida) e descontinuada se intensificaram (SÃO PAULO, 2006). A partir do final dos anos 90 então, em vista da recorrência histórica de episódios danosos, diversas obras de intervenção sobre o sistema hidrológico do Rio Aricanduva e seus afluentes foram iniciadas, introduzindo novas camadas de intervenção antrópica sobre um sistema já amplamente modificado.

Figura 8: Intervenções no sistema hidrológico da bacia, de acordo com Cronograma de Obras para Controles de Enchentes. Fonte: CANHOLI, 2005.

Tabela 1: Piscinões em operação na BHA. Fonte: DAEE, 2012.

Código	Nome	Tipo	Volume (m3)	Cota de Fundo (m)	Esvaziamento Bomba (B) Gravidade (G)	Soleira: Cota da entrada (m)	Curso
RAR-1	Aricanduva I	Inline	200.000	789,6	G	788,9	Rio Aricanduva
RAR-2	Aricanduva II	Inline	150.000	760,4	G	759,5	Rio Aricanduva
RAR-3	Aricanduva III	-	320.000	-	G	-	Rio Aricanduva
RAR-5	Aricanduva V	Offline	167.000	728,0	7 B	733,5	Rio Aricanduva
RCA-1	Caguaçu	-	310.000	-	G	-	Corrego Caguaçu
RIN-1	Inhumas	Offline	100.000	739,0	5 B	744,0	Corrego Inhumas
RLI-1	Limoeiro	Inline	300.000	776,5	G	774,8	Corrego Limoeiro
RRI-1	Rincão	Offline	304.000	720,8	5 B	728,0	Corrego Rincão
RTA-1	Taboão I	-	180.000	-	-	-	Corrego Taboão

Nos trechos mais altos da bacia, em sua extremidade sudeste, ainda existem áreas com matas remanescentes que estão sendo desordenadamente ocupadas, de forma que a vegetação é removida e o solo descoberto, elevando a produção de sedimentos, que já é relativamente alta na bacia por conta de suas características geológicas e geomorfológicas. Destaca-se, a atual concentração de favelas próximas aos rios secundários da bacia nas áreas de cabeceiras, assim como a ocupação bastante próxima do canal do Rio Aricanduva. Este se encontra estrangulado pelo sistema viário e diversas construções urbanas, permitindo apontar que a média e baixa bacia encontram-se totalmente urbanizadas. Há ainda áreas não

totalmente urbanizadas (predominantemente ao sudeste da bacia), mas em processo de ocupação, tanto sobre as planícies de inundação e diversos setores de vertente. Destaca-se ainda o perfil socioeconômico da população residente nestas áreas mais recentemente ocupadas como predominantemente baixo, o que se soma à ineficiente coleta de lixo para composição de um quadro socioespacial bastante desfavorável, que potencialmente sustenta a vulnerabilidade e susceptibilidade dos moradores às inundações.

Foto 1: Ocupação de alto risco sobre área de aterro, próximo à Av. Aricanduva em São Matheus. Foto do autor (14/10/2016).

Foto 2: Ocupação de alto risco sobre a estrutura de vertedouro do piscinão Aricanduva I, no Iguatemi. Foto do autor (14/10/2016).

Segundo a proposta de Tarifa e Armani (2001) e quanto às características climáticas locais, a BHA abrange diferentes unidades de climas naturais e urbanos, conforme apresenta-se nas **tabelas 2 e 3**. A classificação destes diferentes climas, caracterizados por sucessões habituais de tipos de tempo, torna ainda mais interessante trabalhar um sistema completo e complexo como uma bacia, pois poderão ser observadas as influências da pluviometria

característica de uma determinada unidade sobre outra área com diferenciadas propriedades de controles e processos hidrodinâmicos.

Tabela 2: Unidades climáticas naturais na região correspondente à bacia hidrográfica do Rio Aricanduva. Fonte: TARIFA e ARMANI, 2001.

Unidades climáticas naturais			Controles ambientais		Pluviosidade (mm)	
Clima local	Mesoclima	Topoclima	Formas de relevo	Altitude (m)	Total anual	Max. Diária
I – Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano	IA	IA1	Maciços, serras e morros do Alto Aricanduva e Itaquera.	800 a 950	1400-1450	100-150
	IB	IB4	Terraços, colinas e patamares do Tamanduateí e Aricanduva.	740 a 800	1400-1480	100-125
	IC	IC4	Várzeas e baixos terraços do Vale do Aricanduva.	720 a 740	1450-1470	110-125

Tabela 3: Unidades climáticas urbanas na região correspondente à bacia hidrográfica do Rio Aricanduva. Fonte: TARIFA e ARMANI, 2001.

Unidades climáticas urbanas			Controles ambientais	
Clima local	Mesoclima	Topoclima	Uso do solo	Concentração de áreas verdes
I – Unidade Climática Urbana Central	IF (além Tamanduateí)	IF1	Residencial baixo (Mooca/Tatuapé)	Muito pequena
		IF3	Cemitério Vila Formosa	Média
		IF4	Residencial baixo (Penha/Vila Matilde)	Muito pequena
II – Unidade Climática Urbana Periférica	IIA (da Zona Leste)	IIA2	Vertical (conjuntos habitacionais)	Muito pequena
		IIA3	Residencial baixo/favelas (Cidade Líder)	Pequena
		IIA4	Industrial	Média a grande
		IIA5	Residencial baixo/favelas (Sapopemba/São Mateus)	Muito pequena
		IIA6	Residencial baixo/favelas (Cidade Tiradentes/Guaianazes)	Média
		IIA7	Parque do Carmo	Dominante

Tabela 4: Caracterização pluviométrica para a BHA (série 1967-2007). Dados coletados na estação pluviométrica da Foz do Aricanduva (DAEE-SP).

	Total anual	Máxima em 24h	Nº de dias c/ chuva
Valor médio	1466,6	82,9	115
Valor máximo	2112,6 (1983)	119,0 (01/02/1983)	147 (1983)

Tabela 5: Caracterização pluviométrica para os meses historicamente mais chuvosos da BHA e Município de São Paulo. Dados coletados nas estações pluviométrica da Foz do Aricanduva (DAEE-SP) e Mirante de Santana (Inmet).

Aricanduva	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Total
Média	134.8	183.1	255.4	216.4	192.3	982.0
Dias com chuva	10	14	15	12	12	63
São Paulo						
Média	145.8	200.7	237.4	221.5	160.5	965.9
Dias com chuva	11	14	15	14	11	65

5. PROCEDIMENTOS.

O estudo reconstitutivo dos episódios de inundação foi realizado sobre eventos específicos identificados por meio de pesquisa documental sobre tais ocorrências que, por sua vez, seriam perquiridos com a definição de temporadas mais interessantes no que se refere a fenômenos chuvosos. Para tanto os procedimentos da pesquisa foram desenvolvidos em concomitância com a atualização e pesquisa bibliográfica e seguiram como encadeamento lógico as etapas de: 1- Análise de dados pluviométricos e fluviométricos, a fim de identificar as temporadas que servirão de recorte ao desenvolvimento da etapa seguinte, assim como levantamento e sistematização de dados a serem empregados na análise empírica; 2- Análise documental, para levantamento de notícias e informações fornecidas por organismos competentes para confirmação de datas, locais e impactos das ocorrências de inundações, as quais constituirão o enfoque do estudo empírico; 3- Análise rítmica e dados de radar, utilizando as informações da etapa anterior como baliza, com o objetivo de obter nova sorte de variáveis, como a distribuição em tempo e espaço das chuvas nos dias com episódios constatados; 4- Desenvolvimento do modelo espacial, através da sistematização de dados espaciais de ordem litológica, morfométrica, e de uso do solo, que permitisse a produção de cartas de tendências hidrodinâmicas de superfície; 5- Interpolação dos dados de chuva, que junto das cartas de tendências mencionadas, configura base para relação entre dados climáticos e hidrológicos, possibilitando a análise integrada das informações de diferentes

tipos levantadas em torno das ocorrências de inundações. 6- Mapeamento e interpretação da morfologia original dos compartimentos das planícies fluviais na bacia hidrográfica do Rio Aricanduva. 7- Mapeamento da vulnerabilidade socioespacial na área de estudo, a partir da análise de condições de vulnerabilidade social e susceptibilidade ambiental.

5.1. Análise de dados pluviométricos e fluviométricos.

Primeiramente, foi necessário definir quais estações pluviométricas da região metropolitana que poderiam ser utilizadas para as décadas de 1970 e 2000. Para tanto, as localizações destas estações foram obtidas pela base da Agência Nacional de Águas, que unifica a rede de diversas operadoras. Uma vez obtida esta rede, foi possível, através da criação de polígonos de Thiessen pelo software *ArcGIS 10.2*, identificar quais as estações mais próximas da área de estudo e, portanto, quais seriam utilizadas. Como resultado deste primeiro levantamento, foi obtida a seguinte lista de estações que recobririam a área da BHA:

Quadro 1: Estações pluviométricas que cobrem a área de estudo.

Estações (ANA)	Operação/ Disponibilidade	Operadora	Disponibilização
Penha	1970-1976	DAEE	Indisponível
Alto da Mooca	1972-1986	EMAE	Parcial
Jardim Centenário	1973-1996	DAEE	Ok
Vila Ema	1972-1986	EMAE	Ok
Terminal Leste	1984-1986	EMAE	Ok
Itaquera	1972-atualmente	DAEE	Ok
Oratório	-	DAEE	Indisponível
Parque São Rafael	1979-2003	DAEE	Ok
Jardim Rodolfo Pirani	1972-1986	EMAE	Ok
Guaio	1984-atualmente	DAEE	Ok
Jardim Itapeva	1972-1986	EMAE	Parcial
Não constavam:			
Aricanduva Foz	1966-atualmente	EMAE	Ok
Vila Formosa	199X-atualmente	CGESP	Ok
Vila Prudente	199X-atualmente	CGESP	Ok

Resumidamente, estes polígonos são construídos da seguinte forma: todos os pontos (estações) se triangulam em uma rede irregular de triângulos (TIN), gerando mediatrizes perpendiculares para cada borda dos polígonos, sendo que as intersecções dessas mediatrizes determinam a localização dos vértices do polígono. Ou seja, qualquer zona nas áreas contidas nestes polígonos proximais estará mais próxima do ponto de entrada (estação) associado do que qualquer outro ponto da rede.

Figura 9: Polígonos de Thiessen representando a cobertura da BHA por estações pluviométricas de acordo com inventário da ANA.

Foram então investigadas as estações e a disponibilidade de seus dados para as décadas estudadas. Não obstante, também foram inquiridas outras fontes, o que possibilitou obter dados de outras estações próximas que não constavam no inventário original da ANA, caso das estações Aricanduva Foz (operada pelo EMAE), e Vila Formosa e Vila Prudente (operadas pelo Centro de Gerenciamento de Emergências de São Paulo, CGESP). Assim, a partir da exclusão de estações da rede original por indisponibilidade de dados, ou por conterem falhas consideráveis em suas séries (mais de 3 temporadas), foram construídos novos polígonos Thiessen para apontar as estações que cobriam a BHA entre cada década.

Figura 10: Polígonos de Thiessen representando a cobertura da BHA por estações pluviométricas operantes na década de 1970.

Figura 11: Polígonos de Thiessen representando a cobertura da BHA por estações pluviométricas operantes na década de 2000.

Com isso, foram utilizados para o estudo os dados pluviométricos das estações: Aricanduva Foz, Itaquera, Jardim Centenário, Rodolfo Pirani, e Vila Ema, para a década de 1970, e estações Aricanduva Foz, Itaquera, Vila Prudente, Vila Formosa, e Guaio (Suzano), para a década de 2000.

Definidas as estações, com os referidos critérios de cobertura e disponibilidade de dados, foi necessário determinar entre cada década, qual seriam as temporadas chuvosas com maior possibilidade de ocorrências de inundações. Sabido que estas ocorrências não necessariamente ocorrem concomitantes a totais pluviométricos diários elevados (como apresentado em SIMAS et al, 2014), outras combinações de informações foram buscadas entre os dados pluviométricos analisados, após extensa análise das tabulações. Em ordem de importância, foram definidos como critérios: 1- Total de precipitação na temporada novembro, dezembro (do ano anterior), janeiro, fevereiro e março; 2- Número de dias com chuva; 3- Maior acumulado em 24 horas; 4- Precipitação média em dias com chuva; 5- Maior total precipitado em sequência ininterrupta de dias chuvosos. Com estes critérios, as temporadas foram ranqueadas, a partir dos dados da estação Aricanduva Foz (pois esta é a estação mais próxima da área de estudo que apresenta a maior série histórica sem falhas).

Como mencionado, ao invés de utilizar os registros de chuvas diários organizados em anos, a análise das chuvas utilizou a delimitação de temporadas chuvosas, isto é, a sequência dos cinco meses que historicamente registram os maiores volumes totais de precipitação para a localidade estudada (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, e março). Desta forma, evitamos que a análise seja feita sobre um enquadramento de tempo convencional (anos corridos), ao qual as dinâmicas atmosféricas não estão diretamente sujeitas, o que pode levar a interrupções inconvenientes de sequências de dados que aqui interessam. De mesmo modo, trabalhos como o de Azevedo e Galvani (2012), também trazem considerações quanto às delimitações de tempo convencionais (meses e anos) para uma análise climática, apontando ser preferível, no caso de seu estudo, o uso de dias julianos. Uma vez que este estudo pauta-se sobre eventos extremos, nos interessa muito mais observá-los em perspectiva com os fenômenos mais próximos de seu período de ocorrência. Um evento de chuva ocorrido em janeiro está potencialmente mais relacionado (em termos de dinâmicas climáticas envolvidas) com aqueles ocorridos em dezembro último do que com os ocorridos em novembro do mesmo ano, que ocorrem pelo menos 273 dias depois. Os dados pluviométricos da estação Foz do Aricanduva (de vazão, quando disponíveis, e cotas) receberam o mesmo cuidado para delimitação.

A definição de temporadas chuvosas como períodos de recorte temporal estruturador, de base empírica, foi especialmente útil ao que concerne à aplicação da técnica de Quantis, que teve como objetivo classificar os valores como extremos, muito intensos, e intensos. Considera-se que os valores de classes resultantes são mais interessantes à investigação com este recorte, já que a técnica passaria a classificar os valores diários de precipitação, vazão e

cotas a partir de sua relação com os registrados para um mesmo período próximo, quando dinâmicas melhor relacionáveis estiveram em atuação. Sua função é representada através de:

$$\text{Prob}(F(x) \leq Q(p))=p,$$

Onde: P é uma ordem quântica (probabilidade); F(x) é a função de distribuição da variável aleatória X em causa de um quantil Q(p) desta variável. Assim um quantil na cauda superior (máximos), é aquele com valor próximo a $p=1$ (XAVIER et al, 2002). Os valores totais de chuva (mm) diários, organizados em matrizes que correspondiam às temporadas chuvosas estudadas, foram convertidos em percentis de ordem e os quantis (q) 85, 95 e 99 foram utilizados para delimitar as seguintes faixas de dias (em relação à concentração das chuvas dentro da temporada): dia chuvoso – percentil 85; muito chuvoso – percentil 95, extremamente chuvoso – percentil 99. Os valores de cada decil foram adotados de modo a corresponderem às faixas de categorias de quantis utilizadas pelo INMET. Vale ressaltar que tal classificação e identificação de extremos refere-se a uma definição estatística, não tendo contrapartida com o conceito de evento extremo em geomorfologia.

5.2. Pesquisa documental.

Com a análise dos dados pluviométricos pelos procedimentos descritos no item anterior, foram identificadas as duas temporadas chuvosas com maior probabilidade para identificação de ocorrências de inundações: 1976-77 e 2009-10. Sob este recorte ainda mais refinado, as informações comprovando a ocorrência de inundações na área de estudo foram obtidas com sistemática consulta de jornais de ampla circulação bem como de circulação local.

Esta opção por mídias de diferentes abrangências se dá pelo maior detalhamento de registros de acontecimentos locais em jornais de pequena circulação em comparação com os de grande circulação, muitas vezes identificando ruas atingidas e contendo depoimentos de moradores. Com este enfoque, evita-se o problema da subnotificação sobre os episódios. Também houve atenção para o exato oposto, a sobnotificação que o levantamento de vários jornais de pequena circulação pode ocasionar, se tomados períodos de cobertura muito longos. Isto foi evitado justamente com a definição de recorte pela análise de dados pluviométricos na etapa anterior, que definiu um total de dez meses sobre os quais a busca de notificações deveria ser focada. Quanto aos jornais de maior circulação, constituíram a fonte essencial de informações sobre inundações nos anos 1976 e 77, uma vez que somente estes possuíam acervo devidamente preservado e disponível para consulta.

Além dessas fontes, as ocorrências de alagamentos foram levantadas na base de dados do CGESP. Para tanto, foi necessário checar cada dia da temporada chuvosa 2009-10. Esta fonte de dados constituiu uma excelente base, já que, por ser alimentada com informações de agentes em campo, contém informações sobre as condições de cada alagamento (se houve interdição completa do trânsito, por exemplo), local exato da ocorrência, além de horário de início e fim de cada caso. No entanto, estas informações somente dizem respeito às vias de maior importância de cada bairro, que possuem monitoramento constante. Logo, os resultados obtidos deste levantamento não poderiam constituir uma análise de ordem estatística quantitativa, uma vez que para isso seria necessário assumir que as informações obtidas por este meio constituem a totalidade de inundações e alagamentos ocorridas na totalidade da bacia.

As informações obtidas dessas diversas fontes foram padronizadas em um quadro unificado que viabilizou a leitura e comparação dos episódios, apresentando: código de identificação do episódio, dia de ocorrência, horário de início, horário de fim, duração aproximada, local de ocorrência (com referência), a precipitação acumulada nas estações da época (em 24, 48 e 72 horas antes do episódio), e informações referentes aos danos causados (fatalidades, fechamento de vias, etc.).

A partir desta sistematização, foi possível elencar os dias com episódios com maiores impactos ocorridos nas temporadas selecionadas e, sobre estes, desenvolver a análise reconstitutiva objetivada. Ressalta-se que por “mais danosos” entendem-se os episódios produtores de maiores desarranjos e perdas materiais e/ou humanas. Desta forma, foram escolhidos eventos extremos, entendidos como episódios em que a combinação de fenômenos físicos superou a capacidade de resiliência de um determinados elementos a eles vulneráveis, o que, como pôde ser observado, não necessariamente coincide com aqueles eventos classificados como extremos do ponto de vista estatístico quantitativo.

5.3. Análise rítmica e dados de radares.

Estas análises tiveram como fundamento a necessidade de precisar, em dimensões de espaço e tempo, as chuvas incidentes na bacia durante os períodos próximos aos episódios destacados. Isto, pois, para uma efetiva análise retrospectiva dos fenômenos, considerou-se primordial a identificação dos sistemas atmosféricos responsáveis pela gênese da chuva e a leitura da distribuição espacial da precipitação bem como sua intensidade na relação volume/tempo.

Primeiramente, desenvolveu-se análise rítmica para os episódios na temporada 1976-77, que consiste na interpretação da sequência sobreposta dos elementos fundamentais do tempo (temperatura, pressão atmosférica, vento, precipitação), juntamente da circulação sinótica de um local determinado utilizando dados fornecidos por estações de primeira classe plotados em gráficos com representação contínua e simultânea, e leitura e interpretação de cartas sinóticas (BORSATO *et al*, 2004). Para gerar os quadros de leitura que possibilitariam esta análise, conforme proposta original de Monteiro (1973), foram coletados dados dos outros elementos meteorológicos citados junto à estação meteorológica do IAG/USP, localizada no Parque do Estado (aproximadamente 6 Km de distância do limite da BHA), por ser a estação mais próxima com série confiável e completa para os períodos necessários. Como a análise necessita de precipitação de uma única estação, novamente foi utilizada a estação Aricanduva Foz. A análise rítmica limitou-se a um período de 11 dias, tomando-se como referência os cinco dias anteriores e posteriores ao dia de ocorrência do episódio. Tal cuidado para o recorte temporal de uma análise rítmica episódica foi proposto por Monteiro (1973). As tabulações e gráficos foram produzidos utilizando o software *Microsoft Excel 2010*.

A identificação de sistemas atmosféricos dos episódios da temporada 2009-10 contou com a interpretação de imagens GOES-12 compostas e imagens infravermelhas para identificação de clusters de nuvens convectivas. Estas, desenvolvidas com o objetivo de obter a evolução temporal e a trajetória dos sistemas convectivos, os quais em geral estão associados com precipitações intensas e rajadas de vento (VILA *et al*, 2008). Estas leituras foram comparadas aos relatórios do Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP) a respeito dos sistemas atmosféricos atuantes nos eventos de chuvas intensas. Sem tal recurso para a temporada 1976-77, o detalhamento se deu a partir das informações coletadas nas fontes documentadas e pela interpretação de cartas sinóticas, produzidas pela Marinha do Brasil.

Para o período mais recente, foi empregada também a análise de dados de radar meteorológico. A leitura dos dados do radar de Ponte Nova, que faz a cobertura da RMSP, foi baseada em imagens CAPPI (*Constant Altitude Plan Position Indicator*). Estas imagens são produto de transformação dos dados brutos de varredura do radar por relação $Z \times R$ (refletividade $\times$ precipitação observada em superfície), sendo adotado $Z=200R^{1.6}$ pelos responsáveis pela geração de relatórios de chuva do SAISP. Com isso, é possível observar a intensidade de precipitação, representada em uma escala colorimétrica, sobre a área de cobertura do radar, em períodos que representam o início do evento de chuva, seu pico e o

final. Associadas a estas imagens, também foram utilizadas as imagens ACUMM, que apresentam a precipitação acumulada, a partir de cálculo realizado com base nas imagens CAPPI (geradas em intervalos de 5 minutos). Os produtos ACUMM são compostos com base na mesma escala calorimétrica, permitindo avaliar o estado hidrológico das bacias hidrográficas em períodos de acumulação em 1 hora, 12 horas e 24 horas, sendo este último gerado às 7 horas da manhã.

Quadro 2: Fluxograma da etapa de levantamento e análise dos eventos climáticos e fluviais.

5.4. Desenvolvimento do modelo espacial.

Dada a extensão da bacia estudada e preferência do enfoque em uma mesoescala, a fim de estabelecer uma forma de se analisar as configurações do sistema hidrogeomorfológico em diferentes períodos (original, década de 70 e década de 2000), foi adotada metodologia adaptada da carta de tendências hidrodinâmicas de superfície, originalmente concebida no projeto de Complementação do Mapa Hidrográfico do Município (FCTH, 2015). Este tipo de produção cartográfica preza pela compartimentação de elementos da bacia hidrográfica por sua relação com o balanço escoamento/infiltração, baseando-se em variáveis referentes à

morfometria e materiais. A síntese e sistematização de elementos espaciais presentes na proposta segue um princípio que permitiu sua adaptação a um modelo espacial. Deve-se ressaltar, antes de mais nada, que o modelo desenvolvido não adota a totalidade de elementos presados pela abordagem da antropogeomorfologia, mas sim representa uma simplificação de uma dinâmica que se busca entender com base em alguns elementos selecionados.

Essencialmente, o modelo espacial representa cartas com as tendências hidrodinâmicas de superfície definidas para diferentes cenários: condições originais (CO), antropizado 1 (CA1) e antropizado 2 (CA2). No cenário original (que representa o período pré-perturbação), o modelo considera como primeira variável os grupos litológicos presentes na área. Esta litologia foi derivada a partir das informações presentes na Carta Geotécnica do Município de São Paulo, agrupando os tipos de rochas e sedimentos ali representados de acordo com suas capacidades de gerar maior escoamento superficial, conforme proposto em FCTH (2015) (**quadro 3**).

Quadro 3: Reclassificação dos grupos litológicos presentes na Carta Geotécnica. Adaptado de FCTH, 2015.

Categoria (Geotécnica)	Sigla	Grupo litológico
Planície Aluvial	Al	Sedimentos quaternários (argilosos)
Sedimentos terciários	Tr	Sedimentos terciários (arenosos)
Granitóides	Gr	Rochas do embasamento cristalino pré-cambriano
Gnaisse	Gn	
Maciços mistos	Mst	
Xisto micáceo	Xm	
Xisto quartzoso	Xq	
Filito	Fi	
Básicas e ultrabásicas	Af	
Quartzito	Qz	

A segunda variável considerada foi a declividade, adotando-se patamares de valores de inclinação (0, 2, 10, 17 e >17%), obtida através da ferramenta *slope*, aplicada sobre um modelo digital de superfície (MDS) hidrologicamente consistido da BHA, gerado com o software *ArcGIS* 10.2. Este tipo de MDS é gerado utilizando-se informações de altimetria (neste caso vetores de isoípsas de 5 metros), aliadas a vetores de hidrografia (polilinhas de rios, polígonos de lagos, por exemplo). Com isso, o *raster* resultante apresenta a elevação do terreno com gradiente mais acentuado nas áreas de intersecção dos vetores de hidrografia. O mesmo modelo de superfície foi utilizado para gerar o terceiro parâmetro que compõe o modelo espacial, neste caso, a curvatura. Este parâmetro, a partir da definição de limiares que definem formas côncavas, planas, e convexas, tanto em planta quanto em perfil, permitiu

gerar as feições mínimas de relevo para toda a extensão da bacia. Isto significa uma representação de unidades de relevo cujas projeções em amplos planos ortogonais exibem, em cada um, apenas uma das três formas elementares citadas (**Figura 12**). Considerando o seu domínio hidrodinâmico (tendência ao escoamento ou concentração) cada uma das combinações possíveis foram reclassificadas (de acordo com o **Quadro 4**), constituindo a terceira variável. O emprego desta forma agrupada das feições cruzadas em domínios hidrodinâmicos, em detrimento do uso exclusivo de curvatura em planta (ou em perfil), justifica-se pelo argumento de Colangelo (1996):

“Existem duas componentes de dispersão vinculadas à geometria do relevo: uma, imposta pelo aumento progressivo da superfície de escoamento disponível a jusante (dispersão radial); outra, refere-se à aceleração dos fluxos através da ação de uma força tangencial à superfície do terreno (dispersão longitudinal). A primeira componente, ligada à convexidade das formas em planta, tende a provocar uma diminuição progressiva da disponibilidade de água por unidade de área, por espalhamento. A segunda, ligada à convexidade em perfil, dificulta a retenção superficial da água e, conseqüentemente, tende a reduzir os seus montantes disponíveis para a percolação. Quanto aos padrões de escoamento superficial interfluvial vinculados às formas côncavas do relevo – concentração de drenagem – o raciocínio segue a mesma direção, porém no sentido oposto.” (Pag. 33)

Figura 12: Unidade ideal de relevo e suas componentes elementares. Fonte: Colangelo, 1996.

Quadro 4: Classificação dos fluxos hídricos superficiais a partir das feições mínimas de relevo. Fonte: Colangelo, 1996.

Perfil	Planta	Fluxo resultante	Domínio Hidrodinâmico
CV	CV	Hiperdispensor	Dispersão
CV	r	Mesodispensor Longitudinal	
CV	CC	Hipodispensor	

r	CV	Mesodispersor Radial	
r	r	Transição (neutro)	Transição
r	CC	Mesoconcentrador Radial	Concentração
CC	CV	Hipoconcentrador	
CC	r	Mesoconcentrador Longitudinal	
CC	CC	Hiperconcentrador	

Dadas as três variáveis apresentadas, é introduzida no modelo a variável “uso do solo” nos cenários antropizados para combinar-se à variável “grupo litológico”. Esta informação foi retirada de fotografias aéreas do levantamento de 1972 para representar a respectiva década, e ortofotos do projeto Mapeia, da Emplasa, de 2010 para a década de 2000. A definição das categorias de uso seguiu como exemplo o mapeamento de usos do solo na RMSP realizado pela Emplasa em 2000. Nesta proposta, as cinco categorias de uso do solo classificadas foram definidas de acordo com sua relevância para a geração de escoamento superficial: Florestal/arbóreo, gramínea, solo exposto, urbano de baixa/média densidade, e urbano de alta densidade. Para extração das informações foram utilizados critérios de interpretação visual, como textura, padrão, cor, etc.

Figura 13: Aerofotos de 1972 utilizadas para a classificação dos tipos de uso do solo.

Figura 13: Ortofotos de 2010 utilizadas para a classificação de uso do solo. Fonte: Emplasa, 2010.

As categorias de uso do solo foram flexibilizadas de modo a permitir uma correlação com os “Tipos de solo” presentes no inventário de atribuição de *Curve Number*, proposto pelo *National Soil Conservation Service*. O CN corresponde a um numero de ajuste à curva que representa a relação entre precipitação incidente em uma bacia e o escoamento direto produzido após interação com uma superfície. Ou seja, em um cenário onde $CN = 100$, o volume de escoamento direto é igual ao volume de precipitação incidente. De acordo com a equação empregada por NRCS (1986) para estabelecer o valor de CN para diferentes tipos de superfície do ambiente urbano, é importante considerar não apenas o tipo de uso, como também o grupo hidrológico do solo. Esta condição, é tomada como indiferente no caso de uma superfície totalmente impermeabilizada, uma vez que este modelo trata de diferenças mais sensíveis na relação de capacidade de geração de escoamento.

Os grupos litológicos associados (aqui identificados a partir de reclassificação da carta Geotécnica como já explanado) foram correlacionados no índice do NRCS com os “grupos hidrológicos do solo”, apresentados simplifadamente por tipos A, B, C ou D, onde são classificados de acordo com a mínima taxa de infiltração. Através de inferências a partir dos dados apresentados por NRCS (1986) sobre as características de condução hídrica dos grupos de solo diferenciados e sua correspondência com os tipos de solo encontrados na área de estudo (informação revalidada em campo), foi feita a correspondência:

- Grupo Litológico “Sedimentos Terciários” = Solo do grupo hidrológico “B”: Moderada taxa de infiltração quando constantemente úmidos e consiste principalmente de moderadamente profundos a profundos, moderadamente bem a bem drenados, com texturas de moderadamente finas a moderadamente grosseiras;
- Grupo litológico “Sedimentos quaternários” = Solo do grupo hidrológico “C”: Baixa taxa de infiltração quando constantemente úmidos e consistem principalmente de solos com uma camada que impede a percolação, apresenta textura de moderadamente fina a fina;
- Grupo litológico “Rochas do embasamento cristalino pré-cambriano” = Solo do grupo hidrológico “D”: Alto potencial para escoamento e muito baixa taxa de infiltração, consistem principalmente de solos rasos sobre material impermeável.

A adoção das técnicas de cálculo do *curve number* (própria da hidrologia) apresentou obstáculos operacionais. Um dos mais evidentes diz respeito ao reconhecimento de que nas áreas antropizadas os perfis de solo são potencialmente perturbados, o que modifica suas características de infiltração. Isso foi minimizado com atenção especial à checagem das informações inferidas sobre a carta geotécnica em campo, observando-se áreas amostrais onde foram reclassificados cada um dos três grupos litológicos para confirmação de que as características lá observadas seriam correspondentes aos “grupos hidrológicos do solo” propostos. As demais informações sobre o solo foram assumidas em continuo de acordo com a correlação “grupo litológico X grupo hidrológico” já citada e então foi relacionado com as classes de uso do solo, conforme apresentada no **Quadro 5**. Além disso, seguindo recomendação de FCTH (1999), os números de curva foram adotados considerando as condições de umidade no solo como constantes na situação média presente em época de cheias (com chuvas antecedentes). Com isso considerado, os valores de CN atribuídos para as diferentes combinações de uso do solo e grupos litológicos, para modelagem dos cenários antropizados, foram:

Quadro 5: Valores de CN em função do uso do solo e grupo litológico.

Uso do solo	Grupo Litológico		
	Sedimentos Terciários	Sedimentos quaternários	Rochas do embasamento cristalino pré-cambriano
Urbano de alta densidade	98	98	98
Urbano de média/baixa densidade	75	83	87
Solo exposto	86	91	94
Gramínea	69	79	84
Arbóreo/florestal	60	73	79

É necessário fazer ressalva quanto a não inclusão de determinados elementos próprios da morfologia antrópica, neste nível do modelo espacial, como os padrões de arruamento, estrutura de microdrenagem urbana, influências de obras hidráulicas (como piscinões), etc. Uma vez que a proposta deste modelo, que visa gerar parâmetros quantitativos de comparação, não é fixada na incorporação dos elementos de morfologia original e antrópica como tradicionalmente empregados em estudos de antropogeomorfologia, a influência de fatores como os supracitados foram exclusivamente incorporados à análise retrospectiva de forma descritiva.

Com este cruzamento entre uso solo e litologia foi obtido o valor do número de curva (valor de 0 a 100) que, por sua vez, foi ponderado em relação às outras duas variáveis (declividade e curvatura). Isto se deu através de baterias de testes para se estabelecer esta contribuição relativa entre variáveis, utilizando-se da técnica conhecida como AHP (*Analytical Hierarchical Process*), que serve à comparação de contribuintes em escala pré-definida (INPE, 2003). Com isso, os dados espaciais em formato matricial (*raster*) tem em cada célula (*pixel*) um valor referente às variáveis empregadas que são combinadas através de ponderação em uma inferência *fuzzy*. Este conjunto gerado não define limites rígidos entre as classes, ao contrário da lógica booleana de simples sobreposição de variáveis, sendo mais indicado para lidar com abstração em modelos de fenômenos empíricos (INPE, 2003).

Quadro 6: Matriz de decisão e prioridade das variáveis empregadas de acordo com o método AHP.

Categoria	Prioridade	Ranking	Matriz de decisão		
			1	2	3
Litologia	0.493	1	1	2	2
Declividade	0.311	2	0.5	1	2
Curvatura	0.196	3	0.5	0.5	1

Após baterias de testes, a fórmula empregada no calculo de rasters que, por fim, puderam ser considerados o modelo espacial pretendido, se expressa por:

$$CN' = (CN * 0,5) + (Slope * 7) + (Curvature * 7)$$

Onde CN' é o número de curva que representa a tendência ao escoamento (0-100), CN é o número de curva gerado pela combinação entre grupos litológicos (exclusivamente, no caso do cenário “original”) e uso do solo (nos cenários antropizados), Slope é a classe de declividade definida pelos intervalos entre limites críticos de influencia sobre o escoamento (1-4 multiplicado para estabelecer uma escala 7-28), e Curvature é o domínio hidrodinâmico a que pertence à feição mínima de relevo presente (1-3, 7-21). Com esta fórmula para ponderação, foi possível relacionar os valores das diferentes variáveis para um único índice e em uma única escala. Por exemplo: considerando-se um ponto sobre litologia do grupo

“Sedimentos Terciários”, onde o uso do solo é “urbano de média/baixa densidade”, com declividade entre 2-10%, e de feição convexa/retilínea, temos: $((CN = 75 * 0,5 = 37,5) + (Slope = 2 * 7 = 14) + (Curvature = 1 * 7 = 7)) = CN' = 58,5$. Tais parâmetros foram tomados com o cuidado para que o maior valor possível de CN' fosse de 98 (em uma situação de uso do solo urbano de alta densidade, com declividade superior a 17% e em uma morfologia de hiperconcentração), justamente o valor máximo admitido no índice do NRCS.

Quadro 7: Fluxograma da etapa de desenvolvimento do modelo espacial.

Ressalta-se que a matriz proposta traz como produto valores que, se interpretados desarticulados, simplesmente como um mapeamento do “potencial para gerar precipitação excedente”, pode levar a subestimar o papel da intervenção antrópica como indutora de mudanças nas taxas de tais processos, que são muito maiores do que um único parâmetro (como o *curve number*) permite vislumbrar. Dito isso, a sistematização de variáveis a partir do *CN* permitiu estabelecer uma base comparativa quantificada entre os diferentes cenários que se objetivou analisar, bem como estabeleceu uma via de possível interpretação entre as áreas impactadas por inundações e aquelas que receberam maiores totais de precipitação.

5.5. Interpolação de dados de chuva e interpretação.

A chuva excedente sobre cada unidade da bacia pôde ser estimada a partir do modelo interpolando-se valores precipitação, uma vez considerado que o armazenamento ao longo do tempo é proporcional ao volume precipitado. Para interpolação dos dados de precipitação entre cada episódio, foi aplicada a técnica kriging (krigagem). O kriging, do tipo ordinário, segue o modelo:

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s),$$

onde μ é uma constante desconhecida. Um dos maiores problemas envolvendo kriging ordinário é sobre a suposição da média da constante. No entanto, como técnica de predição simples, há uma flexibilidade considerável, uma vez que pode ser usado para dados em que há possibilidade de tendência sem que se saiba, apenas pelos dados, se o padrão observado é resultado de autocorrelação (entre erros $\varepsilon(s)$ com μ constante) ou tendência ($\mu(s)$ muda com s) (ESRI, 2014).

Figura 15: Exemplo de aplicação de kriging, demonstrando nuvens de dados diferentemente variáveis para obtenção de média constante de μ . Fonte: ESRI, 2014.

O kriging por método ordinário foi realizado utilizando-se de semivariogramas como forma matemática de expressão da autocorrelação entre os dados, permitindo realizar transformações (aplicação de anisotropia, por exemplo) para mensuração de erros e anulação do efeito pepita. Este efeito no kriging pode representar justamente a medida de erro ou variação nas menores escalas. Anulá-lo foi um grande desafio para uma interpolação com poucos pontos de amostragem. Para compensá-lo, a variância (partial sill) foi estabelecida em valores relativamente altos.

Quadro 8: Modelos de semivariograma e transformações aplicadas no kriging para cada evento chuvoso investigado.

Evento	Método	Modelo de semivariograma	Anisotropia	E. Pepita	Partial sill
26-27/11/76	Ordinary	Stable	False	0	427,54
18-19/01/77	Ordinary	Stable	True	0	100,97
01-02/12/09	Ordinary	Stable	False	0	146,37
03-04/12/09	Ordinary	Stable	True	0	428,95
07-08/12/09	Ordinary	Stable	True	0	178,77
07-08/01/10	Ordinary	Exponential	True	0	581,06
20-21/01/10	Ordinary	Stable	True	0	620,45
03-04/02/10	Ordinary	Stable	False	0	1475,81

Por conta destas medidas de correção, para fins de maior segurança com os dados resultantes, também foram desenvolvidos diagramas de Voronoi. Estes diagramas seguem a mesma lógica de construção dos polígonos de Thiessen previamente descritos. Uma vez

construídos os polígonos, os dados de chuva do ponto raiz (estação) são atribuídos a toda a sua área. Calculando-se a porcentagem da área da bacia compreendida dentro de cada polígono, é possível ponderar os totais de chuva de cada estação, somá-los, e assim obter um valor único para toda a zona. Este número foi utilizado como base para verificação do total de precipitação incidente na bacia calculado a partir dos histogramas gerados pelo kriging.

Os rasters de precipitação incidente gerados foram postos em função do modelo espacial de tendências hidrodinâmicas de superfície, gerando cartas que apresentavam o total de precipitação excedente, runoff inferido, na Bacia Hidrográfica do rio Aricanduva, em cada um dos eventos extremos investigados. Ressalta-se que estes valores inferidos pela aplicação do modelo espacial foram interpretados em conjunto às informações já citadas (análise rítmica, relatórios de observação de radares meteorológicos, etc.), bem como outras informações referentes às intervenções antrópicas no sistema hidrogeomorfológico. Uma das categorias de morfologia antrópica que se buscou identificar foram as formas de arruamento reforçadoras de fluxos intensos. Baseado em Claro (2013), foi dada maior atenção aos padrões de arruamento implantados de forma diretamente perpendicular desde setores de fundo de vale até o divisor de águas das sub-bacias. Isto, pois, tal formatação levaria ao fluxo de escoamento superficial torrencial, concentrado e acelerado, muito próximo de um tipo hortoniano, devendo integrar a leitura da carta de tendências.

5.6. Reconstituição e mapeamento das morfologias originais.

Apoiando-se no que é apontado no Plano de Manejo da APA Várzea do Rio Tietê (2013), o mapeamento da morfologia original das planícies fluviais, via cartografia geomorfológica retrospectiva, é instrumento indispensável para a interpretação das tendências hidrodinâmicas e tendências de processos correspondentes às fases pré-urbanização, bem como viabiliza análises mais complexas, quando correlacionamos esta morfologia e suas funcionalidades pretéritas à morfologia antrópica da urbanização. Esta reconstituição foi realizada com o objetivo de identificar os limites das planícies fluviais na bacia e seus diferentes compartimentos, de forma que estes conteúdos, interpretados como informações sobre a susceptibilidade ao fenômeno inundação, fossem correlacionados com mapeamento de vulnerabilidade social. O início do processo de mapeamento das morfologias originais se deu por uma etapa de produção de dados primários.

A produção de dados primários foi conduzida a partir de metodologia desenvolvida por Rodrigues (1999, 2004, 2005, 2010), para avaliações das mudanças em sistemas físicos, particularmente hidrogeomorfológicos, decorrentes da ação antrópica (sobretudo pela

urbanização). Essa metodologia propõe que os estudos sejam conduzidos a partir de análises retrospectivas do sistema por meio cartográfico, voltadas às condições originais de sistemas e sub-sistemas, isto é, suas condições pré-urbanas. Este estudo é subsidiado por informações obtidas em campo, e interpretação e análises de informações espaciais obtidas a partir de fotografias aéreas, imagens de satélite, mapas de uso e ocupação da terra, ou fontes históricas.

O mapa da morfologia original das planícies fluviais da BHA foi desenvolvido com especial enfoque para a compartimentação dos subsistemas que a compõem e que são de especial interesse na investigação empreendida sobre eventos de inundação. Isto significa dizer que o mapeamento objetivou a representação dos compartimentos: planície de inundação, terraços (níveis 1, 2 e antrópicos), e backswamps (bacias de decantação). De forma associada, buscou-se identificar planícies fluviais alveolares. Isto, pois, planícies com este tipo de configuração representam seções alargadas de um vale, geralmente entulhadas de sedimentos, produzido pela existência de barras resistentes, ocasionando estrangulamentos (GUERRA e GUERRA, 2008). Ou seja, por conformação de sua gênese, estas planícies caracterizam-se pela retenção da água e sedimentos por conta do estreitamento do vale à sua jusante, o que é primaz a ser observado na ocasião de uma área destas representar um local impactado por episódio de inundação nos períodos estudados.

Adotou-se a escala de 1:25.000 que, além de enquadrar-se no objetivo do estudo, foi compatível com o material cartográfico e aerofotográfico existente e consultado. Foram utilizadas as bases cartográficas (topográfica e de ortofotos) da Emplasa (2010). A fotointerpretação foi realizada com a técnica de estereoscopia analógica, com estereoscópios de bolso e de espelho, sobre pares estereoscópicos de aerofotos. As aerofotos utilizadas são do levantamento aerofotográfico do Estado de São Paulo de 1962 na escala de 1:25.000, executado por Aerofoto Natividade S/A sob contrato com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), obtidas no Acervo de Fotografias Aéreas (AFA) do Departamento de Geografia da USP.

Conforme apontado por Moroz-Caccia Gouveia (2010), para o sítio urbano de São Paulo, deve-se considerar como período pré-intervenção ou pré-urbanização o período anterior à segunda metade do século XIX, pois, embora a povoação já houvesse se iniciado há três séculos, só a partir de então se iniciam intervenções mais significativas no meio físico, relacionadas diretamente ao processo de urbanização. No entanto, informações deste período não são suficientemente disponíveis para realizar um mapeamento como proposto e necessário. Portanto, uma vez definido a utilização de fotografia aéreas do ano de 1962, reconhece-se que a área já se encontrava antropizada. No entanto, conforme afirma Moroz-

Caccia Gouveia (2010), isto não impede a identificação de vestígios da morfologia original, tais como trechos de terraços fluviais, meandros abandonados e limites de planície de inundação, que por sua vez permitem diversas inferências, contanto que posteriormente confrontadas com informações de fontes secundárias, neste caso Ab'Saber (1957).

Ressaltamos que a metodologia utilizada nos levantamentos aerofotogramétricos não considera a curvatura da Terra e não emprega projeção cartográfica, ao mesmo tempo em que as fotos resultantes apresentam distorções laterais. Desta maneira, foi necessário georreferenciamento dos *overlays* (produtos da restituição estereoscópica) por meio de pontos notáveis que podem ser identificados tanto nas fotografias aéreas quanto na base cartográfica atual. Primando-se pela precisão da informação gerada, foi assumido como aceitável um erro quadrático acumulado de até 3.0 para cada overlay georreferenciado.

Tomando como base os mapeamentos de morfologias originais realizados no PM-APAVRT (2013) bem como por Moroz-Caccia Gouveia (2010) e Luz (2014), a interpretação foi baseada em proposições cartográficas gerais de Savigear (1965), Tricart (1965), Coltrinari (1982) e Hart (1986), com inserções de elementos de legendas apresentadas Santana & Rodrigues (2008) e Luz & Rodrigues (2015). Assim, a sistematização do levantamento oriundo da restituição morfológica sobre as aerofotos foi realizada em quatro etapas: 1) Georreferenciamento das folhas com informações restituídas (*overlays*) por estereoscopia; 2) Vetorização dos *overlays* obtidos sobre a base cartográfica; 3) Sistematização da legenda; 4) Formatação do mapa e edição final.

Figura 16: Exemplo de vetorização dos limites da Planície Fluvial sobre overlays georreferenciados.

Figura 17: Procedimentos do mapeamento da morfologia original. Fonte: LUZ (2014).

Ressalta-se que, para viabilizar a impressão em uma única folha, e assim facilitar o manuseio do material cartográfico produzido, optou-se por apresentá-lo reduzido, em escala 1:50.000.

5.7. Mapeamento da vulnerabilidade socioespacial.

O mapeamento da vulnerabilidade socioespacial requereu, primeiramente, a sistematização de um índice de vulnerabilidade a ser correlacionado com informações relativas à susceptibilidade espacial de inundações obtidos nas fases anteriormente descritas.

A sistematização do índice seguiu os princípios apresentados no desenvolvimento do *Social Vulnerability Index*, apresentado por Cutter et al (2013), em que dados socioeconômicos e demográficos usados em nível desagregado (por condados) são analisados através de um método analítico de fatores, de modo que centenas de variáveis são reduzidas a um pequeno conjunto de fatores independentes que representem a maior porcentagem da variância. Em outras palavras, torna possível selecionar as variáveis (e combinações destas) que são mais determinantes à definição de perfis de vulnerabilidade na área estudada. Os fatores preponderantes apontados por Cutter et al (2013) são relativos à renda, estrutura do local de moradia e perfil da população (gênero, etnia faixa etária). Estes fatores são colocados em um modelo aditivo para computar a pontuação de sumário (o índice propriamente dito), adotado sem uma assunção a priori sobre a importância de cada fator para a soma total. Deste modo, cada fator é visto como tendo igual contribuição à vulnerabilidade geral, então os fatores são escalonados de modo que valores positivos indiquem maiores níveis de vulnerabilidade e valores negativos diminuam a vulnerabilidade geral.

Pensando-se no emprego desta base para a área de estudo, foram trabalhadas, em escala de setores censitários compreendidos dentro da bacia estudada, as mesmas variáveis

utilizadas em SEADE (2000), para a constituição do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS). Isto, pois, considera-se que existem particularidades às condições socioeconômicas dos habitantes da cidade de São Paulo e quanto ao como estas se diferenciam, que requerem uma reconsideração sobre quais fatores são mais influentes na determinação da vulnerabilidade neste contexto. 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 socioeconômico e demográfico. A partir da definição dos fatores são gerados scores fatoriais, que representam médias ponderadas das variáveis originais, em uma escala com média 0 e variância 1.

Foram, portanto, empregadas as seguintes variáveis, com valores obtidos do censo de 2010:

Quadro 9: Variáveis sistematizadas para o índice de vulnerabilidade social empregado no mapeamento de acordo com os scores fatoriais. Fonte: SEADE, 2010.

Variáveis originais	Fatores	
	Socioeconômico	Demográfico
Renda domiciliar per capita	0,30	0,13
% de domicílios com renda domiciliar per capita de até ½ salário mínimo	-0,23	0,00
Rendimento médio da mulher responsável pelo domicílio	0,28	0,12
% de pessoas responsáveis pelo domicílio alfabetizadas	0,25	0,08
% de domicílios com renda domiciliar per capita de até ¼ de salário mínimo	-0,20	0,01
% de pessoas responsáveis de 10 a 29 anos	0,11	0,35
% de mulheres responsáveis de 10 a 29 anos	0,15	0,37
Idade média das pessoas responsáveis	-0,07	-0,32
% de crianças de 0 a 5 anos de idade.	-0,08	0,15

O que deve ser destacado, portanto, é que uma vez que não haviam dados sistematizados em escala desagregada e que cobrissem essa mesma variedade de fatores para a década de 70, o mapeamento foi realizado exclusivamente com os dados de 2010. Então, nas análises das inundações ocorridas entre 1976 e 1977 é apresentado visualmente o contexto de vulnerabilidade das áreas afetadas atualmente, mas com as devidas considerações feitas na interpretação textual.

Com estes valores, grupos de vulnerabilidade social foram criados com um agrupamento realizado pelo cruzamento do fator socioeconômico, dividido em três classes (muito alto, médio e baixo), com o fator demográfico, dividido em duas classes (famílias adultas e idosas, famílias jovens). Estes grupos foram então cruzados com a informação (do tipo booleana) de que o setor censitário constitui um aglomerado subnormal ou não. Assim, grupos 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 no Estado de São Paulo;

Grupo 2 – Vulnerabilidade Muito Baixa: abrange os setores censitários que se classificam em segundo lugar, no estado, 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 censitários 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 censitários 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 piores 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.

Com os grupos resultantes da aplicação deste índice de vulnerabilidade social, foi realizado então cruzamento com as informações espaciais dos compartimentos das planícies fluviais da bacia do Aricanduva. Desta forma, o mapeamento resultante baseia-se na hipótese de que a categoria vulnerabilidade socioespacial pode captar e traduzir os fenômenos de sobreposição espacial e interação entre os problemas destas duas dimensões.

O cruzamento entre as informações espaciais foi simplificado, baseando-se novamente no princípio defendido por Cutter et al (2013) de método aditivo. Assim, os compartimentos da planície fluvial (primeiro nível de terraço, segundo nível de terraço, planície de inundação, e backswamps) representaram valores inteiros a serem adicionados aos valores finais encontrados com o cruzamento de fatores da vulnerabilidade social. Desta

forma, por exemplo, um setor com vulnerabilidade social muito alta localizado em um terraço de primeiro nível possui uma vulnerabilidade socioespacial correspondente menor do que aquela de um setor com vulnerabilidade social alta e localizado em planície de inundação. Da mesma forma, o cruzamento destas informações espaciais permite a fragmentação de um setor censitário, caso diferentes áreas deste localizem-se em diferentes compartimentos de planície fluvial. Então, somente no caso de coincidência de moradias onde habitam pessoas do grupo classificado como de vulnerabilidade social muito alta, que caracterizam aglomerado subnormal, e dentro de uma planície de inundação, será identificado o mais alto nível de vulnerabilidade socioespacial (nível 9).

Por fim, para todas as etapas que requereram produções cartográficas, foi utilizado o sistema de coordenadas geográficas SAD 69, para que não fosse necessária conversão de todos os dados coletados de bases cartográficas diversas. Os resultados finais podem ser facilmente projetados no sistema padrão atualmente em vigor (SIRGAS 2000 - 23S).

6. RESULTADOS.

6.1. Análise pluviométrica.

Uma vez tomada a década de 1970, por ser o período de mais intensa expansão urbana na área de estudo, e a de 2000 como recorte temporal sobre o qual desenvolver a pesquisa, a análise de séries históricas de pluviometria destes períodos viria a definir sobre quais temporadas chuvosas as etapas subsequentes da pesquisa seriam desenvolvidas. Para tanto, os dados foram extensivamente analisados e resumidos da seguinte forma:

Quadro 10: Resumo da série das décadas analisadas na estação Foz do Aricanduva. Dados: EMAE.

Temporada	Total	nº dias	Máxima	Dia máxima	Média	Dias > acum	mm Acum	Obs.
70-71								Sem dados: Nov 1970
71-72	940.8	77	84.0	22-jan	12.2	17-24 jan	202.4	
72-73	975.7	63	64.0	11-nov	15.5	10-11 nov	99.4	
73-74	879.3	67	58.0	19-dez	13.1	06-18 jan	118.8	78,2mm entre 17-18 nov
74-75	798.1	73	64.0	27-jan	10.9	27 jan-05 fev	185.0	30/01 sem chuva >0,1
75-76	1220	71	84.0	6-fev	17.2	04-07 fev	158.0	Várias seqs 3 dias >60mm
76-77	1119	59	98.0	18-jan	19.0	12-19 jan	243.0	108,5 entre 4 e 5 mar
77-78	920.6	66	56.0	29-mar	13.9	18-22 dez	147.5	132 mm entre 3-9 mar
78-79								Sem dados: Jul 78- Jun 79
79-80	875.2	61	84.5	8-mar	14.3	8-10 mar	114.5	
00-01	768.2	49	75.1	27-jan	15.7	27-30 jan	117.3	
01-02	857.5	59	67.3	24-mar	14.5	7-14 jan	100.4	
02-03	985.2	71	75.0	3-jan	13.9	21-28 jan	143.6	
03-04	805.3	76	59.4	4-fev	10.6	23 jan-2 fev	174.9	114,4 entre 4-6 fev
04-05	881.6	78	57.4	23-mar	11.3	12-18 mar	122.9	95,7 entre 20-24 mar
05-06	985.1	80	62.2	02-jan	12.3	1-11 mar	221.2	191,3 entre 30 dez e 5 jan
06-07	838.6	78	73.1	04-jan	10.8	24-29 nov	117.4	101,7 entre 4-6 dez
07-08	786.5	84	65.8	19-dez	9.4	3-24 fev	184.6	
08-09	983.1	97	69.8	25-jan	10.1	25-30 jan	189.6	109,5 entre 23-25 fev
09-10	1344	100	84.0	7-dez	13.4	14-29 jan	295.0	134,7 entre 4-12 dez

Continuação Quadro 10.

A partir das análises das séries de todas as estações pluviométricas trabalhadas (cujos quadros e gráficos sistematizados nos moldes do **quadro 10**, foi elaborado um sistema de ranqueamento a fim de avaliar quais temporadas entre cada década destacam-se com relação aos critérios: Total de precipitação, número de dias com chuva, maior valor diário acumulado, precipitação média por dia com chuva, e maior total precipitação em uma única sequência de dias com chuva. As temporadas chuvosas de 70-71 e 78-79 foram desconsideradas por conta da grande falta de dados para estes períodos específicos (ao menos um mês faltante em todas as estações). Isto também foi critério para utilizar a estação Foz do Aricanduva para representação, por ser a única em que há dados faltantes apenas em duas temporadas.

Quadro 11: Síntese do ranqueamento de temporadas pelos critérios estabelecidos.

Temp/Posto	Foz Aricanduva	Temp/Posto	Foz Aricanduva
70-71		00-01	32 (10.10.2.1.9)
71-72	16 (4.1.3.7.2)	01-02	33 (6.9.6.2.10)
72-73	25 (3.6.5.3.8)	02-03	22 (2.8.3.3.6)
73-74	30 (6.4.8.6.6)	03-04	37 (8.7.9.8.5)
74-75	21 (8.2.5.8.3)	04-05	33 (5.5.10.6.7)
75-76	13 (1.3.3.2.4)	05-06	22 (3.4.8.5.2)
76-77	13 (2.8.1.1.1)	06-07	32 (7.6.4.7.8)
77-78	27 (5.5.7.5.5)	07-08	33 (9.3.7.10.4)
78-79		08-09	23 (4.2.5.9.3)
79-80	27 (7.7.2.4.7)	09-10	8 (1.1.1.4.1)
Maior chuva	18/01/77	Maior chuva	07/12/09

No **quadro 11** podemos ver o destaque que a temporada chuvosa 2009-2010 recebe, quando comparados seus índices pluviométricos com as demais temporadas da mesma década. Com o maior total de precipitação, número de dias com chuva, maior acumulado diário, e maior total precipitado em sequência, além de ser o quarto lugar no critério precipitação média em dias de chuva, esta temporada representou indubitavelmente o período ideal para busca sobre ocorrências de inundações. Enquanto na década de 70, houve empate pelo ranqueamento entre as temporadas chuvosas de 1975-76 e 1976-77. No entanto, como três das cinco estações disponíveis para o período possuem grande quantia de dias com dados faltantes para a temporada de 75-76 e, além disso, o dia com chuva mais intensa de toda a década de 70 ocorreu no dia 18/01/1977, a temporada 76-77 foi escolhida como o período para enfoque em sua respectiva década.

Com estas definições, na seguinte etapa de tratamento dos dados pluviométricos foi elaborado um resumo de precipitação registrada por cada estação trabalhada e a classificação dos dias pelos seus totais diários (dias chuvosos, muito chuvosos e extremamente chuvosos). A marcação de dias com ocorrências de inundações e/ou alagamentos só foi incluída posteriormente após a etapa de levantamento de notícias.

6.1.1. Temporada 1976-77.

Quadro 12: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação Foz Aricanduva, EMAE.

Temp 76-77						Prec Diária (mm) Foz Aricanduva						QUANTIS					
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo		Muito alto		Alto							
1	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.99		0.95		0.85							
2	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	80.50		46.75		14.75							
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CLASSES		nov	dez	jan	fev	mar	TOT				
4	6.0	17.0	5.5	0.0	89.0	0,1-1		1	2	0	0	0	3				
5	9.5	55.0	15.5	2.0	19.5	1,1-5		0	7	1	3	4	15				
6	0.0	0.0	28.0	0.0	5.0	5,1-10		3	1	5	0	4	13				
7	0.0	0.0	3.0	19.5	16.0	10,1-20		2	3	3	1	6	15				
8	0.0	44.0	0.0	0.0	0.0	20,1-30		1	0	2	0	0	3				
9	0.0	0.0	0.0	72.0	0.0	30,1-40		0	0	0	0	0	0				
10	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	40,1-50		1	1	1	0	0	3				
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50,1-60		0	1	1	0	0	2				
12	0.0	0.0	43.5	0.0	0.0	60,1-70		0	0	1	0	0	1				
13	26.5	0.0	58.5	0.0	0.0	70,1-80		0	0	0	1	1	2				
14	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	80,1-100		0	0	1	0	1	2				
15	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	100,1-150		0	0	0	0	0	0				
16	0.0	0.0	18.0	0.0	10.0	TOTAL		8	15	15	5	16	59				
17	16.5	1.0	0.0	0.0	0.0	RESUMO Temp. 76-77											
18	0.4	0.0	98.0	0.0	4.0	MES		TOTAL		Máxima		Dias de chuva					
19	13.5	0.0	10.0	0.0	0.0	Novembro		125.4		43.5		8					
20	9.5	5.5	0.0	0.0	15.0	Dezembro		173.5		55.0		15					
21	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	Janeiro		413.0		98.0		15					
22	0.0	5.0	0.0	0.0	1.5	Fevereiro		103.5		72.0		5					
23	0.0	10.5	0.0	5.0	0.0	Março		303.8		89.0		16					
24	0.0	3.0	0.0	0.0	6.3	Temporada		1119.2		98.0		59					
25	0.0	4.5	0.0	0.0	72.0	Maior acumulado:						98.0		18-janv			
26	43.5	14.5	8.0	0.0	17.0	Total mensal máximo						413.0		Jan			
27	0.0	1.0	29.0	5.0	0.0	Total mensal mínimo						103.5		Fev			
28	0.0	3.0	0.0	0.0	19.0	* OBS:											
29	0.0	0.0	0.0		12.0	☐ Ocorrência de alagamento/inundação											
30	0.0	0.0	0.0		5.0	☐ Evento com danos severos											
31		1.5	68.0		6.5												

A partir dos dados da estação localizada próxima à foz do rio Aricanduva, pode-se notar que janeiro e março de 1977 foram meses excepcionalmente chuvosos se comparados aos valores normais. Fevereiro, apesar de registrar o menor total acumulado, teve 70% desse total precipitado em um único dia, classificado como “muito chuvoso”. Isto é reflexo de um padrão identificável nesta temporada que contou com pequeno numero de dias com chuva, mas alto valor acumulado ao final do período de observação. Destaca-se ainda que 28 dos 59 dias com chuva tiveram totais que superaram os 10 mm diários e em dois casos houve precipitação superior a 80 mm (que definiu o quantil de classe “extremo”).

Quadro 13: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação Itaquera, DAEE.

Temp 76-77						Prec Diária (mm) Itaquera						QUANTIS					
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo	Muito alto	Alto									
1	1.9	0.0	7.0	49.0	0.0	0.99	0.95	0.85									
2	0.0	4.5	0.0	0.0	2.7	49.85	27.83	12.50									
3	0.0	1.9	0.0	0.8	0.0	CLASSES						nov	dez	jan	fev	mar	TOT
4	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0,1-1	2	5	3	4	1	15					
5	12.7	1.7	15.4	4.6	45.8	1,1-5	6	8	0	4	4	22					
6	15.8	21.3	26.1	5.8	49.3	5,1-10	0	2	5	1	3	11					
7	0.2	0.0	25.7	0.0	0.0	10,1-20	4	2	3	0	3	12					
8	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	20,1-30	1	1	4	0	0	6					
9	0.0	38.0	0.0	0.0	0.0	30,1-40	0	1	1	0	1	3					
10	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	40,1-50	0	0	0	1	2	3					
11	0.0	0.0	21.0	2.0	6.0	50,1-60	1	0	0	0	0	1					
12	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	60,1-70	0	0	0	0	0	0					
13	0.0	0.5	7.1	0.0	0.0	70,1-80	0	0	0	0	0	0					
14	21.9	0.0	0.0	0.0	0.0	80,1-100	0	0	1	0	0	1					
15	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	100,1-150	0	0	0	0	0	0					
16	0.0	1.5	8.0	0.0	0.0	TOTAL	14	19	17	10	14	74					
17	4.7	0.0	20.5	0.0	12.3	RESUMO Temp. 76-77											
18	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	MES		TOTAL		Máxima		Dias de chuva					
19	1.4	0.0	96.6	0.1	1.1	Novembro		143.6		50.4		14					
20	16.8	0.6	6.0	0.0	0.0	Dezembro		129.8		38.0		19					
21	11.6	0.0	0.0	0.0	15.8	Janeiro		304.8		96.6		17					
22	1.5	14.2	0.0	0.0	5.9	Fevereiro		67.5		49.0		10					
23	0.0	7.0	0.0	0.0	0.1	Março		202.7		49.3		14					
24	0.0	5.0	0.0	3.2	0.0	Temporada		848.4		96.6		74					
25	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	Maior acumulado:						96.6		19-janv			
26	2.6	10.0	0.0	0.0	33.6	Total mensal máximo:						304.8		Jan			
27	50.4	12.0	17.0	0.0	2.4	Total mensal mínimo:						67.5		Fev			
28	1.0	0.5	14.8	0.0	0.0	* OBS: Hora de coleta dos dados: 12h GMT											
29	1.1	2.0	0.0		17.8												
30	0.0	0.0	33.0		7.6	Ocorrência de alagamento/inundação											
31		2.6	0.3		2.3	Evento com danos severos											

Como estação operada com horário de coleta de dados diferente da estação Foz Aricanduva, algumas diferenças substanciais são identificáveis. Por exemplo, foi registrado um mês de dezembro pouco chuvoso em relação às normais (média histórica observada), e a concentração da baixa precipitação do mesmo de fevereiro aparece ainda mais pronunciada em apenas um dia. Além disso, há maior proporção de chuvas inferiores a 10 mm, sendo registradas em 46 dos 74 dias com alguma precipitação. Por outro lado, essas diferenças potencialmente auxiliam a identificação dos horários de concentração da precipitação entre os dias que antecederam as ocorrências confirmadas.

Quadro 14: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação Jd. Centenário, DAEE.

Temp 76-77						Prec Diária (mm) Jd Centenário						QUANTIS						
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR							Extremo	Muito alto	Alto				
1	3.1	0.0	15.0	34.1	0.0							0.99	0.95	0.85				
2	0.0	5.0	1.4	5.8	5.6							56.50	38.75	12.20				
3	0.0	1.4	0.0	0.2	0.0	CLASSES						nov	dez	jan	fev	mar	TOT	
4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0,1-1						5	3	5	9	3	25	
5	11.9	4.9	5.0	7.6	43.3	1,1-5						4	9	5	5	8	31	
6	9.3	34.0	34.0	0.0	21.0	5,1-10						1	1	2	3	4	11	
7	0.0	0.0	30.8	6.6	2.4	10,1-20						3	1	4	0	0	8	
8	0.0	0.0	2.1	2.4	0.0	20,1-30						2	0	3	0	2	7	
9	0.0	40.0	0.0	3.4	0.0	30,1-40						0	3	2	1	0	6	
10	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	40,1-50						0	0	0	0	1	1	
11	0.1	0.0	22.0	0.0	5.6	50,1-60						0	0	0	0	0	0	
12	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	60,1-70						0	0	0	0	0	0	
13	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	70,1-80						0	0	0	0	0	0	
14	26.1	0.1	0.2	0.0	0.0	80,1-100						0	0	0	0	0	0	
15	0.0	0.0	17.8	0.1	0.0	100,1-150						0	0	1	0	0	1	
16	0.5	1.3	22.8	0.0	2.4	TOTAL						15	17	22	18	18	90	
17	0.0	0.0	12.9	0.2	3.4	RESUMO											Temp. 76-77	
18	0.0	3.1	0.8	0.2	0.1	MES		TOTAL		Máxima		Dias de chuva						
19	1.9	0.0	101.0	0.0	1.4	Novembro		114.8		26.1		15						
20	11.7	0.0	2.3	0.1	0.0	Dezembro		161.2		40.0		17						
21	18.2	0.3	0.0	0.0	5.0	Janeiro		331.9		101.0		22						
22	0.4	7.7	0.3	0.3	3.0	Fevereiro		66.9		34.1		18						
23	0.3	2.5	0.0	0.2	0.2	Março		139.0		43.3		18						
24	0.0	4.5	0.0	1.5	0.2	Temporada		813.8		101.0		90						
25	0.0	36.0	0.0	0.0	0.0	Maior acumulado:						101.0		19-janv				
26	0.0	3.8	2.3	0.0	8.3	Total mensal máximo:						331.9		Janeiro				
27	24.6	15.0	9.6	1.5	1.3	Total mensal mínimo						66.9		Fevereiro				
28	0.2	0.0	29.5	0.0	0.0	* OBS: Hora de coleta dos dados: 12h GMT												
29	4.9	1.5	0.0		21.4	<div><div></div>Ocorrência de alagamento/inundação</div>												
30	1.6	0.0	15.2		10.0	<div><div></div>Evento com danos severos</div>												
31		0.0	0.8		4.4													

Localizada no setor intermediário da BHA, a estação do Jardim Centenário apresenta grande numero de dias com chuva, mas elevada proporção de dias com total acumulado inferior a 5 mm (59). Também chama atenção não ter sido registrado nenhum total diário de valor entre 50 e 100 mm. Estes fatores relacionam-se com a constatação de que 1/8 de toda a precipitação da temporada ter ocorrido em um único dia: 19/01/77 nesta estação, mas se comparado às estações com registro até 00h local, podemos conjecturar que este volume foi precipitado durante a noite entre os dias 18 e 19 de janeiro.

Quadro 15: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação R. Pirani, EMAE.

Temp 76-77						Prec Diária (mm) Rodolfo Pirani						QUANTIS					
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo	Muito alto	Alto									
1	0.2	4.0	0.8	7.0	3.0	0.99	0.95	0.85									
2	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	56.50	38.75	12.20									
3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	CLASSES	nov	dez	jan	fev	mar	TOT					
4	8.2	1.4	5.8	0.0	41.0	0,1-1	6	4	7	3	8	28					
5	9.0	52.0	19.0	1.0	0.4	1,1-5	2	11	4	1	6	24					
6	0.0	0.2	46.0	3.0	0.0	5,1-10	2	1	3	1	0	7					
7	0.4	0.0	0.6	1.0	0.2	10,1-20	4	1	4	2	5	16					
8	0.0	53.0	0.4	11.0	0.0	20,1-30	0	0	1	0	0	1					
9	0.0	3.0	0.0	15.0	0.0	30,1-40	1	0	1	0	0	2					
10	0.0	0.0	4.0	0.0	4.0	40,1-50	0	1	1	0	1	3					
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50,1-60	0	2	1	0	0	3					
12	0.0	0.0	29.0	0.0	0.0	60,1-70	0	0	0	0	0	0					
13	20.0	0.0	0.6	0.0	0.0	70,1-80	0	0	0	0	0	0					
14	0.0	0.0	10.8	0.0	0.2	80,1-100	0	0	0	0	0	0					
15	0.0	1.2	15.0	0.0	0.2	100,1-150	0	0	1	0	0	1					
16	0.2	0.2	13.0	0.0	14.2	TOTAL	15	20	23	7	20	85					
17	0.2	7.0	1.4	0.0	0.4	RESUMO							Temp. 76-77				
18	2.0	0.0	113.0	0.0	1.0	MES	TOTAL	Máxima	Dias de chuva								
19	14.0	0.0	9.0	0.0	0.2	Novembro	121.2	31.2	15								
20	19.0	0.0	0.2	0.0	13.0	Dezembro	198.8	53.0	20								
21	1.2	2.8	1.0	0.0	5.0	Janeiro	379.8	113.0	23								
22	0.4	2.6	0.0	0.0	1.0	Fevereiro	38.8	15.0	7								
23	0.2	3.8	0.0	0.0	0.0	Março	141.4	41.0	20								
24	0.0	41.0	0.0	0.0	0.0	Temporada	880.0	113.0	85								
25	0.0	3.0	1.0	0.0	19.0	Maior acumulado:		113.0	18-janv								
26	31.2	2.0	8.0	0.0	3.0	Total mensal máximo		379.8	Jan								
27	0.0	0.2	60.0	0.0	0.0	Total mensal mínimo		38.8	Fev								
28	15.0	4.0	1.2	0.0	11.4	* OBS:											
29	0.0	0.2	0.0		5.0	☐ Ocorrência de alagamento/inundação											
30	0.0	0.0	2.0		4.0	☐ Evento com danos severos											
31		15.0	38.0		15.2												

A estação pluviométrica Rodolfo Pirani, no setor mais à montante da bacia, assim como a estação do Jd. Centenário, apesar do horário de coleta de dados diferenciado, também apresentou grande número de dias com chuva, sendo boa proporção destes (52) com volume inferior a 5 mm. O total acumulado no dia 18/01 nesta estação foi o maior valor registrado entre todas as séries analisadas, novamente representando mais de 1/8 do volume total de chuvas da temporada. Associado a isso, a estação também registrou sequência chuvosa de sete dias precedentes a este evento extremo, totalizando 182,8 mm. Além disso, foi a única estação onde ambos eventos classificados como extremos para a série coincidiram no mês de janeiro.

Quadro 16: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 76-77. Dados: estação Vila Ema, EMAE.

Temp 76-77						Prec Diária (mm) Vila Ema						QUANTIS					
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo		Muito alto		Alto							
1	0.0	4.2	0.0	0.0	4.0	0.99		0.95		0.85							
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.87		34.22		14.80							
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CLASSES		nov	dez	jan	fev	mar	TOT				
4	14.8	4.8		0.0	27.4	0,1-1		1	1	1	0	0	3				
5	10.4	53.4	52.2	0.0	8.0	1,1-5		0	4	5	0	2	11				
6	0.0	0.0	27.6	15.4	0.0	5,1-10		1	3	2	1	2	9				
7	0.0	0.0	0.2	6.4	21.0	10,1-20		2	1	2	2	3	10				
8	0.0	49.0	0.0	0.0	0.0	20,1-30		3	2	2	0	4	11				
9	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	30,1-40		1	0	1	0	1	3				
10	0.0	0.0	4.0	0.0	6.0	40,1-50		0	1	1	0	0	2				
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50,1-60		0	1	1	0	0	2				
12	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	60,1-70		0	0	0	0	0	0				
13	34.0	0.0	11.0	0.0	0.0	70,1-80		0	0	0	0	0	0				
14	0.4	0.0	0.0	0.0	40.0	80,1-100		0	0	1	0	0	1				
15	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	100,1-150		0	0	0	0	0	0				
16	0.0	0.0	14.8	0.0	10.4	TOTAL		8	13	16	3	12	52				
17	0.0	1.4	1.6	0.0	0.0	RESUMO										Temp.	76-77
18	0.0	0.0	98.4	0.0	0.0	MES		TOTAL		Máxima		Dias de chuva					
19	26.2	0.0	5.4	0.0	0.0	Novembro		135.0		34.0		8					
20	22.2	6.2	0.0	0.0	22.4	Dezembro		198.2		53.4		13					
21	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	Janeiro		334.6		98.4		16					
22	0.0	10.0	0.0	0.0		Fevereiro		33.8		15.4		3					
23	0.0	0.2	0.0	0.0		Março		199.2		40.0		12					
24	0.0	22.2	0.0	0.0		Temporada		900.8		98.4		52					
25	0.0	4.2	2.4	0.0	23.4	Maior acumulado:				98.4		18-janv					
26	21.2	24.2	4.2	0.0	0.0	Total mensal máximo				334.6		Jan					
27	0.0	0.0	34.4	0.0	0.0	Total mensal mínimo				33.8		Fev					
28	5.8	5.6	0.0	0.0		* OBS:											
29	0.0	0.0	0.0		20.0	☐ Ocorrência de alagamento/inundação											
30	0.0	0.0	5.4			☐ Evento com danos severos											
31		12.8	42.8		14.2												

Uma constatação diferencial dos dados coletados pela estação da Vila Ema é a concentração da precipitação em poucos dias (52), dos quais 29 tiveram um acumulado total superior a 10 mm. Mais uma vez é notável a concentração das chuvas no mês de janeiro e o grande desvio de padrão que ocorre com a precipitação registrada no dia 18/01. Especificamente nesta estação, é notável o como o valor deste evento extremo é superior ao segundo dia com maior total acumulado, ainda mais considerando-se que este não ocorreu após sequencia significativa de chuvas.

6.1.2. Temporada 2009-10.

Quadro 17: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Aricanduva Foz, EMAE.

Temp 09-10						QUANTIS						
dia	Prec Diária (mm) Foz Aricanduva											
	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo		Muito alto		Alto		
1	0.0	0.4	22.0	15.5	7.5	0.99		0.95		0.85		
2	0.0	25.0	19.7	6.2	1.3	48.35		34.05		21.50		
3	0.0	14.6	0.0	43.0	1.6	CLASSES	nov	dez	jan	fev	mar	TOT
4	0.0	3.0	30.4	20.2	0.0	0,1-1	3	3	2	4	3	15
5	0.3	1.1	32.6	0.2	0.0	1,1-5	4	7	6	2	6	25
6	0.0	0.0	2.6	10.3	35.4	5,1-10	2	2	3	4	2	13
7	0.9	84.0	3.6	0.1	0.0	10,1-20	4	2	5	2	3	16
8	21.2	20.5	24.8	0.0	0.3	20,1-30	2	4	6	4	2	18
9	0.0	0.0	1.3	0.2	0.0	30,1-40	1	1	4	2	1	9
10	0.0	0.0	3.9	0.6	0.0	40,1-50	0	0	1	1	0	2
11	0.0	0.2	35.4	22.8	0.0	50,1-60	0	0	1	0	0	1
12	0.0	9.0	0.1	36.7	6.0	60,1-70	0	0	0	0	0	0
13	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	70,1-80	0	0	0	0	0	0
14	4.6	0.0	14.1	0.0	12.3	80,1-100	0	1	0	0	0	1
15	22.4	0.0	0.1	5.7	0.3	100,1-150	0	0	0	0	0	0
16	0.1	24.5	36.8	0.0	0.0	TOTAL	16	20	28	19	17	100
17	0.0	19.4	7.8	33.3	0.0	RESUMO						Temp. 76-77
18	0.0	0.0	19.6	1.2	0.0	MES	TOTAL	Máxima	Dias de chuva			
19	0.0	0.0	21.1	0.0	0.0	Novembro	154.9	31.7	16			
20	11.9	0.0	45.6	0.0	0.0	Dezembro	279.1	84.0	20			
21	7.0	0.0	8.9	0.0	1.6	Janeiro	494.2	51.1	28			
22	1.8	0.0	1.8	4.7	0.0	Fevereiro	264.7	43.0	19			
23	1.1	0.0	19.6	7.8	1.0	Março	151.0	35.4	17			
24	31.7	1.0	8.3	22.5	3.7	Temporada	1343.9	84.0	100			
25	2.7	2.4	20.8	6.1	13.3	Maior acumulado:						84.0 07-dec
26	14.0	1.5	51.1	0.0	21.5	Total mensal máximo						494.2 Jan
27	15.6	33.6	1.4	0.0	14.5	Total mensal mínimo						151.0 Mar
28	13.7	21.3	26.9	27.6	2.3	* OBS:						
29	5.9	4.5	11.1		27.2	☐ Ocorrência de alagamento/inundação						
30	0.0	2.7	0.0		1.3	☐ Evento com danos severos						
31		3.6	22.8		0.0							

Com exceção do mês de Janeiro, nesta temporada chuvosa a estação Aricanduva Foz não registrou, nos totais mensais, grandes desvios das normais. No entanto, este mês de exceção registrou total mensal elevado e chuva e quase todos os dias, o que significou configuração de sequências ininterruptas de dias com chuvas totalizando altos totais acumulados. Além disso, é notável o grande número de dias com qualquer precipitação registrada, dois entre cada três dias desta temporada. Destaca-se ainda o grande número de dias com volume de precipitação entre 20,1 e 30 mm.

Quadro 18: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Itaquera, DAEE.

Temp 09-10 Prec Diária (mm) Itaquera						QUANTIS		
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo	Muito alto	Alto
1	0.0	30.3	26.4	31.2	10.0	0.99	0.95	0.85
2	0.0	4.4	18.6	0.0	0.0	71.10	31.08	17.40
3	0.0	34.1	1.0	57.0	2.0	CLASSES		
4	0.0	5.0	6.4	35.0	0.0	nov	dez	jan
5	0.0	3.7	34.0	0.0	0.0	0,1-1	1	0
6	0.0	0.0	8.3	6.2	19.0	1,1-5	3	6
7	0.0	1.4	6.8	0.0	0.0	5,1-10	2	4
8	2.4	105.4	17.5	0.0	0.0	10,1-20	4	2
9	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	20,1-30	2	1
10	0.5	0.0	0.0	1.3	0.0	30,1-40	1	3
11	0.0	0.0	4.1	2.8	0.0	40,1-50	1	0
12	0.0	8.1	13.0	0.0	0.0	50,1-60	0	0
13	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	60,1-70	0	0
14	0.0	0.0	1.5	0.0	4.4	70,1-80	0	0
15	8.9	0.0	4.4	0.0	0.0	80,1-100	0	0
16	18.3	6.8	4.5	0.0	0.0	100,1-150	0	1
17	0.0	30.0	5.5	17.5	0.0	TOTAL	14	17
18	0.0	0.0	20.6	6.5	0.0	RESUMO Temp. 09-10		
19	0.0	0.0	10.4	0.0	17.4	MES	TOTAL	Máxima
20	40.4	0.0	1.4	0.0	31.0	Novembro	202.6	40.4
21	16.0	0.0	85.2	0.0	9.0	Dezembro	321.3	105.4
22	5.1	0.0	4.3	0.0	0.0	Janeiro	359.9	85.2
23	0.0	0.0	5.0	17.4	0.0	Fevereiro	200.3	57.0
24	31.3	0.0	14.5	7.2	0.0	Março	172.0	31.0
25	3.2	38.0	21.4	13.2	21.2	Temporada	1256.1	105.4
26	24.0	9.3	11.5	0.0	17.0	Dias de chuva		
27	12.3	15.0	6.0	0.0	12.0	Maior acumulado: 105.4 19-janv		
28	3.1	1.5	6.2	5.0	0.0	Total mensal máximo 359.9 Jan		
29	23.2	17.8	12.4		29.0	Total mensal mínimo 172.0 Fev		
30	0.0	4.3	0.0		0	* OBS: Hora de coleta dos dados: 12h GMT		
31		0.0	9.0		0	<div> <div></div>Ocorrência de alagamento/inundação </div> <div> <div></div>Evento com danos severos </div>		

No resumo de precipitação desta estação notamos a concentração de dia com total acumulado superior a 10 mm (40 de 81). O total acumulado no dia 08/12 representa o maior valor diário registrado entre todas as estações trabalhadas para este período, caracterizando um evento extremo. Quanto a isso, é interessante notar que a classificação de quantis dos valores diários desta estação coincide com os dias que tiveram constatação de episódios com danos severos, sendo todos classificados ao menos como “chuvosos” para esta temporada.

Quadro 19: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Guaio, DAEE.

Temp 09-10						QUANTIS						
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo	Muito alto	Alto				
1	0.0	0.0	1.9	8.0	17.0	0.99	0.95	0.85				
2	0.0	18.5	33.8	18.8	7.0	51.95	41.85	23.40				
3	0.0	12.4	2.3	0.0	0.3	CLASSES	nov	dez	jan	fev	mar	TOT
4	0.0	43.1	0.0	32.0	1.9	0,1-1	3	4	1	1	4	13
5	0.0	5.2	2.4	1.6	0.0	1,1-5	1	7	5	4	4	21
6	16.1	1.1	26.3	0.0	0.1	5,1-10	3	4	5	5	4	21
7	0.0	3.7	0.1	8.6	22.9	10,1-20	3	5	5	2	3	18
8	0.0	92.0	32.0	6.0	0.0	20,1-30	2	0	2	0	2	6
9	28.0	12.0	9.0	0.0	0.0	30,1-40	1	0	4	4	0	9
10	0.0	0.0	8.0	6.0	0.0	40,1-50	1	1	4	1	0	7
11	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	50,1-60	0	0	0	0	1	1
12	0.0	4.0	48.0	2.0	0.0	60,1-70	0	0	0	0	0	0
13	0.0	13.0	33.0	0.0	16.0	70,1-80	0	0	0	0	0	0
14	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	80,1-100	0	1	0	0	0	1
15	0.1	0.0	7.0	0.0	3.1	100,1-150	0	0	0	0	0	0
16	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	TOTAL	14	22	26	17	18	97
17	0.6	0.8	40.7	0.0	0.0	RESUMO Temp. 09-10						
18	0.0	8.5	5.0	32.2	0.0	MES	TOTAL	Máxima	Dias de chuva			
19	0.0	0.5	11.8	1.6	0.0	Novembro	216.8	48.6	14			
20	0.2	0.0	15.0	0.9	0.0	Dezembro	259.8	92.0	22			
21	0.0	0.0	39.9	14.9	9.5	Janeiro	493.5	50.0	26			
22	9.4	0.0	15.9	0.0	0.0	Fevereiro	246.7	42.0	17			
23	1.3	0.0	2.4	42.0	7.4	Março	195.2	53.9	18			
24	0.0	0.0	23.4	31.2	7.7	Temporada	1412.0	92.0	97			
25	13.9	0.1	13.5	33.4	0.1	Maior acumulado:			92.0	08-dec		
26	15.1	1.6	14.6	5.5	13.6	Total mensal máximo:			493.5	Jan		
27	48.6	9.7	50.0	0.0	28.3	Total mensal mínimo			195.2	Mar		
28	38.8	16.8	41.8	0.0	4.2	* OBS: Hora de coleta dos dados: 12h GMT						
29	8.4	4.1	9.9		1.3	<div><div></div>Ocorrência de alagamento/inundação</div>						
30	8.2	8.7	5.8		53.9	<div><div></div>Evento com danos severos</div>						
31		1.9	0.0		0.9							

A estação Guaio (localizada no município de Suzano), registrou em todos os meses da temporada chuvosa 2009-10 totais mensais superiores às normais climatológicas. Chamam atenção algumas sequências chuvosas, como entre 2 e 9 de dezembro que inclui um dia extremamente chuvoso e um muito chuvoso, totalizando 72,3% das chuvas de todo o mês. Outra sequência destacável foi registrada entre os dias 23 e 25 de fevereiro, acumulando 105,6mm em apenas três dias. O maior destaque por concentração de chuvas é do mês de janeiro, com elevado total mensal, registrou também 7 dias classificados como chuvosos e 2 outros muito chuvosos.

Quadro 20: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Vila Formosa, CGESP.

Temp 09-10 Prec Diária (mm) VI Formosa						QUANTIS						
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo	Muito alto	Alto				
1	0.0	68.0	12.4	7.0	13.5	0.99	0.95	0.85				
2	0.0	11.0	18.4	21.5	0.0	66.95	39.38	24.20				
3	0.0	32.5	0.0	46.0	2.0	CLASSES	nov	dez	jan	fev	mar	TOT
4	0.0	23.5	36.0	25.4	0.0	0,1-1	2	0	0	0	1	3
5	0.0	2.9	80.5	0.0	0.0	1,1-5	3	5	7	2	1	18
6	0.0	0.0	1.2	14.5	35.0	5,1-10	1	2	2	3	2	10
7	0.0	6.0	3.6	0.0	0.0	10,1-20	4	3	5	3	6	21
8	2.8	65.9	20.0	0.0	0.0	20,1-30	4	2	2	2	2	12
9	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30,1-40	0	2	4	2	2	10
10	0.0	0.0	9.0	1.8	0.0	40,1-50	0	0	3	2	0	5
11	0.0	0.0	47.0	32.0	0.0	50,1-60	0	0	0	0	0	0
12	0.0	8.9	0.0	7.8	6.0	60,1-70	0	2	1	0	0	3
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70,1-80	0	0	0	0	0	0
14	0.0	0.0	8.0	0.0	22.2	80,1-100	0	0	1	0	0	1
15	12.4	0.0	4.1	0.0	6.0	100,1-150	0	0	0	0	0	0
16	2.7	19.4	36.0	0.0	0.0	TOTAL	14	16	25	14	14	83
17	0.0	34.5	65.8	12.0	0.0	RESUMO Temp. 09-10						
18	0.0	0.0	47.1	9.5	0.0	MES	TOTAL	Máxima	Dias de chuva			
19	0.0	0.0	26.0	0.0	11.0	Novembro	156.1	26.0	14			
20	26.0	0.0	3.5	0.0	11.4	Dezembro	330.9	68.0	16			
21	14.0	0.0	47.5	0.0	1.0	Janeiro	609.6	80.5	25			
22	0.5	0.0	4.0	2.5	0.0	Fevereiro	272.8	46.0	14			
23	0.1	0.0	1.9	42.0	14.0	Março	217.9	35.0	14			
24	24.2	3.0	15.0	0.0	0.0	Temporada	1587.3	80.5	83			
25	2.3	0.0	17.5	37.3	17.0	Maior acumulado: 80.5 08-dec						
26	12.0	2.4	38.5	0.0	28.8	Total mensal máximo: 609.6 Jan						
27	21.0	30.0	0.0	0.0	17.0	Total mensal mínimo: 156.1 Nov						
28	5.3	2.0	35.0	13.5	0.0	* OBS: Hora de coleta dos dados: 12h GMT						
29	10.8	17.0	2.6		33.0	<div>☐ Ocorrência de alagamento/inundação</div>						
30	0.0	3.9	0.0		0.0	<div>☐ Evento com danos severos</div>						
31		0.0	29.0		0.0							

Observando-se o resumo de precipitação da estação de Vila Formosa, o que mais chama atenção é o elevado numero de dias com chuva de total superior a 10 mm (52 de 83), dos quais 31 registraram totais superiores a 20 mm. O mês de janeiro nesta estação apresenta o maior total mensal registrado entre todas as séries analisadas. Como estação localizada no setor intermediário da bacia, com exceção do dia 20/01, notamos que todos os dias com constatação de episódios com danos severos coincidem com dias classificados pelos percentis de cauda superior. No entanto, neste caso de exceção podemos notar que constituiu o ultimo dia de uma sequencia de cinco dias com chuvas, que totalizaram 141,3 mm.

Quadro 21: Resumo de precipitação da temporada chuvosa 09-10. Dados: estação Vila Prudente, CGESP.

Temp 09-10 Prec Diária (mm) VI Prudente						QUANTIS						
dia	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Extremo	Muito alto	Alto				
1	0.0	5.0	22.0	21.0	24.3	0.99	0.95	0.85				
2	0.0	16.0	19.8	26.6	0.0	64.10	36.50	18.30				
3	0.0	27.0	0.0	55.0	2.7	CLASSES	nov	dez	jan	fev	mar	TOT
4	0.0	8.5	20.0	16.5	0.0	0,1-1	1	1	1	0	1	4
5	2.2	0.0	22.0	0.0	0.0	1,1-5	2	3	2	0	6	13
6	0.0	0.0	2.0	43.8	24.0	5,1-10	4	3	4	2	1	14
7	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	10,1-20	4	4	9	2	0	19
8	7.0	86.0	15.2	0.0	0.0	20,1-30	1	3	4	4	3	15
9	13.0	0.4	11.0	0.0	0.0	30,1-40	0	0	1	1	1	3
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40,1-50	0	1	2	2	0	5
11	0.0	2.0	19.2	31.4	0.0	50,1-60	0	0	0	1	0	1
12	0.0	18.2	28.2	42.2	0.0	60,1-70	0	0	0	0	0	0
13	0.0	41.0	0.0	0.0	0.0	70,1-80	0	0	1	0	0	1
14	0.0	0.0	5.3	0.0	3.0	80,1-100	0	1	0	0	0	1
15	0.2	0.0	3.0	0.0	4.0	100,1-150	0	0	0	0	0	0
16	13.2	0.0	16.0	0.0	0.0	TOTAL	12	16	24	12	12	76
17	0.0	18.0	7.1	23.8	0.0	RESUMO Temp. 09-10						
18	0.0	0.0	46.0	7.0	0.0	MES	TOTAL	Máxima	Dias de chuva			
19	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	Novembro	120.9	30.0	12			
20	12.0	0.0	0.0	0.0	3.5	Dezembro	303.2	86.0	16			
21	3.8	0.0	73.2	0.0	3.0	Janeiro	472.3	73.2	24			
22	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	Fevereiro	308.7	55.0	12			
23	0.0	0.0	14.3	0.0	0.0	Março	137.7	35.0	12			
24	30.0	0.0	23.3	0.0	0.0	Temporada	1342.8	86.0	76			
25	7.0	0.0	16.0	22.1	35.0	Maior acumulado: 86.0 08-déc						
26	10.0	5.3	42.0	0.0	10.0	Total mensal máximo: 472.3 Jan						
27	7.0	22.0	1.0	0.0	2.0	Total mensal mínimo 120.9 Nov						
28	0.0	18.3	32.6	10.3	1.0	* OBS: Hora de coleta dos dados: 12h GMT						
29	15.5	3.3	14.0		25.2							
30	0.0	7.2	0.0		0.0							
31		0.0	9.6		0.0							

Ocorrência de alagamento/inundação

Evento com danos severos

O resumo dos dados de precipitação da estação de Vila Prudente, por sua vez, apresenta como destacável o fato de ter a única série onde a classificação por quantis de dias extremamente chuvosos coincide com ocorrências de episódios com danos severos. Também deve ser atentado que 45 dos 76 dias com qualquer precipitação registrada tiveram total acumulado superior a 10 mm.

Um resultado a ser observado nos quadros de resumo dos dados destas estações é que, em todas as séries analisadas, quando comparadas as temporadas de 1976-77 e 2009-10, houve diminuição na proporção de dias com chuvas de intensidade inferior a 5mm/24h e aumento na proporção de chuvas com totais superiores a 30mm diários. Embora não tenha sido desenvolvida análise estatística suficiente para conclusões definitivas, o observado vai de encontro aos resultados de pesquisas recentes sobre mudanças na intensidade das chuvas na cidade de São Paulo, que apontam tendência negativa para chuvas de baixa intensidade e grande tendência positiva à ocorrência de chuvas com alta intensidade (SILVA DIAS, 2013).

6.2. Levantamento de notícias.

O levantamento de notícias em busca de confirmação de ocorrências de inundações e alagamentos, nas temporadas identificadas como as mais interessantes pela análise pluviométrica, resultou em uma compilação de informações com os mais variados níveis de completude. A fim de padronizá-las, facilitando o registro e posterior leitura, bem como a fim de possibilitar a leitura em conjunto aos dados de precipitação, estas informações foram formatadas de acordo com os **quadros 22 e 23**. Os polígonos de áreas inundadas foram traçados levando em consideração as informações presentes nas notícias a respeito das áreas afetadas, os limites do compartimento de planícies fluviais da Carta Geotécnica. Também foi observada a elevação do ponto mais alto reportado como atingido no episódio, o que serviu de critério para extrapolação espacial da mancha de inundação a todas as áreas mais baixas adjacentes. Tais limites foram mantidos para comparação com as informações referentes aos limites de planície de inundação e terraços obtidas pela restituição, e o resultado de sua representação pode ser observado nas figuras **18 e 19**.

Figura 18: Áreas inundadas durante os episódios levantados para a temporada chuvosa 1976-77.

Quadro 22: Ocorrências de inundações e alagamentos na BHA durante a temporada chuvosa 1976-77. Em destaque, episódios com perdas severas, sublinhado: estações com coleta 12h GMT, I = inundação. Fontes: Estado de S. Paulo, Folha de S. Paulo, DAEE, EMAE.

Dia	Episódio	Início	Fim	Duração	Local*	Sentido	Referência	Precipitação (mm)			Posto	Obs.:
								24h	48h	72h		
26/11/1976	I1	14:00	-	-	Baixo Aricanduva	Rua Montserrat		43.5	43.5	43.5	Foz Aricanduva <u>Itaquera</u> <u>Jd Centenário</u> Rodolfo Pirani Vila Ema	Fatalidades, feridos e grandes perdas materiais
								2.6	2.6	2.6		
								0.0	0.0	0.0		
						Rua Recife		31.2	31.2	31.2		
								21.2	21.2	21.2		
18/01/1977	I3	20:00	-	-	Áreas marginais do Aricanduva	Vila Carrão		98.0	98.0	116.0	Foz Aricanduva <u>Itaquera</u> <u>Jd Centenário</u> Rodolfo Pirani Vila Ema	Perdas materiais e transtornos ao trânsito
								0.5	30.0	38.0		
								0.8	13.7	36.5		
								113.0	114.4	127.0		
								98.4	100.0	101.6		
19/01/1977	I4	01:00	-	-	Áreas marginais do Aricanduva	Vila Aricanduva, Vila Carrão Vila Manchester, Parque Maria Luiza		10.0	108.0	108.0	Foz Aricanduva <u>Itaquera</u> <u>Jd Centenário</u> Rodolfo Pirani Vila Ema	Grandes perdas materiais, dezenas de desabrigados interdição de vias
								96.6	97.1	126.6		
								101.0	101.8	114.7		
								9.0	122.0	123.4		
								5.4	103.8	105.4		

Deve ser destacado entre as informações obtidas sobre as inundações da temporada 1976-77 que todas estas foram registradas no setor de menores altitudes da bacia, presumivelmente, por esta ser a área mais densamente ocupada à época. Ocupações mais distantes não possuíam grandes concentrações, de modo que se lá houve incidentes, estes não foram noticiados. Com exceção do episódio I1, todos os demais foram registrados em áreas que correspondem à planície de inundação do Aricanduva. Com os horários informados para a ocorrência das inundações I3 e I4, assim como com as informações de precipitação acumulada nos períodos próximos a estes episódios, podemos conjecturar que ambos estão relacionados a um mesmo evento de chuva extrema, concentrado entre as primeiras horas da noite do dia 18 e madrugada do dia 19.

Figura 19: Áreas inundadas e alagadas durante os episódios levantados para a temporada chuvosa 2009-2010.

Quadro 23: Resumo de ocorrências de inundações e alagamentos na BHA durante a temporada chuvosa 2009-10. Em destaque, episódios com perdas severas, sublinhado: estações com coleta 12h GMT, I = inundação, A = alagamento. Fontes: Estado de S. Paulo, Folha de S. Paulo, Gazeta de São Matheus, DAEE, EMAE, CGESP.

Dia	Episódio	Início	Fim	Duração	Local	Sentido	Referência	Precipitação (mm)			Posto	Obs.:
								24h	48h	72h		
01/12/2009	A1	11:17	12:05	0:48	Av. Aricanduva	Marg/IQ	Av. Itaquera	0.4	0.4	6.3	Foz Aricanduva	Grandes perdas materiais e dezenas de desabrigados
	A2	11:29	12:05	0:36	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Manilha	30.3	30.3	53.5	<u>Itaquera</u>	
	A3	11:32	12:18	0:46	Av. Aricanduva	Ambos	Nº 2595	68.0	68.0	78.8	VI Formosa	
	A4	12:09	12:34	0:25	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Tumucumaque	5.0	5.0	20.5	VI Prudente	
	A5	14:13	15:33	1:20	Av. Ragueb Chohfi	C/B	Nº 5359	0.0	8.2	16.6	<u>Guaio</u>	
	I5	Nada informado			São Mateus	Favela São João						
	I6	Nada informado			Jd Iguatemi	Avenida Caboré						
02/12/2009	A6	15:20	18:00	2:40	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Ganges	25.0	25.4	25.4	Foz Aricanduva	
								4.4	34.7	34.7	<u>Itaquera</u>	
								11.0	79.0	79.0	VI Formosa	
								16.0	21.0	21.0	VI Prudente	
								18.5	18.5	26.7	<u>Guaio</u>	
03/12/2009	A7	6:32	7:44	1:12	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Baquia	14.6	39.6	40.0	Foz Aricanduva	Fatalidades e fechamento de vias
								34.1	38.9	69.2	<u>Itaquera</u>	
								32.5	43.5	111.5	VI Formosa	
								27.0	44.0	49.0	VI Prudente	
								12.4	30.9	30.9	<u>Guaio</u>	
08/12/2009	A8	6:47	7:27	0:40	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Manilha	20.5	105	104.5	Foz Aricanduva	Grandes transtornos ao trânsito: 27 pontos de alagamento na Zona Leste 128 em SP.
	A9	6:51	10:52	4:01	Av. Airton Pretini	C/B	Pte Aricanduva	105.4	107	106.8	<u>Itaquera</u>	
	I7	Nada informado			Distritos Aricanduva e Sapopemba	Av. Aguiar da Beira		65.9	71.9	71.9	VI Formosa	
								86.0	111.0	111.0	VI Prudente	
								92.0	95.7	96.8	<u>Guaio</u>	

Continuação **Quadro 23.**

12/12/2009	A10	15:13 18:17 3:04	Av. Conde de Frontin	C/B	Vd. Dona Matilde	9.0	9.2	9.2	Foz Aricanduva	
						8.1	8.1	8.1	<u>Itaquera</u>	
						8.9	8.9	8.9	VI Formosa	
						18.2	20.2	20.2	VI Prudente	
						4.0	5.0	5.0	<u>Guaio</u>	
16/12/2009	A11	16:59 17:42 0:43	Av. Radial Leste-Oeste	B/C	R. Joaquim Marra	24.5	24.5	24.5	Foz Aricanduva	
						6.8	6.8	6.8	<u>Itaquera</u>	
						19.4	19.4	19.4	VI Formosa	
						0.0	0.0	0.0	VI Prudente	
						0.0	0.0	1.1	<u>Guaio</u>	
25/12/2009	A12	20:19 21:23 1:04	Av. Antônio E. de Carvalho	C/B	Pç Divinolândia	2.4	3.4	3.4	Foz Aricanduva	
						38.0	38.0	38.0	<u>Itaquera</u>	
						0.0	3.0	3.0	VI Formosa	
						0.0	0.0	0.0	VI Prudente	
						0.1	0.1	0.1	<u>Guaio</u>	
28/12/2009	A13	7:49 - -	Pte Aricanduva	C/B	Alça Marginal	21.3	54.9	56.4	Foz Aricanduva	
						1.5	16.5	25.8	<u>Itaquera</u>	
						2.0	32.0	34.2	VI Formosa	
						18.3	40.3	45.6	VI Prudente	
						16.8	26.5	28.1	<u>Guaio</u>	
02/01/2010	A14	18:00 18:40 0:40	Av. Aricanduva	IQ/Marg	R. Baquia	19.7	41.7	45.3	Foz Aricanduva	
						18.6	45.0	45.0	<u>Itaquera</u>	
						18.4	30.8	30.8	VI Formosa	
						19.8	41.8	41.8	VI Prudente	
						2.3	36.1	38.0	<u>Guaio</u>	
04/01/2010	A15	16:21 23:59 7:38	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Baquia	30.4	30.4	50.1	Foz Aricanduva	
						6.4	7.4	26.0	<u>Itaquera</u>	
						36.0	36.0	54.6	VI Formosa	
						20.0	20.0	39.8	VI Prudente	
						0.0	2.3	36.1	<u>Guaio</u>	

Continuação **Quadro 23.**

05/01/2010	A16	19:21	20:27	1:06	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Baquia	32.6	63.0	63.0	Foz Aricanduva	
	A17	19:23	19:57	0:34	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Tumucumaque	34.0	40.6	41.6	<u>Itaquera</u>	
								80.5	116.5	116.5	Vl Formosa	
								22.0	42.0	42.0	Vl Prudente	
								2.4	2.4	4.7	<u>Guaio</u>	
06/01/2010	A18	6:50	20:12	13:22	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Baquia	2.6	35.2	65.6	Foz Aricanduva	
								8.3	42.3	43.3	<u>Itaquera</u>	
								1.2	81.7	117.7	Vl Formosa	
								2.0	24.0	44.0	Vl Prudente	
								26.3	28.7	28.7	<u>Guaio</u>	
07/01/2010	A19	18:10	-	-	Av. Ragueb Chohfi	Ambos	R. Folclore Inf.	3.6	6.2	38.8	Foz Aricanduva	
	A20	18:10	-	-	R. Folclore Infantil	Ambos	Toda extensão	6.8	15.1	49.1	<u>Itaquera</u>	
								3.6	4.8	85.3	Vl Formosa	Vias intransitáveis
								0.0	2.0	24.0	Vl Prudente	
								0.1	26.4	28.8	<u>Guaio</u>	
08/01/2010	I8	Nada informado			Sapopemba	Jardim Santo André, Avenida Sapopemba		24.8	28.4	34.6	Foz Aricanduva	
								17.5	24.3	39.4	<u>Itaquera</u>	
								20.0	23.6	24.8	Vl Formosa	Grandes perdas materiais
								15.2	15.2	17.2	Vl Prudente	
								32.0	32.1	58.4	<u>Guaio</u>	
11/01/2010	A21	19:34	20:38	1:04	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Julio Colaço	35.4	39.3	40.6	Foz Aricanduva	
	A22	19:46	-	-	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Tumucumaque	4.1	4.1	4.1	<u>Itaquera</u>	
	A23	19:57	20:36	0:39	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Baquia	47.0	56.0	56.0	Vl Formosa	Vias intransitáveis
								19.2	19.2	30.2	Vl Prudente	
								0.0	8.0	17.0	<u>Guaio</u>	

Continuação **Quadro 23.**

16/01/2010	A24	19:49	20:30	0:41	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Manilha	36.8	36.9	51.0	Foz Aricanduva	Vias intransitáveis
	A25	19:55	20:30	0:35	Av. Aricanduva	Marg/IQ	Av. Itaquera	4.5	8.9	10.4	<u>Itaquera</u>	
								36.0	40.1	48.1	VI Formosa	
								16.0	19.0	24.3	VI Prudente	
								0.0	7.0	7.0	<u>Guaio</u>	
18/01/2010	A26	9:19	-	-	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Baquia	19.6	27.4	64.2	Foz Aricanduva	
								20.6	26.1	30.6	<u>Itaquera</u>	
								47.1	113	148.9	VI Formosa	
								46.0	53.1	69.1	VI Prudente	
								5.0	45.7	45.7	<u>Guaio</u>	
21/01/2010	A27	3:28	5:21	1:53	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Tumucumaque	8.9	54.5	75.6	Foz Aricanduva	Danos materiais aos moradores da região, grandes transtornos ao trânsito: 17 pontos na ZL, 109 em SP
	A28	4:41	5:38	0:57	R. Tamaindé	Ambos	R. Moravia	85.2	86.6	97.0	<u>Itaquera</u>	
	A29	4:45	5:39	0:54	R. Baquia	B/C	R. Tamaindé	47.5	51.0	77.0	VI Formosa	
	A30	4:48	5:39	0:51	R. Ganges	Ambos	R. Manilha	73.2	73.2	82.7	VI Prudente	
	A31	4:51	5:40	0:49	Av. Aricanduva	Ambos	R. Ganges	39.9	54.9	66.7	<u>Guaio</u>	
	I9	Nada informado			Proximidades do Aricanduva	Não especificado						
26/01/2010	A32	16:47	16:48	0:01	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Manilha	51.1	71.9	80.2	Foz Aricanduva	
	A33	17:01	17:54	0:53	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Julio Colaco	11.5	22.9	37.4	<u>Itaquera</u>	
	A34	17:18	17:54	0:36	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Baquia	38.5	56.0	71.0	VI Formosa	
	A35	17:22	17:53	0:31	Av. Aricanduva	Marg/IQ	R. Ganges	42.0	58.0	81.3	VI Prudente	
	A36	16:11	17:37	1:26	Av. Cd. De Frontin	Ambos	R. Joaquim Marra	14.6	28.1	51.5	<u>Guaio</u>	
31/01/2010	A37	16:48	18:31	1:43	Rua Pinhalzinho	C/B	Nº 41	22.8	22.8	33.9	Foz Aricanduva	Vias intransitáveis
								9.0	9.0	21.4	<u>Itaquera</u>	
								29.0	29.0	31.6	VI Formosa	
								9.6	9.6	13.6	VI Prudente	
								0.0	5.8	15.7	<u>Guaio</u>	

Continuação **Quadro 23.**

03/02/2010	A38	18:47 21:45 2:58	Av. Aricanduva	Marg/IQ R. Baquia	43.0	49.2	64.7	Foz Aricanduva	
	A39	18:53 20:35 1:42	Av. Aricanduva	Marg/IQ Av. Itaquera	57.0	57.0	86.2	<u>Itaquera</u>	
					46.0	67.5	74.5	VI Formosa	
					55.0	81.6	102.6	VI Prudente	
					0.0	18.8	26.8	<u>Guaio</u>	
04/02/2010	A40	17:27 18:43 1:16	Av. Aricanduva	Ambos Av. Itaquera	20.2	63.2	84.9	Foz Aricanduva	Perdas materiais e danos estruturais; Transtornos aos trânsito com vias intransitáveis.
	A41	17:32 18:42 1:10	Av. Aricanduva	Ambos R. Tumucumaque	35.0	92.0	92.0	<u>Itaquera</u>	
	I10	Nada informado	Proximidades do Aricanduva Vila Carrão	Setor de canalização subterrânea do Aricanduva, Rua Ganges	25.4	71.4	92.9	VI Formosa	
					16.5	71.5	98.1	VI Prudente	
					32.0	32.0	50.8	<u>Guaio</u>	

Dado o maior número de fontes de informação disponíveis para realização do levantamento, esperava-se, como de fato foi constatado, um número de ocorrências muito superior para a temporada chuvosa de 2009-10. No total, foram confirmadas as ocorrências de 41 alagamentos, além de 10 casos de inundações que caracterizaram enchentes, e em ao menos sete dias o conjunto de episódios impactantes resultou em perdas econômicas e sociais, suficientes para se destacarem e serem classificados como episódios com danos severos. O horário de início dos alagamentos concentrou-se entre as 16 e 20 horas (31 dos 41 casos), justamente horário em que há, historicamente, maior incidência de chuvas na cidade de São Paulo. Os alagamentos tiveram duração média de 1 hora e 37 minutos, mas com grande variação, de 1 minuto (A32, que se acredita poder ser um erro na informação) ou 25 minutos (A4) até mais de 13 horas (A18), justamente no local mais frequentemente alagado (Avenida Aricanduva na altura da rua Baquia), alagado nove vezes no período.

Quanto às enchentes, em uma rápida comparação com o resumo de ocorrências da temporada 1976-77, podemos notar áreas impactadas nos setores de cabeceiras da bacia, que não tiveram registros de inundações anteriormente. Tratam-se de áreas de ocupação recente e reconhecidamente precária, realizada por população socialmente vulnerável nas margens de cursos tributários do Aricanduva, como, por exemplo, a favela São João em São Matheus e Jd. Santo André, em Sapopemba. Nota-se ainda que nos dias de ocorrência dos episódios que impactaram localidades destas características (I5, I6, I7 e I8), houve danos severos. Há também reincidência de enchentes em um mesmo local no setor da baixa bacia entre os dois períodos analisados. Trata-se da área onde foram registradas as inundações I3, I4 e I10, episódios com danos severos, onde também foram reportados mais da metade do total de alagamentos, totalizando 21. Este trecho limitado lateralmente pela planície fluvial do Aricanduva e em extensão entre a avenida Itaquera e a rua Tumucumaque, coincide justamente com um trecho de considerável estrangulamento do canal artificial do Rio Aricanduva. Isto pode ser verificado a partir do perfil que representa a capacidade de calha da canalização do rio Aricanduva (**Figura 20**), produzida através de 36 medidas de seção transversal ao longo da extensão do curso, pelo DAEE no PDMAT 3 (2012). O trecho corresponde a locais onde há redução da capacidade do canal com relação ao setor imediatamente à montante. Tal constatação, associada aos limites da planície de inundação, serve de explicação à maior parte das reincidentes inundações e alagamentos nesta localidade em específico, muitas ocorridas mesmo quando não houve precipitação intensa registrada na área da bacia.

Figura 20: Perfis de linhas d'água no rio Aricanduva para avaliação das capacidades de calha e nível correspondente por vazão. Fonte: DAEE, 2012.

“O rio Aricanduva foi simulado para vazões de 50, 100, 150 e 200 m³/s. A figura apresenta o perfil de fundo, os limites de escoamento (margem esquerda e direita), além dos níveis d'água para cada uma das vazões simuladas. O modelo se inicia logo a jusante do piscinão Aricanduva III (seção 36) e termina na foz do curso d'água no rio Tietê (seção 0).” (DAEE, 2012)

6.3. Modelo espacial.

O modelo que buscou sistematizar o conjunto de informações espaciais mais relevantes para o balanço escoamento/infiltração sobre a superfície da bacia do rio Aricanduva fundamentou-se na proposta de carta de tendências hidrodinâmicas presente na Complementação do Mapa Hidrográfico do Município de São Paulo (FCTH, 2015). Primeiramente, foi necessário compartimentar os diferentes tipos de classes de rochas e sedimentos presentes na Carta Geotécnica do Município de São Paulo (IPT, 2004) em grupos litológicos, de acordo com a maior capacidade destes materiais gerarem escoamento.

Figura 21: Área da BHA na carta geotécnica do município de São Paulo. Org: SIMAS, 2017. Fonte: IPT, 2004.

Figura 22: BHA na carta geotécnica do município de São Paulo reclassificada.

Nota-se que, após a reclassificação, a BHA apresenta compartimentos dos três grupos litológicos, o que era já era hipotetizado em testes pretéritos, constituindo um dos critérios para sua seleção como área de estudo. Notam-se distribuídos em diversos setores da bacia os sedimentos terciários, ao mesmo tempo que se destacam áreas com sedimentos quaternários até os setores de cabeceiras da bacia e a predominância do compartimento de rochas do embasamento cristalino na alta bacia e à margem direita do curso principal. Uma vez que objetiva compor um modelo espacial, que não parte da proposta da antropogeomorfologia mas emprega alguns de seus indicadores, esta carta reclassificada trata de uma generalização das características dos materiais superficiais encontrados na área. A fim de averiguar a correspondência dessas inferências sobre a cobertura, a checagem em campo sobre duas das áreas mais preservadas da média bacia foi realizada, resultando na confirmação de que a generalização desenvolvida com base nas classes de “grupos hidrológicos de solo” do NRCS (1986) foi acertada, para o cenário original. Isto, deve-se destacar, quanto à hierarquização da tendência (maior/menor) dos grupos de solos inferidos para cada grupo litológico (da geotécnica reclassificada) gerarem escoamento, com uma condição fixa de chuvas antecedentes.

Figura 23: Primeira localidade escolhida para checagem de litologia em campo. Base: Google Maps.

Figura 24: Checagens da classificação litológica na região da Vila Formosa. Fotos do autor.

A primeira localidade de checagem foi escolhida justamente por conter, na carta geotécnica reclassificada, presença das três classes de litologia definidas. Foram encontradas evidências que permitiram confirmar a presença de solos muito rasos e afloramentos rochosos (imagem 1 da **Figura 24**) ou cobertura por material alterado de rochas do embasamento cristalino (imagem 2 da **Figura 24**) em superfície nas áreas apontadas do grupo “Embasamento Pré-Cambriano”. As características observadas do material de alteração, predominantemente argiloso, são condizentes com o que é originado a partir de micaxistos derivados do metamorfismo de rochas pelíticas (BIGARELLA, 2009). Enquanto isso, com observação feita próxima à área de topo, indicada como pertencente ao grupo “Sedimentos Terciários”, foi identificou-se pacote homogêneo e profundo de solo notavelmente arenoso, ou seja, também condizente com as características inferidas para a generalização. A segunda localidade para checagem das informações inferidas a partir da carta geotécnica reclassificada foi o Parque do Carmo, tomando-se o cuidado de escolher pontos de observação que estivessem em setores de base de vertente e topos de áreas igualmente classificadas como do grupo litológico “Embasamento Pré-Cambriano”. O levantamento realizado nesta localidade foi crucial para estabelecer uma diferenciação que não é presente na Carta Geotécnica original. Nos setores de topo foram evidenciados pacotes maciços e bem desenvolvido de material siltico-argiloso (imagem 2 da **Figura 26**), muito levemente mais arenoso conforme acompanhado em direção aos setores de base da vertente (imagem 1 da **Figura 26**). No terceiro ponto de observação então foi encontrado perfil com aproximadamente quatro metros de altura onde, só então, foi possível identificar o horizonte de alteração, no qual foi evidenciado material originário de xisto micaceo (imagem 3 da **Figura 26**). Chegou-se a esta conclusão dadas as características de predominância de silte e argila nas camadas superior associadas à presença de minerais com clara clivagem laminar, típico em micaxistos (LEINZ e AMARAL, 1980).

Com estas checagens em campo, e considerada a hierarquização proposta para grupos de solos de acordo com suas tendências no balanço escoamento/infiltração, os materiais diferenciados no segundo local de checagem encontram-se hierarquicamente mais próximos daqueles inferidos para todos os demais locais do grupo litológico “Embasamento Pré-Cambriano” do que qualquer outro grupo. Portanto, dado que objetiva-se uma generalização que viabilize modelagem de escoamento gerado, a reclassificação da Carta Geotécnica seguindo a proposta de FCTH (2015) procedida da inferência de grupos hidrológicos de solos correspondentes, de acordo com metodologia NRCS (1986), resulta em uma representação dos materiais de superfície da bacia viável à modelagem.

Figura 25: Segunda localidade escolhida para checagem de litologia em campo. Base: Google Maps.

Figura 26: Checagens da classificação litológica na região do Parque do Carmo. Fotos do autor.

Figura 27: Declividade na BHA, reclassificada a partir dos patamares propostos em FCTH, 2015.

A construção da carta de declividade da BHA prezou pelo uso de escala cromática para a diferenciação dos quatro intervalos utilizados. As áreas compreendidas pelo patamar de menor declividade correspondem aos setores dos depósitos de sedimentos aluvionares quaternários, conforme apresentado na **figura 27**. As áreas que correspondem à classe de maior declividade, por outro lado, concentram-se nos setores com predomínio das rochas do embasamento cristalino, e com maior número de cabeceiras de drenagem na alta bacia e margem direita na média bacia.

Figura 28: Fragmento da carta de feições mínimas de relevo da BHA.

A carta de feições mínimas permite constatar como as morfologias resultantes do entalhamento da drenagem perene são potencialmente propensas ao escoamento concentrado nessa escala de abordagem, destacando-se os terços inferiores dos setores de vertentes desta configuração. Nota-se também o reconhecimento dos topos planos, integrantes do domínio hidrodinâmico transicional (COLANGELO, 1996) que, assim como os setores de planícies mais amplas na baixa bacia, têm tendência de maior infiltração em detrimento do componente escoamento. A minimização do efeito de intervenções antrópicas sobre a curvatura, dado que a base topográfica disponível é baseada na situação atual da área, foi possível com o emprego do modelo digital de superfície hidrologicamente consistido, em detrimento de modelos gerados por ortofotos. Isto foi efetivamente remediado com a reclassificação dos nove tipos de feições em três classes definidas pela participação destas em cada domínio hidrodinâmico.

Figura 29: Feições mínimas de relevo reclassificadas pelos domínios hidrodinâmicos.

Com a reclassificação, além das feições mínimas tornarem-se operacionalizáveis para a carta de tendências hidrodinâmicas, é possível evidenciar o claro predomínio da tendência ao escoamento por dispersão no terço médio e mais alto da bacia. A tendência à concentração de escoamento agrupa-se nas morfologias que configurariam, por evidência, os nichos de nascentes e áreas de contribuição mais direta aos cursos da bacia. Enquanto isso, os setores do domínio hidrodinâmico transicional/neutro estão marcadamente nas áreas correspondentes às planícies fluviais e topos planos, característica que sugeriria maior sujeição destas áreas à infiltração. Além disso, na carta resultante, destaca-se o papel determinante da curvatura em perfil (mais do que a em planta) para definição do domínio hidrodinâmico (conforme já proposto por Colangelo, 1996).

Figura 30: Carta de tendências hidrodinâmicas de superfície da Bacia Hidrográfica do Aricanduva, no cenário original.

Ponderando-se as três variáveis apresentadas em escala pré-definida, foi concebida a carta de tendências hidrodinâmicas de superfícies do cenário original. Isto significa uma sistematização de como se dá o balanço escoamento/infiltração sobre a área da bacia, sem a presença do elemento antrópico, concebida a partir de alguns dos parâmetros indicados pela metodologia antropogeomorfologia à análise de morfologias originais, mas não em sua totalidade.

Os maiores valores, que representam a maior propensão à geração de escoamento superficial (máximo de 88,5), correspondem às áreas com predomínio do grupo litológico das rochas do embasamento cristalino, por constituírem solos predominantemente rasos, com declividade superior a 17% e em morfologia que favorece o escoamento concentrado. No sentido oposto, os menores valores (mínimo de 44), correspondentes às áreas que apresentam maior propensão à infiltração da água precipitada, são aquelas sobre o grupo litológico dos sedimentos terciários, com solos predominantemente mais arenosos e profundos, com declividade inferior a 2% e em morfologia que não favorecesse escoamento, seja concentrado ou difuso. O que podemos constatar nesta carta é a já reconhecida excelência do compartimento planície fluvial como área de direcionamento dos fluxos concentrados e sua estocagem, dado o baixo valor que estas apresentam quanto à tendência de gerarem escoamento e a alta tendência dos setores adjacentes, no terço inferior dos sistemas de vertentes. As áreas geradoras são localizadas onde há maior concentração de nascentes, no alto curso, e ao longo do médio curso à margem direita do curso principal.

Com o modelo configurado para geração da carta do cenário original, para a produção das cartas dos cenários antropizados foram introduzidas as categorias de uso do solo restituídas para cada período.

Figura 31: Uso do solo na BHA em 1972.

Para a década indicada como de maior ocupação da área, notamos o avanço já atingido pelo uso urbano com alta concentração, que já corresponde a 40,3% da área da BHA. Além disso, ficaram evidentes loteamentos em estágio de implantação e adensamento de construção, cuja categoria correspondente (urbano de média/baixa concentração) equivale a 12,7% de toda a área. No entanto, sobre a bacia ainda encontra-se considerável cobertura vegetada, gramínea (20,8%) e arbórea (24,3%), destacadamente nos terços médio e alto da bacia. Esta classificação do uso do solo, quando associado aos grupos litológicos presentes, permitiu inferir a relativa importância dos diferentes tipos de uso às mudanças no funcionamento hidrodinâmico da bacia. Subtraindo-se os valores de CN do cenário original destes valores obtidos para o primeiro cenário antropizado, pode-se observar o incremento à tendência de escoamento superficial induzido (**Figura 32**).

Figura 32: Mudanças em tendências hidrodinâmicas de superfície no cenário antropizado de 1972 e as áreas afetadas no período.

A partir desta carta, podemos observar que, com a presença do elemento antrópico, no ano de 1972 houve um aumento no valor de CN de até 19. Isto se processou em áreas de alta declividade, morfologia que favorecia o escoamento concentrado, em sedimentos terciários e então ocupadas por uso urbano de alta concentração, o que levou à anulação da tendência favorável à infiltração do grupo litológico. Nota-se ainda que as áreas identificadas com arruamento mais favorável à concentração de fluxos torrenciais estão justamente postas em sobreposição às aquelas que tiveram maior incremento no valor CN. Chama atenção, portanto, a constatação de que as áreas potencialmente afetadas por inundações neste período estão, senão contidas nestas zonas de referida configuração (1 e 2), muito próximas e à jusante destas.

Colocando-se os valores de CN do cenário 1 classificados em intervalos iguais em comparação com o cenário original, temos uma supressão de mais de 90% das áreas com CN entre 44 e 54,8, e mais que duplicação das áreas com valor entre 65,6 e 71, que passou a ser a classe mais representativa da bacia (25,37% de sua superfície). Este patamar de CN=65 pode ser tomado como um limiar, uma vez que no cenário original 59,29% da bacia apresenta um valor inferior a este, enquanto no cenário antropizado 1, esta porcentagem foi reduzida a 21,66%.

É ainda mais destacável o salto de representatividade de áreas com CN entre 81,8 e 87,2, que, no original, representavam 0,12% da superfície da bacia, enquanto em 1972 representavam 14,64%, o que significa um aumento de mais de 121 vezes na abrangência de áreas com esta capacidade de gerar escoamento.

Figura 33: Uso do solo na BHA em 2010.

A partir da classificação do uso do solo com base nas ortofotos de 2010, fica bastante evidente a predominância do uso urbano com alta densidade construtiva, que neste período ocupa mais de 68% da BHA. Houve também redução de área com uso urbano com impermeabilização de lotes inferior a 65%, agora representando apenas 6,7 da superfície da bacia. Ao mesmo tempo, é notável a progressão da supressão das categorias de cobertura gramínea e arbórea, reduzidas a 10,3% e 13,5% da área da bacia, respectivamente. Quanto à localização destas ocupações urbanas mais recentes, podemos identificar estas aglomerações nos setores de cabeceiras, na porção sudeste da bacia. Esta constatação é especialmente relevante quando tomado em conta que estas ocupações vieram acompanhadas de mudanças na morfologia desta área que favoreceram a geração de escoamento, através das formas de arruamamento e da instalação de drenagem urbana, bem como seu contrapeso pela canalização de cursos (como o córrego dos Machados, em São Matheus) e construção de piscinões.

Figura 34: Mudanças em tendências hidrodinâmicas de superfície no cenário antropizado de 2010 e as áreas afetadas no período.

As tendências hidrodinâmicas de superfície da BHA registraram grande aumento no componente escoamento no cenário antropizado 2 quando comparado aos cenários apresentados anteriormente. Não obstante, foi possível identificar novas áreas com as formas de arruamento consideradas ideais à geração de fluxos superficiais torrenciais, desta vez presentes também nos setores de média/alta bacia. Também é possível identificar um reforço da mudança identificada no cenário antropizado 1, agora com mais de 88,9% da superfície da bacia apresentando um valor de CN superior a 65,6. Ainda, aproximadamente 34% apresenta $CN > 81,8$, e 11,79% da bacia possui CN superior a 87,2, valor impossível de ser encontrado no cenário original. Mais de 98% das áreas com maior tendência hidrodinâmica à infiltração ($CN < 50$) foram suprimidas, enquanto áreas com CN entre 81,8 e 87,2 aumentaram mais de 188 vezes (**Quadro 24**). Ainda, se comparado com o cenário antropizado 1, o cenário modelado para 2010 apresentou quase três vezes mais superfícies com CN da maior classe (entre 92,6 e 98), agora representando quase 1,8% da área total da bacia. Estes resultados são condizentes com aquilo que é apresentado em diversos outros estudos sobre as características do escoamento em bacias altamente impermeabilizadas e urbanizadas do meio tropical úmido, onde as mudanças induzidas levam o escoamento a ocorrer com taxas muito mais próximas daquelas registradas em bacias de domínio morfoclimático árido.

Observando-se a espacialização das mudanças observadas entre 1972 e 2010 (**Figura 35**), nota-se a concentração espacial destas justamente nos distritos de Sapopemba, São Matheus e São Rafael, onde também consolidaram-se diversos aglomerados subnormais nas últimas quatro décadas. Isto serve de evidência à hipótese de que o modo de assentamento de grupos socialmente vulneráveis estaria diretamente relacionado à intensificação das dinâmicas dos sistemas físicos que controlam os fenômenos aos quais estas populações estão expostas.

Quadro 24: Resumo das mudanças nas tendências hidrodinâmicas identificadas, em porcentagem.

Classes	CO	CA1	CA2	Dif. CA1-CA2	Dif. CO-CA1	Dif. CO-CA2
44.0-49.4	1.24	0.13	0.02	-81.02	-89.66	-98.04
49.4-54.8	17.09	1.47	0.51	-65.18	-91.39	-97.00
54.8-60.2	15.42	4.94	1.65	-66.60	-67.98	-89.31
60.2-65.6	25.53	15.12	8.85	-41.46	-40.78	-65.33
65.6-71.0	7.29	25.35	30.46	20.17	247.86	318.03
71.0-76.4	19.46	11.47	6.21	-45.89	-41.08	-68.11
76.4-81.8	7.40	17.95	17.84	-0.64	142.67	141.13
81.8-87.2	0.12	14.64	22.66	54.79	12164.77	18884.59
87.2-92.6	6.45	8.47	10.01	18.28	31.34	55.35
92.6-98.0	0.00	0.47	1.78	280.04	-	-

Figura 35: Mudança dos valores de CN pelo uso e ocupação do solo entre os dois períodos (1972 e 2010).

6.4. Carta de vulnerabilidade socioespacial.

Na carta de Vulnerabilidade Social da bacia do Aricanduva, obtida pela aplicação da metodologia do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (SEADE, 2010), fica evidente, em primeiro momento, a forte concentração dos grupos de maior vulnerabilidade no setor médio-alto da bacia (**Figura 36**). Particularmente, os setores mais ao sul dos distritos de São Matheus e São Rafael se destacam pela forte presença dos grupos 6 e 7. No sentido oposto, a menor vulnerabilidade social é encontrada nas áreas que correspondem à baixa bacia, ou leste do Tatuapé, Penha, Vila Carrão e Vila Matilde. O que deve ser diferenciado nesta carta são as áreas de baixa vulnerabilidade social identificadas na alta bacia. Estas correspondem, na realidade, a setores censitários e propriedades muito grandes (para os padrões da cidade de São Paulo) nas áreas menos habitadas da área estudada. Ali encontram-se fragmentos ainda relativamente preservados de vegetação e, em alguns locais, desenvolvem-se atividades produtivas análogas às encontradas em zonas rurais.

Figura 36: Vulnerabilidade social na BHA, classificada pela metodologia IPVS (SEADE, 2010).

A carta de morfologias originais elaborada para a BHA (**Figura 36**) apresenta os compartimentos do sistema planície fluvial relevantes à observação de susceptibilidade espacial a inundações. As planícies fluviais na bacia somam um total de 13,12 Km², o que corresponde a 12,8% da área total, tendo como menor subsistema (em área) os backswamps, que somam 0,075 Km².

As planícies de inundação desta bacia possuem uma área somada de 10,04 Km² e largura média de 420 metros ao longo do curso principal. Esta largura varia consideravelmente entre diferentes trechos da bacia, atingindo uma largura máxima de 1300 metros. É notável o estreitamento que existe no setor médio-baixo da planície de inundação, onde o rio Aricanduva encontra-se com o córrego Caaguaçu e onde está instalado o piscinão Aricanduva III (**Foto 3**). Também são evidenciadas planícies de configuração alveolar, de menor área, nos setores mais altos. Em diversos trechos do terço mais baixo da bacia o limite entre o sub-sistema planície de inundação com o sistema vertente se dá diretamente e através de ruptura de declividade bastante evidente, mais frequentemente ao longo da margem direita do curso principal (**Foto 4**).

Foto 3: Piscinão Aricanduva III, ao fundo, trecho onde há redução da largura da planície fluvial. Direção visada: Norte. Foto do autor.

Foto 4: Ruptura de declividade bem demarcada no limite entre planície de inundação e sistema vertente, no cruzamento da Avenida Dália e a Avenida Aricanduva (margem direita do curso), baixa bacia. Foto do autor.

Os níveis terraceados identificados na bacia são exclusivamente de primeiro nível, somando uma área de 1,41 Km² a 2,99 Km², quando considerada a área dos locais onde foram identificados os terraços antrópicos descontínuos, e representam, em média, uma elevação de 2 metros em relação à planície de inundação, com máximos de até 3 metros no setor mais baixo da bacia. Os terraços antrópicos foram representados de forma diferenciada dos demais com características originais restituíveis, justamente por evidenciarem graus de intervenção avançada que impossibilitaram a confirmação das características morfológicas originais daqueles locais, isto é, se seriam estas de um subsistema de terraço ou de planície de inundação. Desta forma, foram enquadrados na categoria de terraço justamente por conta da clara descontinuidade provocada na topografia da planície em que estão inseridos.

Estas características morfométricas foram especialmente interessantes de se ter em conta, uma vez que a quase totalidade dos episódios de enchentes foram identificados em áreas que correspondem às planícies de inundação (a única exceção é considerada mais adiante). Ou seja, uma vez que em nenhum evento dos períodos analisados o limite entre planície de inundação e terraços foi superado pelo nível das águas (2 metros), os episódios registrados nas áreas que correspondem ao sub-sistema terraço ocorreram, exclusivamente, a partir de alagamentos.

Figura 37: Morfologias fluviais originais da Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva.

A delimitação das planícies de inundação originais da BHA permitiu, através de correlação com o mapeamento do uso do solo nos dois períodos, desenvolver algumas estimativas sobre a perda de “serviços” desempenhados pelas áreas de extravasamento natural (neste caso, capacidade de armazenamento de águas de inundações). Considerou-se a capacidade de retenção perdida por conta da área (m²) de ocupação urbana nas modalidades “Urbano de alta densidade” e “urbano de média/baixa densidade” (este calculado com a proporção de até 65% de área de lotes impermeabilizados), multiplicada em função de uma coluna de água de 1 metro em um evento de inundação, possibilitando encontrar os índices resumidos no **quadro 25**:

Quadro 25: Estimativas para perda de capacidade de armazenamento de água nas planícies de inundação.

Período/Área em PI	Alta Densidade Construtiva	Baixa/média Densidade	Capacidade perdida	%
1970	4.497.556,71m ²	1.451.555,18m ²	5.441.067,58 m ³	53,8%
2010	7.357.768,82 m ²	893.803,26 m ²	7.938.740,94 m ³	78,5%

A carta de vulnerabilidade socioespacial consiste da articulação dos conteúdos representados na carta de Vulnerabilidade Social (**Figura 36**) e na carta de Morfologias Originais da BHA (**Figura 37**). Isto é, representa a vulnerabilidade de determinados grupos socioeconomicamente vulneráveis ao impacto de inundações, exclusivamente. Os locais afetados por alagamentos, foram destacados pontualmente, dada suas características de espacialização.

Assim como na carta de Vulnerabilidade Social, é notável a concentração de grupos das classes mais altas de vulnerabilidade (grupos 7, 8 e 9) no terço mais alto da bacia e próximo ao Parque do Carmo. No entanto, é reforçada de maneira decisiva a importância do compartimento planície de inundação, que permite identificar as localidades de alta e altíssima vulnerabilidade socioespacial que também se estendem à média e baixa bacia do Aricanduva. Há considerável correlação entre os locais onde foram identificadas as inundações, da década mais recente, e locais de vulnerabilidade acima da média (**Figura 37**). A única exceção é a área afetada pela inundação n°1, que será melhor detalhada na seção seguinte, mas sua explicação passa pelo padrão de arruamento encontrado na área e o fato de ter ocorrido na década de 70, enquanto os dados utilizados para geração deste mapa correspondem ao ano de 2010. Já no sentido oposto, a menor vulnerabilidade socioespacial se concentra na região que corresponde ao Tatuapé e nos setores de topos no extremo sudoeste da bacia.

Entre as informações que devem ser destacadas da carta de vulnerabilidade socioespacial, há 20 locais que foram identificados como aqueles da classe mais alta possível, isto é, onde há coincidência espacial de moradias que configuram conglomerados subnormais, habitadas por pessoas de grande vulnerabilidade, e a morfologia de planície de inundação. Estes locais concentram-se entre os distritos de São Rafael, São Matheus e Iguatemi e, em sua maioria, não foram identificados no levantamento da ocupação na década de 70 (**Quadro 26**).

Quadro 26: Áreas de vulnerabilidade socioespacial, relativa a inundações, classificada como altíssima e dentro de planícies de inundação (grupo 9).

+ indica localidades com habitações de destacável precariedade e fragilidade estrutural e imediatamente próximas a canais fluviais. X indica localidades comprovadamente afetadas por inundações durante o período estudado.

Local/referência	Bairro	Distrito	Obs.
Entre a rua Sebastião Razali e Av Aguiar da Beira	Vila Antonieta	Aricanduva	X
Ao longo das ruas Casa da Boa Vista e Carlo Maderna	Pq Savoi City	Cidade Líder	
Próximo ao cruzamento da Av Olga Fadel Abarca e Av dos Latinos	Jd Sta Terezinha	Cidade Líder	
Próximo ao nº 1073 da R. Joaquim Meira de Siqueira	Jd Nsa Sra do Carmo	Cidade Líder	
Cruzamento das ruas Oronzo Mastrosa, Embitiba e Estrada do Carmo	Jd São Gonçalo	Iguatemi	+X
Entre início da rua Chaime e acesso à Estrada do Carmo	Jd São Gonçalo	Iguatemi	+
Entre início das ruas Tamandiba e Menino Deus	Jd São Gonçalo	Iguatemi	
Entre a Estrada Saturnino Pereira e R. José Pinto	Sta Etelvina	Iguatemi	+
Ao longo da Rua Emile Zola	Jd Nove de Julho	São Matheus	
Início da R. Vila Boa da Goiás	Jd Nove de Julho	São Matheus	+
Entre os nºs 400 e 550 da Av. Riacho dos Machados, margem direita do córrego.	Jd. Tietê	São Matheus	+
Ao longo de rua sem nome paralela à R. Lupércio de Souza Cortez	Jd. São João	São Rafael	
Ao longo da margem esquerda do córrego Caguaçu, paralelo à R. Frutos de Maio, altura do nº 196.	Vila Bela	São Rafael	
Ao longo da margem esquerda do córrego Caguaçu, paralelo à R. Frutos de Maio, altura do nº 500.	Vila Bela	São Rafael	
Entre o final da R. Dom Benito Feijó e a Tv. Felix Peixoto	Conj. Promorar Rio Claro	São Rafael	
Ocupações entre Avenida Sapopemba, R. Cinira Polônio e Av. Vice-presidente José de Alencar	Conj. Promorar Rio Claro	São Rafael	+
Avenida Sapopemba, entre números 22.200 e 25.500	Jd Adutora	São Rafael	X
Início da Rua dos Banqueiros.	Vila Bancaria	Sapopemba	
R. Heley Lopes Meirelles, próximo à foz do Aricanduva	Vila Moreira	Tatuapé	
Próximo ao nº 114 da R. João Galdino Coelho	Vila Matilde	Vila Matilde	

Vale destacar que a não comprovação de ocorrências nestes locais de altíssima vulnerabilidade, no período estudado, não significa que efetivamente nenhum episódio tenha ocorrido. Tratam-se, em sua maioria, de regiões periféricas e muito isoladas na cidade, cuja população possui limitado acesso aos meios de comunicação e socorro, levando à consideração de que ocorrências nestas áreas possivelmente acabam por não serem noticiadas ou registradas.

Por fim, a articulação entre as cartas contendo os limites dos subsistemas da planície fluvial e a vulnerabilidade social na BHA, permite visualizar que todos os episódios de enchentes atingiram locais com vulnerabilidade socioespacial classificada, no mínimo, como média-alta. A exceção, conforme já mencionado é a área impactada no primeiro evento identificado, uma vez que não se trata de uma área com configuração de planície de inundação. No entanto, ressalta-se que as características socioeconômicas da população residente no local quando foi impactado (assim como as localidades dos episódios 2, 3 e 4) eram, presumivelmente, menos favoráveis do que as atuais, representadas no mapeamento.

Figura 38: Carta de vulnerabilidade socioespacial atual (2010) a episódios de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva.

6.5. Análises retrospectivas dos episódios de inundação.

Para representar a análise de episódios de inundações, cumprindo a proposta que requer interpretação conjunta de todos os outros resultados presentes nesta pesquisa, foram escolhidos os sete episódios (2 na temporada 1976-77 e 5 na temporada 2009-10) em que foram registrados danos severos e locais afetados bem especificados.

6.5.1. Ocorrências do dia 26/11/1976.

Em 26 de novembro de 1976, segundo o jornal Folha de S. Paulo, foram registrados danos severos causados por inundação na região do Tatuapé que se insere na bacia do Aricanduva, mais especificamente ao longo do trecho mais baixo da Rua Montserrat, onde esta cruza com a rua Tijuco Preto, próximo de onde se localiza hoje o terminal Carrão. Também é citada uma ocorrência na Rua Recife (região da Penha), no entanto, sem maiores detalhamentos. A reportagem ainda faz destaque aos graves danos provocados pela inundação nesta data, registrando fatalidades (embora sem especificar em consequência de quê) e grandes perdas materiais entre os moradores da região. O episódio na rua Montserrat destaca-se dos demais selecionados para a análise reconstitutiva por ser o único a ocorrer em uma área fora de planície fluvial. Além disso, ocorreu em localidade de vulnerabilidade socioespacial baixa, o que pode ser assumido mesmo o período de ocorrência do episódio, uma vez que não se trata de uma área das mais periféricas da cidade e pelas características das residências observadas por fotos aéreas. Quanto à área impactada na Rua Recife caracteriza-se como local de vulnerabilidade socioespacial de média a alta (em 2010), imediatamente próxima à margem direita de trecho canalizado do Aricanduva, dentro de sua planície de inundação original (**Figura 39**).

Foto 5: Exemplo de ponto de alagamento em potencial na rua Montserrat ocasionado pela declividade transversal das ruas e ausência de bocas de lobo. Foto do autor.

Figura 39: Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 26/11/76.

Além das considerações sobre a espacialidade dos episódios descrita, é possível (a partir da **Figura 39**) verificar a possibilidade de que a Avenida Radial Leste, com sua declividade transversal, tenha desempenhado papel de barramento ao escoamento da água que convergiu pela Rua Montserrat.

Com a ausência de precipitação registrada para o dia 26 de novembro em todas as estações, podemos apontar que as ocorrências se devem à chuva concentrada ao longo do dia 27. Espacialmente, os maiores volumes de chuva concentraram-se nos quadrantes norte e leste da bacia (**Figura 40**), onde foram registrados valores acumulados de precipitação até 53 mm, o que representa um valor “muito alto” para a temporada chuvosa de 76/77. Esta distribuição espacial da chuva permite observar uma situação de maior alimentação de uma área com diversas cabeceiras de drenagem. Quando ponderados pela representatividade espacial de cada estação, os registros de precipitação apontam um valor médio de 32,3 mm de chuva sobre a bacia durante o dia do episódio.

Figura 40: Isoietas do total acumulado para o período durante 25-26/11/76. **Tabela 6:** Valores de precipitação incidente sobre a área entre 25-26/11/76, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.

Estações (1970)	Área (Km²)	% da BH	25-26/11/76	Ponderado
Aricanduva Foz	18.1	17.7	43.5	7.7
Jardim Centenário	42.4	41.4	24.6	10.2
Vila Ema	5.4	5.2	21.2	1.1
Itaquera	10.2	10.0	53.0	5.3
Jardim Rodolfo Pirani	26.4	25.8	31.2	8.0
TOTAL	102.5	100.0		32.3

A análise rítmica (**Quadro 27**) para os eventos é coerente com o tipo de distribuição espacial da chuva obtido pela interpolação de isoietas, pois identifica a atuação da frente polar atlântica, que tem por característica a gênese de precipitação relativamente mais homogênea sobre uma área nesta escala observada. Além disso, o gráfico de análise rítmica corrobora com o que foi previamente considerado sobre a ausência de precipitação nos dias anteriores, quando houve maior influência de massas de ar com menor conteúdo de umidade.

Quadro 27: Gráfico de análise rítmica do período 19 a 28/11/76. Dados: IAG/USP, EMAE.

As leituras fluviométricas feitas pela estação Foz do Aricanduva no período próximo à data do episódio analisado mostram uma regularidade na vazão e cota do rio em valores bastante próximos da média da temporada (**Quadro 28**). Mesmo o dia 26, classificado como “muito chuvoso”, não foi acompanhado de alteração significativa nas duas variáveis fluviométricas mensuradas (vazão e cota). Este tipo de leitura é condizente com o tipo de episódio registrado, não provocado por enchente do rio Aricanduva, mas sim por consequência do direcionamento do escoamento da água da chuva antes que esta atingisse o curso principal.

Quadro 28: Leitura pluvio e fluviométrica do evento de 24-28/11/76 na estação Aricanduva Foz. Dados: EMAE.

Dia	Prec. (mm)	Vazão (m³/s)	Cota (m)
24/11/76	0,0	1,49	1,49
25/11/76	0,0	1,41	1,48
26/11/76	43,5	1,41	1,48
27/11/76	0,0	1,49	1,49
28/11/76	0,0	1,49	1,49
Quantis	Extremo	Muito alto	Alto

Com as informações apresentadas até aqui sobre os dois episódios, a explicação para as ocorrências nas localidades que foram confirmadas seria dificilmente tecida. No entanto, a aplicação do modelo espacial e a comparação dos cenários de condições de escoamento originais e alteradas fornece dois elementos fundamentais para a análise do episódio. Primeiramente, deve-se notar que a área inundada nº1 (correspondente à rua Montserrat), no cenário original se destaca com potencial à geração de escoamento concentrado por ser área (originalmente) com litologia predominante de sedimentos quaternários e curvatura côncava em perfil ao longo de um setor consideravelmente longo (500 metros). Tais fatores indicam a possibilidade de existência de um curso intermitente nesta área. Estas condições hidrodinâmicas de material e de topografia são reforçadas pela geometria do arruamento identificado na área, onde diversas ruas perpendiculares direcionam o escoamento desde áreas de topo de vertente à rua Montserrat, encaixada justamente no eixo do curso intermitente identificado.

No outro caso, o fator de influência para ocorrência da inundação na região da rua Recife (ocorrência nº2), é identificado pela carta de tendências hidrodinâmicas de superfície no cenário antropizado 1: A área no quadrante nordeste da bacia, no cenário original, não apresenta valores de precipitação excedente entre os mais altos da bacia, no entanto, no cenário antropizado, que considera as influências da ocupação na área (já predominantemente urbano de alta densidade), esta é uma área que se destaca pela alta proporção de escoamento gerado (**Figura 42**).

Figura 41: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 25-26/11/76.

Figura 42: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 1) sobre dados de chuva interpolados de 25-26/11/76.

Desta forma, com base nas informações disponíveis, o episódio de inundação ocorrido na rua Recife (nº2) demonstra um caso de impacto que, possivelmente, não teria ocorrido sem a influência das alterações provocadas pela ocupação urbana sobre o balanço escoamento/infiltração no contexto de uma sub-bacia do Aricanduva. A alteração na distribuição dos valores de escoamento total gerado pela precipitação do dia 26/11 na bacia é mais claramente demonstrado no **quadro 29**.

Quadro 29: Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 25-26/11/76.

Além do aumento dos valores mínimos e máximos registrados, nota-se a alteração provocada entre os valores do quartil superior: no cenário antropizado, cerca de 75% de todos os valores de escoamento gerado em cada célula (2m x 2m) são iguais ou superiores aos valores de escoamento classificados como “muito altos” (quartil 3) no cenário original. Em termos práticos, isto significa que a precipitação teve uma distribuição espacial que coincidiu com áreas onde o potencial para gerar escoamento intenso foi elevado pela ação antrópica, de forma este evento chuvoso configurou-se com efetivo o suficiente para a produção de uma inundação localizada.

6.5.2. Ocorrências dos dias 18-19/01/1977.

No dia 19 de janeiro de 1977, foi noticiado pela Folha de S. Paulo inundação ocorrida na Vila Carrão nas adjacências da Avenida Aricanduva durante a noite do dia 18/01, após chuva intensa concentrada entre as 20h e 22h, segundo informaram observadores locais. No dia seguinte, 20/01, foi noticiado pelo mesmo veículo que a partir da 1 hora da madrugada do dia

19/01, pedidos de socorro por conta da elevação do nível das águas do Aricanduva foram registrados para localidades na Vila Aricanduva, Manchester, Bandeirantes, e Parque Maria Luiza. Logo, é possível inferir que os dois episódios de inundações estão associados, com um intervalo de algumas horas entre o início do primeiro e a extensão para o segundo. Em transcrição da época, a situação da área afetada se descreve:

“O Aricanduva nasce no bairro de S. Mateus, perto da divisa com Sto André e atravessa os bairros de Vila Carrão, Vila Manchester, Aricanduva e Tatuapé, deságua no Tietê perto do Parque São Jorge. Ele corre em leito natural até a rua Ismael Dias, no Tatuapé, e dali segue por mais de dois quilômetros semi-canalizados, ou seja, com caixas (laterais) de cimento armado, que acabaram transferindo as grandes enchentes do rio para além da parte canalizada, onde elas passaram a ser mais intensas. Nessa região, o rio corre em pequenos vales, com residências simples e de operários, que aguardam uma prometida indenização da Prefeitura para a desapropriação da área, onde deverá passar a Avenida Aricanduva. Enquanto aguardam, eles sofrem com as enchentes. (...) Na Vila Carrão, onze dias após a ocorrência da última enchentes, os moradores não têm muita saída: suas casas têm que ficar abertas para que o mau cheiro desapareça e para que seus móveis, colchões e roupas sequem. Ao mesmo tempo, não podem deixar as portas e janelas abertas por que é muita a poeira formada pelo barro seco em que se transformou a lama que a enchente trouxe.” (Folha de S. Paulo, 30 de janeiro de 1977, pág. 17).

Foto 6: Avenida Aricanduva, na Vila Manchester, identificada como afetada no período, à altura do cruzamento com a rua Tumucumaque. Orientação: NW. Fonte: Google View, 2015.

Figura 43: Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada pelas inundações em 18-19/01/77.

As estações com diferentes períodos de coleta permitiram observar que: aquelas zeradas às 00h local registram acumulado extremo para dia 18 e total baixo para dia 19, enquanto estações zeradas a 12h Z apresentam total baixo para dia 18 e acumulado extremo no dia 19. Portanto, temos neste caso inundações severas que ocorreram em concomitância a um evento extremo de chuva (de intensidade que podemos estimar como 50 mm/h), que precipitou de forma quase homogênea em toda a extensão da bacia hidrográfica. Como podemos observar pelas isoietas construídas a partir dos acumulados pelas estações entre estes dois dias, de fato estes volumes extremos incidiram sobre toda a bacia, mas com maior carga sobre a porção sudeste, de maiores altitudes, e onde concentram-se as cabeceiras. Pela ponderação dos valores de precipitação, encontramos um acumulado de 108,9mm para a BHA neste período.

Figura 44: Isoietas do total acumulado durante 18 e 19/01/77. Dados: EMAE. **Tabela 7:** Valores de precipitação incidente sobre a área entre 18-19/01/77, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.

Estações (1970)	Área (Km²)	% da BH	18 e 19/01/77	Ponderado
Aricanduva Foz	18,1	17,7	108,0	19,1
Jardim Centenário	42,4	41,4	101,8	43,2
Vila Ema	5,4	5,2	103,8	5,4
Itaquera	10,2	10,0	97,1	9,7
Jardim Rodolfo Pirani	26,4	25,8	122,0	31,5
TOTAL	102,5	100,0		108,9

Esta distribuição espaço temporal da precipitação (**Figura 43**) pode ser inferida, pois, na escala sinótica, entre os dias 18 e 19, foi registrada a formação de grande área de instabilidade pela passagem de frente fria sobre a região de SP. A atuação deste sistema atmosférico é notada durante este período, o mais chuvoso de toda a década de 70 na região estudada, pela demarcável elevação da umidade relativa do ar, grande diminuição da pressão atmosférica em relação aos três dias anteriores, e diminuição da temperatura do ar (máxima, média e mínima). Portanto, conjectura-se que a precipitação desencadeadora do fenômeno neste episódio teve grande parte de seu volume concentrado em poucas horas durante a noite do dia 18, com uma outra parte sendo precipitada, com menor intensidade, durante a madrugada do dia 19, possivelmente por consequência da retroalimentação do sistema atmosférico.

Quadro 30: Gráfico de análise rítmica do período 12 a 21/01/1977. Dados: IAG/USP, EMAE. **Quadro 31:** Leitura pluvio e fluviométrica do evento de 16-20/01/77 na estação Aricanduva Foz. Dados: EMAE.

Dia	Prec. (mm)	Vazão (m³/s)	Cota (m)
16/01/77	18.0	4.57	1.75
17/01/77	0.0	2.06	1.55
18/01/77	98.0	0.81	1.40
19/01/77	10.0	10.16	2.05
20/01/77	0.0	5.35	1.80
Quantis	Extremo	Muito alto	Alto

Observando-se os dados de medição fluviométrica do período próximo (registrado uma única vez ao dia, às 12h local, podemos evidenciar o rápido salto na medição de vazão e cota ocorrido entre os dois dias dos eventos extremos, atingindo, para ambas as variáveis, valores classificados como extremos para a temporada de referencia. Os valores registrados no dia 19/01

representam uma cota 35% maior do que a média no período 11/76-03/77, e uma vazão quase sete vezes maior do que a média no mesmo período.

Figura 45: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 18-19/01/77.

Figura 46: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 1) sobre dados de chuva interpolados de 18-19/01/77.

Quando comparadas, as cartas produzidas pela aplicação dos modelos espaciais dos cenários original e antropizado permitem notar, sobretudo, o incremento no valor de precipitação excedente registrada no setor mais baixo da bacia e em seu quadrante sudoeste. Justamente nestas áreas, onde é visualmente destacada a participação do uso do solo urbano densamente construído e impermeabilizado para o desenvolvimento de uma alta proporção de escoamento, foram registrados os maiores impactos produzidos pela inundação.

Quadro 32: Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 18-19/01/77.

No **quadro 32** é destacável a mudança significativa na distribuição dos valores de escoamento gerado na bacia hidrográfica: além do aumento do valor máximo observado e diminuição de sua diferença para a maior parcela dos valores, há um significativo aumento da diferença entre o valor mínimo observado e os valores do primeiro quartil. Ainda, para uma estimativa dos volumes de água envolvidos no desencadeamento dos fenômenos no sistema hidrogeomorfológico naquele período, pela interpolação dos dados de chuva, podemos calcular que sobre a área da bacia precipitou um volume absoluto de aproximadamente 10,9 milhões de m³ d'água. Aplicando-se o modelo desenvolvido para o cenário antropizado, estima-se que 8,07 milhões de m³ da precipitação foram excedentes, devido às tendências hidrodinâmicas superficiais presentes. Este volume de água representa o quádruplo da capacidade total de armazenamento de todos os piscinões implantados na bacia do Aricanduva até hoje. Ainda, tais valores podem ser considerados extremos para qualquer período de observação fluviométrica e pluviométrica da área.

6.5.3. Ocorrência do dia 01/12/2009.

Segundo o jornal Folha de S. Paulo, de 2 de dezembro de 2009, nos dia 1º de dezembro, as regiões da favela de São João (São Matheus) e proximidades da Avenida Caboré (Iguatemi) foram afetadas por inundação que levou à grandes perdas materiais dos pelos moradores da região, deixando ainda “dezenas de famílias” desabrigadas. Segunda a Gazeta de São Matheus do dia 15 de dezembro, esta situação foi agravada ainda com a ocorrência de desabamentos na região do Parque São Rafael (também em São Matheus), ocorridos dois dias depois das inundações. Segundo as mesmas fontes, a situação causou revolta entre os moradores afetados, fazendo com que a situação escalonasse a um conflito civil e bloqueio de vias na região por mais de 200 manifestantes. Ambos os locais inundados localizam-se à jusante de piscinões. Considerando-se os registros pela CET de quatro alagamentos ocorridos na avenida Aricanduva e outro na Avenida Ragueb Chohfi (muito próxima às localidade afetada em Sapopemba e ao piscinão do córrego Limoeiro), podemos inferir que todos estes episódios manifestaram-se nas primeiras horas da tarde, entre 11h e 16h.

Foto 7: Localidade potencialmente afetada na Estrada do Carmo, São Matheus. Foto: Google View, 2015.

Foto 8: Ocupação potencialmente afetada na Avenida do Caboré, próximo ao vertedouro do piscinão do Córrego Limoeiro. Foto: Google View, 2015.

Figura 47: Vulnerabilidade socioespacial e localização de pontos afetados por alagamentos em 01/12/09. **Figura 48:** Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 01/12/09, segundo informações das fontes documentadas.

Pela análise da situação sinótica no dia das ocorrências, é possível apontar a formação de um cavado de onda curta sobre a região de São Paulo, que promoveu instabilidade sobre o local. Segundo relatório do SAISP para o evento, em sondagem das 12h Z, há indicação de perfil muito úmido para a camada, bem como valores em índices termodinâmicos favoráveis à atividade convectiva (**Figura 49**). Neste contexto de sistemas convectivos, são favorecidas as ocorrências de chuvas em células isoladas, comumente com alta intensidade de precipitação. Segundo relatório das leituras do radar meteorológico, a chuva teve início às 3h20, com pico às 12h20 (horários locais), quando foi registrada intensidade de até 30mm/h na zona oeste de SP.

Figura 49: Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 01-02/12/09. Fonte: SAISP, 2009.

Figura 50: Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 01-02/12/09. Fonte: SAISP, 2009.

A imagem demonstra o total de chuva acumulada sobre a RMSP no período do evento, que nota-se na porção sul-sudeste da alta bacia do Aricanduva, a maior concentração de precipitação, justamente à montante das áreas de ocorrência das inundações. A imagem ACUMM (**Figura 50**) indica entre 15-20 mm na zona mencionada, no entanto, a estação pluviométrica de Vila Formosa registrou um acumulado de 68,0mm, o que permite conjecturar que, uma vez que esta imagem do radar é produto de leituras ajustadas por medições em superfície da rede telemétrica do Alto Tietê (a qual a estação Vila Formosa não integra), chuvas ainda mais concentradas e intensas possam ter ocorrido neste dia sobre a BHA. As isoietas, geradas com os dados das estações trabalhadas, apontam justamente este tipo de concentração espacial da chuva, com grande concentração na porção média/alta da bacia, embora não tão destacada, por conta da contabilização de dados obtidos em horários diferentes entre as estações.

Ainda, se ponderados pelos diagramas de Voronoi, temos uma média de 54,7mm de chuva acumulada em média para a BHA, valor bastante superior ao indicado pelas leituras do radar.

Figura 51: Isoietas do total acumulado para o período durante 01-02/12/09.

Tabela 8: Valores de precipitação incidente sobre a área entre 01-02/12/09, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.

Estações (2000)	Área (Km²)	% da BH	01 e 02/12	Ponderado
Aricanduva Foz	8.3	8.1%	25.4	2.1
Vila Formosa	50.5	49.3%	79.0	38.9
Vila Prudente	0.1	0.1%	21.0	0.0
Itaquera	36.7	35.8%	34.7	12.4
Guaio	6.9	6.7%	18.5	1.2
TOTAL	102.5	100.0%	-	54.7

À jusante das áreas afetadas, a estação fluviométrica do Shopping Aricanduva, instalada no rio homônimo, indicou pico em sua cota às 12h, ultrapassando a cota de alerta e chegando muito perto de atingir o patamar de emergência. Este pico foi atingido após uma rápida elevação do nível de suas águas, passando de 733,0m a 736,27m em aproximadamente duas horas. Na estação da Foz do Aricanduva, o nível do rio superou o valor de 721,00m entre 13h30 e 14h o que, pela classificação por quantis, corresponde a um valor extremamente alto (percentil 0,99). Pelo mesmo método de classificação baseado nas medidas fluviométricas da temporada, após o pico, durante todo o dia o nível do rio Aricanduva manteve-se acima de valor considerado “muito alto” (718,9m). O que podemos identificar então é um *delay* estimado em uma hora e meia entre as vazões de pico dos pontos de coleta na média bacia e na foz do curso principal, cujo corre, por toda esta extensão, em canal artificial. Nesta base, reforça-se a hipótese de

elevação do nível das águas nas áreas afetadas pelas inundações durante um período de poucas horas no final da manhã e início da tarde do dia 01. Não obstante, podemos concluir ainda que os quatro alagamentos ocasionados pelo extravasamento do canal do Aricanduva sobre a Avenida, estão diretamente relacionados a este pico de vazão que, embora comportada à altura da estação do shopping, foi grande o suficiente para gerar extravasamento ao longo do trecho onde há menor capacidade de calha.

Quadro 33: Leitura fluviométrica do evento de 01-02/12/09 na estação Shopping Aricanduva. Fonte: SAISP, 2009.

Quadro 34: Leitura fluviométrica do evento de 01/12/09 na estação Aricanduva Foz. Dados: EMAE.

Figura 52: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 01-02/12/09.

Figura 53: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 01-02/12/09.

Pela comparação entre as cartas produzidas e pela aplicação do modelo espacial nos diferentes cenários de condições hidrodinâmicas de superfície, nota-se o destaque dado à área que recebeu a parcela mais concentrada da precipitação. Nesta área concentram-se os maiores valores de precipitação excedente para o cenário original e tem esta concentração ainda mais reforçada no cenário antropizado. Esta ainda coincide com a localização de quatro dos pontos com alagamentos noticiados. Quanto às localidades afetadas por inundações na alta bacia, percebe-se que os setores de cabeceiras das sub-bacias onde estão também registram altos valores de precipitação excedente, sobretudo no cenário antropizado. Deve-se destacar ainda a mudança ocorrida na distribuição dos valores de escoamento gerado na bacia, que demonstra que, no cenário antropizado, cerca de 75% dos valores obtidos são iguais ou superiores àqueles do quartil superior identificado para o cenário original (**Quadro 35**).

Quadro 35: Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 01-02/12/09.

Em valores absolutos, a partir de cálculo realizado com os dados de chuva interpolados, durante o período do evento, cerca de 4,8 milhões de m³ de água precipitaram sobre a BHA, dos quais 3,65 milhões de m³ foram excedentes. Nota-se parte deste volume concentrado na área próxima onde foram registradas as quatro ocorrências de alagamentos na marginal do Aricanduva (**Figura 53**). Com base nestes dados, evidenciamos um cenário em que um evento de chuva com intensidade aproximada de 10mm/h, desigualmente distribuído na bacia, resultou em um volume de precipitação excedente quase 80% maior do que a capacidade de contenção de todos os piscinões instalados na bacia somados. Destaca-se ainda que os dois locais potencialmente inundados encontram-se na jusante das sub-bacias dos córregos Caguaçu e Limoeiro, que apresentam alta tendência ao componente escoamento mesmo no cenário original

e que, no período observado, esta tendência é muito reforçada, com um valor médio de CN superior a 85. Ou seja, ainda que não sejam as áreas com maior intensidade de precipitação incidente, configuram-se como áreas propensas à geração de fluxos superficiais torrenciais. E, não obstante, a localidade onde ocorreu o episódio de inundação 6 configura-se como uma planície de inundação originalmente alveolar, o que significa uma área com condições genéticas que levam à maior concentração e retenção de volumes para lá escoados.

6.5.4. Ocorrência do dia 08/12/2009.

No início do dia 08 de dezembro de 2009 foram registrados dois alagamentos na região do Aricanduva, ao mesmo tempo em que foi noticiada inundação em localidade não especificada em Sapopemba. Neste dia, também vale destacar, foram registrados grandes transtornos ao funcionamento da malha viária da cidade por conta de alagamentos e inundações e diversos locais. Foram 27 pontos de alagamento na Zona Leste e 128 no município, segundo o CGESP. Especificamente na área de estudo, foram afetadas a região próxima à ponte do Aricanduva (A9, **Figura 54**), a Av. Aricanduva na altura da rua Manilha (A8, local à altura de onde se encontra o trecho estrangulado do canal artificial) e, por inferência, a área localizada na planície de inundação do córrego Taboão (**Figura 55**) onde concentram-se moradias de população identificada como de grupos de muito alta a altíssima vulnerabilidade socioespacial.

Foto 9: Av. Aguiar da Beira, local impactado em trecho de canalização aberta e dentro da planície de inundação do córrego Taboão, limite entre os distritos de Aricanduva e Sapopemba. Visada NNE. Fonte: Google View.

Figura 54: Vulnerabilidade socioespacial e localização dos pontos atingidos por alagamentos em 08/12/09.

Figura 55: Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundações em 08/12/09.

Segundo informações do radar meteorológico de Ponte Nova, o evento chuvoso que culminou nestes impactos teve início às 14:03 GMT do dia 07/12, teve pico às 3:13 GMT de 08/12 e terminou às 02:09 GMT do dia 09/12. De acordo com o relatório do SAISP para o evento, houve a formação de um cavado organizado desde o centro de baixa pressão no sul amazônico dando início a um episódio de Zona de Convergência de Umidade, estendendo-se do norte ao litoral do estado de São Paulo. Ainda, considera-se que este tipo de configuração é

responsável por chuvas de intensidade moderada e com persistência de alguns dias, geralmente intensificadas entre as horas da noite e madrugada.

Figura 56: Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 07-09/12/09. Fonte: SAISP, 2009.

Figura 57: Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 07-09/12/09. Fonte: SAISP, 2009.

Se comparada a **Figura 56** que representa imagem ACUMM gerada para o evento e a **Figura 57** com as isoietas resultantes da interpolação dos dados de chuva das estações trabalhadas, observamos consistência no padrão de espacialização da chuva registrada. Pode-se observar os altos valores totais acumulados sobre toda a bacia (apresentando um total de precipitação ponderado de 88,7 mm, um valor diário extremo para a temporada), enquanto há concentração dos volumes máximos na região da Vila Prudente ao Sapopemba (da nascente ao médio curso do córrego Taboão).

Figura 58: Isoietas do total acumulado para o período durante 07 e 08/12/09. **Tabela 9:** Valores de precipitação incidente sobre a área entre 07-08/12/09, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.

Estações (2000)	Área (Km²)	% da BH	07-08/12/09	Ponderado
Aricanduva Foz	8.3	8.1%	104.5	8.5
Vila Formosa	50.5	49.3%	71.9	35.4
Vila Prudente	0.1	0.1%	111.0	0.1
Itaquera	36.7	35.8%	106.8	38.2
Guaio	6.9	6.7%	95.7	6.4
TOTAL	102.5	100.00%		88.7

Os dados das estações fluviométricas na bacia demonstram consistência com a variação temporal apontada para a precipitação neste evento. A estação próxima ao shopping Aricanduva (à montante, embora bastante próxima de onde o córrego Taboão deságua no Aricanduva) aponta o ápice na cota próximo às 6:00 local (**Quadro 36**), atingindo o nível emergencial. Cerca de 3 horas depois, a estação na foz do Aricanduva (**Quadro 37**) registrou a maior medição do período, com uma cota quase 4 metros mais alta do que a média. Portanto, combinando o detalhamento horário apresentado pelas medições fluviométricas, do radar meteorológico e das informações sobre os pontos alagados do CGESP, podemos concluir que a inundação da área vulnerável na região do Sapopemba teria tido início igualmente nas primeiras horas da manhã do

dia 08/12, em consequência de evento chuvoso prolongado desde a tarde do dia anterior e intensificado durante a madrugada.

Quadro 36: Leitura fluviométrica do evento de 07-09/12/09 na estação Shopping Aricanduva. Fonte: SAISP, 2009.

Quadro 37: Leitura fluviométrica do evento de 08/12/09 na estação Aricanduva Foz. Dados: EMAE.

Quando aplicado o modelo espacial do cenário original de tendências hidrodinâmicas de superfície (**Figura 59**), encontra-se uma grande diferença entre os valores máximos e mínimos de precipitação excedente na bacia, sendo os máximos registrados nas cabeceiras de drenagem na região do Parque do Carmo e dos setores mais altos da bacia. Em comparação, após a aplicação do modelo com tendências no cenário antropizado, os valores mais altos podem ser identificados como gerados longo de toda a bacia, incluindo os setores mais baixos (onde ocorreram os dois alagamentos), que anteriormente representavam os locais com os menores valores. Deve ser notado ainda que no médio curso do córrego Taboão há trecho onde o padrão

de arruamento configura-se como altamente favorável à geração de escoamento concentrado (ruas perpendiculares ligando os setores mais altos da vertente diretamente ao fundo de vale).

Figura 59: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 07-08/12/09.

Figura 60: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 07-08/12/09.

É importante destacar, portanto, a grande diferença entre a precipitação excedente gerada por este evento chuvoso nos dois cenários comparados. Primeiramente, há grande aumento na diferença do valor mínimo gerado e o quartil inferior, isto é, que representa o limite do grupo que concentra $\frac{3}{4}$ dos valores calculados para toda a bacia. Em segundo lugar, destaca-se que, na distribuição, os valores encontrados a partir do modelo do cenário antropizado são, em sua maior parte, superiores ao terceiro quartil do conjunto de valores obtidos no cenário original. Isso significa uma concentração maior da parte mais representativa dos valores de precipitação excedente mais próximos aos máximos registrados.

Quadro 38: Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 07-08/12/09.

Em conclusão, no caso destes impactos registrados no dia 08/12/09, para sua ocorrência temos necessariamente a combinação de fatores como: 1- as fragilidades estruturais de obras no meio urbano, como o estrangulamento do canal do Aricanduva que culmina em seu extravasamento; 2- alta vulnerabilidade socioespacial da população afetada, no caso das ocupações às margens do córrego Taboão; 3- insumos climáticos excepcionais, com chuvas prolongadas e de altas intensidades; 4- e intensificação de tendências naturais pela influência antrópica: a alta densidade de construção e impermeabilização de áreas que originalmente tinham menor tendência à geração de grandes proporções de escoamento.

6.5.5. Ocorrência do dia 08/01/2010.

Noticiado pela Folha de São Paulo em 09 de janeiro de 2010, o episódio de inundação do dia 08/01/10 impactou ocupações à beira da Avenida Sapopemba na altura em que esta segue

em paralelo ao córrego Guabirobeira, no Jardim Santo André. Destaca-se na notícia o grande impacto material que a inundação causou aos moradores do local que, na quase totalidade do locais afetados (citados pela reportagem), pertencem aos grupos de maior vulnerabilidade socioespacial (**Figura 61**). Dentre as localidades tocadas, destacam-se as moradias entre os números 22.200 e 25.500 da Avenida Sapopemba, que se caracterizam como um aglomerado subnormal, com população de altíssima vulnerabilidade social e dentro de uma planície de inundação alveolar. É notado ainda que neste dia foram registrados 68 alagamentos na cidade, mas nenhum foi registrado na bacia do Aricanduva, um caso de exceção para o mês de janeiro de 2010.

Foto 10: Localidade identificada como de vulnerabilidade mais alta às margens do córrego Guabirobeira. Foto: Google View.

Figura 61: Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 08/01/10.

Segundo o relatório de evento de chuva do SAISP, baseado nas imagens geradas a partir de dados do radar meteorológico, a chuva teve início às 13:30 GMT do dia 07/01, teve como horário de pico às 18:40 GMT do dia 07 e terminou às 00:17 GMT do dia 09/01. Foi identificada a atuação de um cavado, posicionado sobre o litoral de São Paulo, estendendo-se a partir de um sistema estacionário mais afastado do continente. Por conta deste sistema, altas temperaturas e umidade presentes, há formação de áreas de instabilidade que provocaram chuva em toda a faixa leste do Estado. O resultado deste tipo de precipitação, espacializada habitualmente em células, pode ser observada na **Figura 63** (imagem ACUMM), onde é notável grandes valores acumulados na área que corresponde à porção mais ao sul da BHA.

Figura 62: Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 07-09/01/10. Fonte: SAISP, 2010.

Figura 63: Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 07-09/01/10. Fonte: SAISP, 2010.

A partir da interpolação por krigagem dos dados das estações pluviométricas utilizadas na área, há consistência das isoietas geradas com a imagem ACUMM produzida para o evento. Os valores máximos (até 77,9 mm) de precipitação registrada concentraram-se, de fato, no setor mais ao sul da bacia, onde concentram-se grande número de cabeceiras de drenagem, inclusive aquelas da sub-bacia do córrego Guabirobeira. Estes totais se distribuem de maneira decrescente até o setor médio da bacia, registrado no quadrante oeste os menores valores de precipitação

acumulada. Quando ponderados a partir da técnica de diagrama de Voronoi (**Tabela 10**), os dados das estações apontam um total médio de 24,8mm precipitados sobre a área da bacia, o que representa um valor classificado como alto para a temporada, embora não extremo.

Figura 64: Isoietas do total acumulado para o período durante 07 e 08/01/10.

Tabela 10: Valores de precipitação incidente sobre a área entre 07-08/01/10, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.

Estações (2000)	Área (Km²)	% da BH	07-08/01/10	Ponderado
Aricanduva Foz	8.3	8.1%	28.4	2.3
Vila Formosa	50.5	49.3%	23.6	11.6
Vila Prudente	0.1	0.1%	15.2	0.0
Itaquera	36.7	35.8%	24.3	8.7
Guaio	6.9	6.7%	32.1	2.2
TOTAL	102.5	100.00%		24.8

Observa-se pela leitura dos gráficos de variação das cotas do rio Aricanduva que este não atingiu o nível de Atenção durante todo o evento chuvoso (médio curso, altura do shopping Aricanduva) com dois picos, um por volta das 21h do dia 07 e próximo das 15h do dia 08/01. Houve ainda uma elevação máxima de 1,3m entre as 16:00 e 20:30 do dia 08/01 segundo a estação instalada próximo à sua foz (**Quadro 39**), o que não representa uma taxa excepcional segundo a série histórica. Tais registros suportam a hipótese de que o insumo do evento chuvoso

tiveram um efeito mais circunscrito aos sistemas fluviais das sub-bacias do alto Aricanduva. Este detalhamento dos dados fluviométricos permite ainda inferir que a inundação teve início na noite do dia 07 para 08, quando também houve o pico de precipitação, registrada em área que corresponde ao sul da bacia estudada, com uma diferença de poucos minutos entre os dois fenômenos.

Quadro 39: Leitura fluviométrica do evento de 07-09/01/10 na estação Shopping Aricanduva. Fonte: SAISP, 2010.

Quadro 40: Leitura fluviométrica do evento de 07-08/01/10 na estação Aricanduva Foz. Dados: EMAE

Após a aplicação do modelo espacial com os dois cenários (original e antropizado) para comparação dos valores de precipitação excedente, nota-se, neste caso, a semelhança entre as áreas apontadas como fontes dos maiores volumes de escoamento. Isto se dá, pois, os maiores volumes de precipitação acumulada foram registrados no setor mais alto da bacia, onde, no cenário original, predominam altas declividades, solos rasos e afloramentos de rochas do embasamento cristalino, e predomínio de feições que favorecem o escoamento concentrado. No cenário antropizado, as mudanças no uso e ocupação do solo alteraram as proporções de precipitação excedente gerada e elevaram os valores máximos e mínimos identificados (**Quadro 41**), mas, dada a distribuição das chuvas, a área com maior contribuição proporcional segue sendo o setor de cabeceiras da alta bacia.

Figura 65: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 07-08/01/10.

Figura 66: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 07-08/01/10.

Quadro 41: Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 07-08/01/10.

Com a análise deste episódio de enchente, temos a identificação de um evento impactante sobre uma população de evidente vulnerabilidade socioespacial efetivado a partir de condições que poderiam desencadeá-lo (enquanto inundação natural, não risco) mesmo no cenário original. Isto, pois, contou com a introdução de insumos climáticos bastante localizados em área naturalmente conformada para a geração de maiores proporções de escoamento concentrado. Ao mesmo tempo, as áreas afetadas estão totalmente inseridas dentro de uma planície de inundação. Além disso, exatamente a localidade com a população mais socioeconomicamente vulnerável, está em uma planície alveolar, que se caracteriza pela retenção mais prolongada da água e sedimentos a ela direcionada pelo sistema fluvial e de vertente por conta do estreitamento do vale à sua jusante. Desta forma, ainda que sem totais de precipitação extremos ou de grande amplitude, e sem registro de elevações consideráveis nos níveis do rio principal, há ocorrência de episódio com alto impacto social dentro do contexto de um subsistema da bacia.

6.5.6. Ocorrência do dia 21/01/2010.

Nas primeiras horas do dia 21 de janeiro de 2010, entre 3:28 e 5:40 foram registrados pelo CGESP cinco alagamentos próximos à avenida Aricanduva, bem como uma inundação em área residencial nas proximidades, mas sem maiores detalhamentos. São destacados grandes danos materiais aos moradores da região, bem como grandes transtornos ao trânsito, sendo registrados no dia 17 pontos de alagamento na zona leste e 109 na cidade de São Paulo. Os

alagamentos foram registrados em pontos relativamente próximos e em local onde se identificam diversos terraços antrópicos (não nivelados) dentro da planície do Aricanduva.

Foto 11: Trecho ao longo da Av. Aricanduva onde foram registradas ocorrências em 21/01/10. Visada SE. Foto do autor.

Figura 67: Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 21/01/10.

De acordo com o relatório do SAISP, o evento de chuva teve início às 18:25 GMT do dia 20/01, passando por horário de pico às 3:30 GMT do dia 21/01 e terminou às 11:51 do dia 21/01. Ainda segundo mesmo relatório, a gênese deste episódio está ligada ao deslocamento de

um sistema frontal (FPA), acompanhando a formação de grandes áreas de instabilidade no interior do estado que se propagaram, atingindo a região metropolitana e causando chuvas fortes e persistentes. Nota-se a correlação entre o horário de pico da precipitação e o início de registros de alagamentos na bacia do Aricanduva.

Figura 68: Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 20-21/01/10. Fonte: SAISP, 2010.

Figura 69: Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 20-21/01/10. Fonte: SAISP, 2010.

Para interpolação dos dados de chuvas das estações e geração das isoietas, foram somados os totais acumulados para os dias 20 e 21, dado que as leituras do radar meteorológico apontam para a ocorrência de precipitação dividida entre as duas datas. É notável a distribuição com valores considerados muito altos para a temporada sobre toda a bacia, como habitual no caso de chuvas frontais, com os maiores totais concentrados no extremo sul da bacia e espacializados em magnitude decrescente até o setor mais baixo da bacia. Quando ponderados os totais acumulados nas estações, é apontado uma precipitação média de 64,3mm para a área da bacia, o que representa um valor muito elevado para a temporada chuvosa.

Figura 70: Isoietas do total acumulado para o período durante 20-21/01/10. **Tabela 11:** Valores de precipitação incidente sobre a área entre 20-21/01/10, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.

Estações (2000)	Área (Km²)	% da BH	20-21/01/10	Ponderado
Aricanduva Foz	8.3	8.1%	54.5	4.4
Vila Formosa	50.5	49.3%	51.0	25.1
Vila Prudente	0.1	0.1%	73.2	0.1
Itaquera	36.7	35.8%	86.6	31.0
Guaio	6.9	6.7%	54.9	3.7
TOTAL	102.5	100.00%		64.3

A estação fluviométrica instalada no rio Aricanduva à altura do shopping aponta que a elevação do nível do rio começou por volta das 2:00 do dia 21/01, atingindo um pico em sua cota próximo às 4:00 do mesmo dia (o que coincide com os registros do radar), quando registrou nível de emergência e ficou a 30 cm do nível de extravasamento. Deve ser observado que os pontos de alagamento localizam-se à jusante deste ponto de medição, onde começa o já destacado trecho em que o Aricanduva tem capacidade de canal reduzida. Logo, pode-se considerar que mesmo que a vazão neste episódio não tenha elevado o nível do rio à marca de “extravasamento” onde há o ponto de medição, esta pode ter sido suficiente para gerar o referido extravasamento no

trecho onde o canal comporta menor volume. Comparando-se os quadros 41 e 42, é notável o delay de cerca de duas horas entre os registros de pico de cada estação. Desta forma, temos a configuração de uma onda de cheia, que provocou uma elevação da ordem de 3 metros na altura do shopping Aricanduva e 4 metros em sua foz.

Quadro 42: Leitura fluviométrica do evento de 07-08/12/09 na estação Shopping Aricanduva. Fonte: SAISP, 2010.

Quadro 43: Leitura fluviométrica do evento de 21/01/10 na estação Aricanduva Foz. Dados: EMAE.

Aplicando-se o modelo espacial para os dois cenários a serem comparados há, primeiramente, uma considerável diferença entre as áreas fontes das maiores proporções de precipitação excedente. Enquanto no cenário original há, como esperado, maior contribuição das áreas de cabeceira na alta bacia no quadrante sudeste, no cenário antropizado há identificação de áreas com alta proporção de precipitação excedente em todo o setor médio a alto da bacia. O resultado disso é uma considerável elevação do valor máximo encontrado entre os dois cenários, além de um grande aumento na diferença entre o valor mínimo observado e o quartil inferior de valores calculados. Temos ainda uma mudança destacável, na carta obtida para o cenário

antropizado, na proporção de valores do quartil superior que representam uma grande parcela na distribuição dos valores de precipitação excedente.

Figura 71: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 20-21/01/10.

Figura 72: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 20-21/01/10.

Quadro 44: Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 20-21/01/10.

Em volumes absolutos, calcula-se um incremento de cerca de 700.000 m³ de escoamento gerado entre os cenários original e antropizado, isto, sem considerar a influência de determinados setores onde os padrões de arruamento e estrutura de micro drenagem urbana influenciam para que este montante seja efetivamente superior. Logo, é justificada a pequena diferença entre os horários de registro do ápice de precipitação, e picos de medição nas estações fluviométricas, ocasionada pela rápida transferência de grandes volumes de precipitação excedente por um sistema hidrogeomorfológico alterado. Em conclusão, podemos verificar que este episódio ocorreu em consequência de processos notadamente intensificados pela ação antrópica sobre o balanço hidrodinâmico da bacia.

6.5.7. Ocorrência do dia 04/02/2010.

No final da tarde do dia 04 de fevereiro de 2010, entre 17:27 e 18:42, foram registrados alagamentos em diferentes pontos da avenida Aricanduva, desde seu cruzamento com a Avenida Itaquera até a rua Tumucumaque. Além disso, foi registrada inundação provocada por extravasamento do rio Aricanduva entre o Parque Maria Luiza e a Vila Carrão, segundo informações da Folha de São Paulo, em ambos os sentidos da avenida e com maior avanço sobre a área à margem esquerda do rio. Em toda a área impactada concentra-se população de média a média alta vulnerabilidade socioespacial, visto que se localizam dentro da planície de inundação original ou em áreas com terraceamentos antrópicos sem um nivelamento altimétrico consideravelmente mais elevado. É importante ter em conta que o dia anterior (03/02) também

registrou alagamentos na região da bacia, durante o período da noite, no entanto, sem maiores impactos além de transtornos ao trânsito. Já os episódios do dia 04/02 caracterizaram-se pelas grandes perdas materiais e danos estruturais registrados, por terem impactado áreas residenciais e comerciais.

Foto 12: Bancos de areia no interior do canal artificial do rio Aricanduva em seu trecho estrangulado, na Vila Carrão. Visada NO. Foto do autor.

Figura 73: Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação e alagamentos em 04/02/10.

A leitura das imagens geradas a partir da varredura do radar meteorológico, realizada pelo SAISP para este evento chuvoso, identifica que este teve início às 15:24 GMT do dia 04/02, com horário de pico às 18:29 GMT do mesmo dia e com término às 05:04 GMT do dia 05/02, o que gerou “erros” no registro de precipitação acumulada pelo radar e estações utilizadas (por conta do horário de zeramento). De acordo com a interpretação sinótica, foram fatores termodinâmicos locais que determinaram a formação de sistemas produtores de chuva sobre a RMSP caracterizando, portanto, precipitação com origem em células convectivas. Deve ser notado na imagem que representa o pico de precipitação a incidência de chuva com intensidade acima de 100 mm/h na área que corresponde à média e baixa bacia do Aricanduva.

Figura 74: Imagens CAPPI do período de início, ápice e fim do evento chuvoso de 04-05/02/10. Fonte: SAISP, 2010.

Figura 75: Imagem ACUMM para o período do evento chuvoso de 04-05/02/10. Fonte : SAISP, 2010.

Tomando como exemplo os registros da estação Foz Aricanduva, que apresenta como total acumulado diário a soma de suas medições horárias entre 00:00 e 23:00 local, notamos que para a mais acurada interpolação dos dados deste evento de chuva, seria necessário utilizar a soma dos totais dos dias 03 e 04 de fevereiro. Isto, pois, apenas valores muito baixos (0,2mm) ou

nulos (no caso de Itaquera, com registros às 9:00 local) foram registrados para o dia 05/02. Tomando este cuidado com a espacialização dos dados, a carta de isoietas apresenta uma distribuição dos totais de chuva bastante condizentes com a imagem ACUMM (**Figura 75**), onde destaca-se os máximos de precipitação incidentes sobre a área de cabeceiras no quadrante leste e menor no limite sul da bacia. Ainda, quando considerado o valor ponderado para a superfície da bacia, de 75,5mm (**Tabela 12**) trata-se de volume extremo para esta temporada chuvosa, oque é especialmente significativo para a ocorrência de inundação como registrada quando consideramos a alta intensidade com que a precipitação ocorreu.

Figura 76: Isoietas do total acumulado para o período durante 03-04/02/10.

Tabela 12: Valores de precipitação incidente sobre a área entre 03-04/02/10, ponderados a partir de diagrama de Voronoi.

Estações (2000)	Área (Km²)	% da BH	03-04/02/10	Ponderado
Aricanduva Foz	8.3	8.1%	63.2	5.1
Vila Formosa	50.5	49.3%	71.4	35.2
Vila Prudente	0.1	0.1%	71.5	0.1
Itaquera	36.7	35.8%	92.0	32.9
Guaio	6.9	6.7%	32.0	2.2
TOTAL	102.5	100.00%		75.5

Como único caso entre as ocorrências de inundações analisadas neste estudo, no dia 04/02/10 foi registrado que o nível do rio Aricanduva, na altura do shopping, superou a marca de extravasamento, por 2 cm. A elevação da cota durante o episódio foi da ordem de 4 metros em aproximadamente uma hora e meia (**Quadro 45**) e coincide com o horário registrado como de pico da precipitação pelas imagens do radar meteorológico. Já na estação da foz do Aricanduva o pico é registrado por volta das 19:30 (**Quadro 46**), e representou uma elevação de cerca de 3,8m no nível fluvial. Estas informações são especialmente esclarecedores por conta de sua consistência com o horário de registro do início dos alagamentos, permitindo inferir a ocorrência da inundação como consequência da onda de cheia identificada deslocando-se pelo trecho com a menor capacidade de calha do canal artificial.

Quadro 45: Leitura fluviométrica do evento de 04-05/02/10 na estação Shopping Aricanduva. Fonte: SAISP, 2010.

Quadro 46: Leitura fluviométrica do evento de 04/12/10 na estação Aricanduva Foz. Dados: EMAE.

Observando-se as imagens com os valores gerados pela aplicação do modelo espacial, é notável que, no cenário original há grande participação da área das cabeceiras no quadrante leste da bacia (que hoje corresponde ao Parque do Carmo) como produtora das maiores proporções de excedente de precipitação (**Figura 77**). Isso muda consideravelmente quando aplicadas as informações de espacialização da chuva sobre o cenário antropizado, o que permite evidenciar a participação igualmente significativa de diversas áreas na média e baixa bacia na produção de escoamento concentrado (**Figura 78**). Com este tipo de informação, é possível observar uma situação em que, por conta da intervenção urbana, há uma destinação muito maior de fluxos por toda a bacia, mas especialmente pelos tributários da margem esquerda do Aricanduva.

Figura 77: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva interpolados de 03-04/02/10.

Figura 78: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado 2) sobre dados de chuva interpolados de 03-04/02/10.

Quadro 47: Diagrama em caixa representado a distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica pelos modelos espaciais, para o evento chuvoso de 04/12/10.

Quanto à distribuição dos valores de precipitação excedente obtidos pela aplicação dos modelos, notamos o considerável aumento do máximo identificado e diferença entre o valor mínimo e o quartil inferior da maior parcela de valores. Em termos de volume absoluto de

escoamento gerado, esta alteração entre o resultado do cenário original e antropizado, significa aproximadamente 790 mil m³ de água escoada a mais por conta das mudanças no uso e ocupação do solo, sem se considerar o incremento produzido pela estrutura de arruamento e microdrenagem urbana. Quando interpretado à luz do que foi detalhado sobre a intensidade da precipitação registrada e a formação da onda de cheia identificada pelas medições fluviais, este volume de escoamento concentrado indica o papel determinante do curto intervalo de tempo entre desencadeamento de fenômenos e consequentemente para a ocorrência dos impactos conforme espacializados neste episódio.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Quadro 48: Resumo dos principais resultados obtidos.

Resultado	Item
Articulação de conceitos da geomorfologia e climatologia sob a temática interdisciplinar dos riscos.	3.1. e 3.2.
Identificação de correlação inexata entre dias com totais de precipitação mais elevados e aqueles com inundações/alagamentos mais impactantes (extremos).	6.1.
Listagem e espacialização de todos os episódios de inundações e alagamentos na área de estudo em dois períodos representativas de sua ocupação.	6.2.
Desenvolvimento de um modelo espacial para correlação quantitativa de dados de chuva interpolados e caracteristas de superfície da bacia hidrográfica.	6.3.
Classificação das áreas ocupadas na área de estudo de acordo com classes de vulnerabilidade socioespacial, com a identificação de locais críticos.	6.4.
Proposta e aplicação de metodologia para análise em perspectiva sistêmica dos diversos elementos envolvidos em episódios de grande impacto.	6.5.

A partir de cada etapa de produção cartográfica e análise de informações obtidas para atender à proposta de análise retrospectiva de cada episódio de inundação registrada na bacia do Aricanduva, entre as décadas escolhidas, foi possível conceber diferentes aspectos relacionados à espacialização dos impactos. Primeiramente, não há correlação direta e exata entre eventos de precipitação com volumes diários classificados como extremos e os dias com registros de inundações mais severas, em ambas as décadas. Isto é algo também evidenciado em trabalhos como de Gonçalves (2009), Simas (2013) e Armond (2014). No entanto, são notáveis as diferenças encontradas no ritmo das chuvas quando comparados os dados da temporada de 1976-77 e 2009-10, destacando-se a diminuição de dias com totais inferiores a 5mm e aumento daqueles superiores a 10mm. O detalhamento destas chuvas quanto à sua distribuição sobre a área da bacia e sua intensidade (relação volume/tempo) evidencia estes dois fatores (distribuição + intensidade), em detrimento da variável do total acumulado diário, como aqueles de maior

importância a serem observados quando se avaliam os eventos chuvosos desencadeadores de episódios de enchentes. Baseado nesta análise, faz-se um adendo sobre a necessidade de um constante esforço por parte das agências responsáveis pela observação dos elementos fluviais e climáticos na região metropolitana para adensarem a rede de observação, bem como tornarem mais facilmente acessíveis os dados disponíveis.

O fator distribuição espacial da precipitação assume grande importância quando observadas as características presentes entre os diferentes setores da bacia. Em suas condições originais, os setores da alta bacia têm maior tendência à geração de altas proporções de escoamento concentrado, aqueles da média bacia são onde se encontram as áreas com maior propensão à infiltração, enquanto os da baixa bacia, há a tendência de concentração e acumulação mais prolongada de fluxos para lá direcionados por todo o sistema. Na década de 70, a ocupação se concentrava entre os setores da baixa e média bacia, comprometendo a função desempenhada por estas áreas, o que resultou em maiores taxas de precipitação excedente entre os eventos chuvosos e criação de novas áreas geradoras de fluxos concentrados onde originalmente a tendência era o inverso. Na década de 2000, esse processo encontra-se amplamente intensificado, estendendo-se à alta bacia e às cabeceiras de drenagem de modo generalizado o que, deste modo, intensificou a tendência natural destas área à geração das mais elevadas taxas de escoamento em toda a bacia. Podemos resumir este impacto antrópico sobre o sistema físico com a informação de que as áreas da classe de maior tendência para infiltração foram reduzidas em mais de 99%, enquanto aquelas das classes de maior tendência ao escoamento aumentaram mais de 18000%. Portanto, onde a precipitação incide com maior intensidade está diretamente relacionado às magnitudes de escoamento gerado e seu direcionamento às áreas onde estão os elementos em risco. Este outro fator, o direcionamento de fluxos nos sistemas de vertente e nas planícies fluviais, bem como o melhor acesso às condições de precipitação antecedentes, são igualmente passíveis de serem incorporados a uma modelagem espacial das tendências hidrodinâmicas de superfície (conforme apresentado em WEILER et al, 2016) e representa um próximo passo no desenvolvimento da proposta de análise que aqui foi pretendido iniciar.

Quanto aos episódios de enchente em si, a quase totalidade das ocorrências registradas nos períodos analisados foram registradas em localidades com configuração de planícies de inundação, seja do Aricanduva ou de córregos tributários. Tal resultado reforça a importância da observação dos limites originais dos compartimentos da planície fluvial, uma vez que a planície de inundação é, por excelência, o espaço onde se manifestam os fenômenos referidos, o que já

foi apontado para diferentes bacias urbanizadas na cidade de São Paulo (MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010, BERGES, 2013, VENEZIANI, 2014, LUZ, 2014).

Evidencia-se que a recorrência de impactos (de enchentes e alagamentos), confirmados em ambas as décadas, sobre a área delimitada entre o cruzamento da Avenida Aricanduva com a Avenida Itaquera até a rua Tumucumaque, é explicada pela redução de capacidade do canal exatamente neste trecho, bem como pelo fato de ser uma área totalmente compreendida na planície de inundação original. O fato da existência desta falha na estrutura de engenharia é conhecida e figura em relatório elaborado por órgão estadual competente (DAEE, 2011). O fator estrutural da malha urbana, neste caso o padrão de arruamento em uma sub-bacia de curso intermitente, também foi identificado como determinante para o episódio na região da rua Montserrat, que não voltou a ser impactado na década mais recente. Já os episódios registrados na média-alta bacia em 2009-10, onde na temporada de 1976-77 nada foi confirmado, evidenciam novas condições de vulnerabilidade socioespacial desenvolvidas entre os períodos analisados que levaram à exposição de grupos vulneráveis em novas localidades de risco.

Considerando-se isso, é dado todo o destaque para a emergência de medidas que visem atender às 20 localidades que foram identificadas como de altíssima vulnerabilidade dentro do compartimento de maior susceptibilidade a inundações possível (**Quadro 26, no item 6.4**). Dadas as condições socioeconômicas dos moradores destes locais e a natural propensão à ocorrência de eventos de inundação nas áreas onde estão assentados, que podemos apontar como intensificada devido às mudanças realizadas em setores à montante, medidas que visem o aumento da resiliência e capacidade de mitigação de impactos futuros devem ser priorizadas.

A construção de piscinões, especificamente, demonstrou-se insuficiente para suprimir o fenômeno, já que as continuas mudanças sobre todo o sistema hidrogeomorfológico alteraram as taxas e volumes com que o fornecimento de água para os rios da bacia ocorre, assim como suprimiram as áreas onde havia a maior tendência natural para comportação de precipitação excedente e o amortecimento de cheias. A ineficácia dos piscinões instalados na bacia passa ainda por sua insuficiência para comportar volumes de escoamento tais como os identificados para um evento de precipitação extrema a partir da modelagem espacial aqui desenvolvida. Pudemos exemplificar, a partir de um dos eventos analisados, que a diferença entre a capacidade máxima de estocagem de todos os piscinões na bacia (quando desassoreados, o que não é o caso) e o volume de água escoada decorrente da maior chuva da década de 70, foi da ordem de quatro vezes. Coincidentemente, também foi possível estimar que a capacidade perdida de retenção/armazenamento de água de inundações exercida pelas planícies de inundação, por conta

da ocupação urbana presente dentro destas áreas, também supera em quatro vezes a soma da capacidade máxima dos piscinões instalados na bacia.

Estas constatações permitem ainda reflexões sobre a efetividade de outros tipos de intervenções realizadas entre as décadas de 70 e 2000, que visavam a redução dos impactos provocados por enchentes. A canalização de cursos tributários (como o córrego dos Machados, ou o córrego Limoeiro) provou ser insuficiente para evitar a ocorrência de inundações em suas proximidades, uma vez que estas ocorreram, como esparado, dentro dos limites de suas planícies de inundação originais, persistentemente ocupadas por populações vulneráveis nos últimos anos. Sua inadequação passa ainda pelo fato que estas obras hidráulicas foram implementadas com base em limiares (como tempo de retorno de vazões de pico) que foram há muito superados, dadas as taxas de impermeabilização que elevaram exponencialmente o volume e velocidade do fornecimento de água das vertentes aos córregos. Igualmente, os esforços para desassoreamento e manutenção do canal artificial do rio Aricanduva, como a instalação de caixas de contenção para os sedimentos, são sobrepujados pelo (presumivelmente) elevado volume de sedimentos gerados nas áreas no setor sudeste da bacia, para onde tem se expandido a ocupação nas últimas décadas e que, portanto, encontram-se no estágio de perturbação ativa.

Pragmaticamente falando, portanto, o primeiro objetivo a ser assumido para medidas direcionadas ao problema das inundações e alagamentos na BHA é a preservação das áreas de extravasamento natural do Aricanduva e seus tributários ainda remanescentes, dada a evidência de que o serviço prestado por estas áreas não pode ser compensado pela construção de piscinões em um cenário realista. Para tanto, considerando as características socioeconômicas da população residente nas áreas que atualmente estão consolidando a ocupação, a criação de parques lineares ou outros equipamentos urbanos que permitam usos múltiplos atenderiam, além da necessidade de preservação de um passivo ambiental, à carência de lazer e qualidade ambiental urbana destas áreas.

Em conclusão, as inundações na bacia do Aricanduva demonstram um processo histórico de produção do espaço urbano que evidencia o acúmulo de equívocos produzidos por um modelo urbano desenvolvido com total desconsideração sobre as limitações do sítio onde se desdobrou, levando à maior exposição de determinados grupos sociais. Isto é, expõem-se mais aqueles que não possuem a capacidade de consumo dos espaços menos susceptíveis aos eventos comprovadamente possíveis, já que esta susceptibilidade é fator integrante do processo de valoração dos espaços habitáveis. E justamente estes grupos, por definição mais vulneráveis e expostos, são proporcionalmente os mais impactados pelas respostas dos sistemas físicos às novas condições impostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

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.

ALVES, H. P. F. A. 2006. Vulnerabilidade socioespacial na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos da População**, v. 23, n. 1. Pag. 43-59.

ARMOND, N. B. 2014. **Entre eventos e episódios: As excepcionalidades das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

AZEVEDO, T. R. de; GALVANI, E. A frente polar atlântica e as características de tempo associadas: Estudo de caso. In.: **Climatologia aplicada: resgate aos estudos de caso**. Org.: Galvani, E.; Lima, N. G. B. de. 1ª edição. Curitiba: Editora CRV, 2012.

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.

BIGARELLA, J. J. 2009. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC.

BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER B. 1994. **At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters**. 1ª edição. New York: Routledge.

BORSATO, V. A.; BORSATO, F. H.; SOUSA, E. E. 2004. **Análise Rítmica e a variabilidade têmpora-espacial**. In. : VI Simpósio brasileiro de Climatologia geográfica. Teoria e metodologia em climatologia. Aracajú: UFSE, Núcleo de pós graduação geográfica.

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

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)

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

CANHOLI, A. P. 2005. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos.

CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS DE SÃO PAULO - CGESP. Eventos de alagamentos. Disponível em: <http://www.cgesp.org/v3/alagamentos.jsp>. Acesso em 08/11/2014.

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.

CHOW, V. T. 1964. Runoff. In.: CHOW, V. T. (Org.) **Handbook of Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill.

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

CLARK, M. 1998. Putting water in its place: A perspective on GIS in hydrology and water management. **Hydrological Processes**, n. 12. Pag. 823-834

CLARO, M. S. 2003. **Unidades morfológicas complexas na bacia hidrográfica do Córrego da Tapera, São Paulo/SP: contribuição ao planejamento urbano e ambiental**. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

COLANGELO, A. C. 1996. O modelo de feições mínimas, ou das unidades elementares de relevo. Um suporte cartográfico ara mapeamentos geoecológicos. São Paulo : **Revista do Departamento de geografia**, FFLCH/USP, nº10, pág. 29-40.

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.

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.

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.

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 : 10/09/2014.

FOLHA DE S. PAULO. Acervo online. Disponível em : <http://acervo.folha.uol.com.br/>. Acesso em : 10/09/2014.

FREITAS, M. I. C., CUNHA, L. 2013. Cartografia da vulnerabilidade socioespacial: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. **Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n.1. Pag 15-31.

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.

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

GAZETA DE SÃO MATHEUS. 3 de dezembro de 2009. **Fúria da Natureza deixa povo desabrigado em São Matheus**. Caderno único, pág. 1.

GILMAN, C. S. 1964. Rainfall. In.: CHOW, V. T. (Org.) **Handbook of Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill.

GONÇALVES, N. M. S. 2009. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In.: **Clima Urbano**. Org: Monteiro, C. A. de F.; Mendonça, F. 1ª edição. São Paulo: Contexto.

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.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico- Geomorfológico**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

GUPTA, A. 1984. Urban hydrology and sedimentation in the humid tropics. In.: **Developments and Applications of Geomorphology**. Costa, J. E., Fleisher, P. J. (Org). Berlim: Springer. Pág. 240-267.

_____. 2010. The Hazardousness of high-magnitude floods. In: ALCANTARA-AYALA, I. GOUDIE, A. S. **Geomorphological Hazard and Disaster prevention**. New York: Cambridge University Press, pag. 97-109.

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.

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

HASUI, Y., CARNEIRO, C. D. R. 1975. Origem e evolução da Bacia Sedimentar de São Paulo. In.: **Aspectos geológicos e geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo**. Publicação Especial. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). Pág. 5-13.

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

HUGGET, R. 2011. Process and Form. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

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.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. 2003. **Manual SPRING: Sistema de processamento de informações geográficas**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>. Acesso em 08/04/2015.

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

JENS, S. W. 1964. Hydrology of urban areas. In.: CHOW, V. T. (Org.) **Handbook of Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill.

JOURNAUX, A. 1976. **Baixada Santista: Carta do meio ambiente e de sua dinâmica**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Escala 1:50.000.

KIRKBY, M. J. 1996. A role for theoretical models in geomorphology. In: RHOADS, B. L.; THORN, C. E. (Orgs.). **The scientific nature of geomorphology**. Chichester: John Wiley and Sons. p. 257-272.

KONDOLF, M., PIEGAY, H. 2011. Geomorphology and Society. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do. 1980. **Geologia Geral**. 8ª edição. Sao Paulo: Editora Nacional.

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.

LOMBARDO, M. A. 1985. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC.

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.

MENDONÇA, F. de A. 2004. **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: Editora da UFPR.

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.

_____. **Geossistemas: A história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

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

MOREIRA da SILVA, G. C. 2008. **Opções de Adaptação às Mudanças do Clima para a Bacia do Rio Aricanduva**. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

MOROZ – CACCIA GOUVEIA, I. C. 2010. **Da originalidade do sitio 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.

NAKAMURA, E. T. 2006. **Interferências urbanas no escoamento superficial – aspectos dos critérios técnicos no controle de drenagem e no ordenamento da urbanização na bacia hidrográfica do Córrego Taboão**. Trabalho de conclusão de curso em Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

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

ODONI, N. A., LANE, S. N. 2011. The significance of models in geomorphology : from concepts to experiments. Human activity and geomorphology. GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

OGUCHI, T.; WASKLEWICZ, T. A. 2011. Geographic information systems in Geomorphology. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

OSTROWSKY, M. de S. B., ZMITROWICZ, W. 1991. Urbanização e controle de enchentes: o caso de São Paulo: seus conflitos e inter-relações. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT\PCC\50. São Paulo: EPUSP.

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). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

PIZZUTO, J. 2011. Riverine Environments. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. 2002. **Atlas ambiental do Município de São Paulo**. São Paulo, 2002. Disponível em: < <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br> >. Acessado em 10 de setembro de 2012.

_____. 2006 (a). **Município em Mapas. Série temática: índices sociais**. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempla/mm/index.php>. Acesso em 08 out. 2013.

_____. 2006 (b). **Histórico da Subprefeitura do Aricanduva**. Disponível em : <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/aricanduva/historico/index.php?p=35>. Acesso em 10/07/2014.

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.

RHOADS, B. L., THORN, C. F. The role and character of theory in geomorphology. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

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**, n°20. 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., SANTANA, C. L. 2014. Retrospective Geomorphological Mapping and the historial approach for evaluation of losses of hydrologucal functions in urbanized meandering fluvial systems of São Paulo-Brazil. In: **Annals of the 2014 Internation Conference HEX Hydrological Extreme Events in historic and pre historic times**, Bonn.

ROSS, J. L. S., MOROZ, I. C. 1996. Mapa Geomorfologico do Estado de São Paulo. São Paulo: FFLCH-USP, **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10. Pag. 41-56.

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.

SAVIGEAR, R. A. G. 1965. A technique of morphological mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, 55. Pag 514-538.

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

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

SCHUTZER, J. G. **Dispersão urbana e apropriação do relevo na macro metrópole de São Paulo**. 2012. Tese de doutorado em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SHERLOCK, R. L. 1922. **Man and Geology**. London: Witherby.

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. 2013. **Chuva, vulnerabilidade social e percepção do risco na cidade de São Paulo: impactos de eventos extremos nos bairros da Freguesia do O e do M'Boi Mirim**. Monografia de bacharelado em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

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.; 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 10/11/2015.

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.

TARIFA, J. R; ARMANI, G. 2001. Os climas “naturais”. In.: Org.: Tarifa, J. R; Azevedo, T. R. **Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática**. São Paulo: Geosp.

_____. 2001. Os climas urbanos. In.: **Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática**. Org.: Tarifa, J. R; Azevedo, T. R. São Paulo : Geosp.

TRICART, J. 1976. **Principes et methodes de la géomorphologie**. Paris: Masson.

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.

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

VILA, D. A; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; VELASCO, I. 2008. Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. The American Meteorological Society: **Weather and Forecasting**, 3. Pg. 233-245.

WANG, Y. Q.; ZHANG, X.; LAMPA, W. 2000. Improvement of Spatial Accuracy in natural resources mapping using multisensor remote sensing and multisource spatial data. In.: Proceedings, the 4th International Symposium on Spatial Accuracy. Amsterdam: **Assessment in natural resources and environmental Sciences**. Pag. 723-730.

WHITE. G. F. 1974. Natural hazards research: concepts, methods, and policy implications. In.: WHITE, G. F. (Org.) **Natural hazards: local, national, global**. Nova York: Oxford University Press. Pag. 3-16.

WEILER, M.; STEINBRICH, A.; STOLZLE, M.; LEISTERT, H. 2016. Heavy rainfall induced flash flood management. **Geophysical Research Abstracts**. v. 18 Göttingen: Copernicus GmbH.

WILLIAMS, M. Environmental Change. In.: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. S (Orgs). 2011. **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE Publications.

XAVIER, T. M. B. S.; DA SILVA, J. F.; REBELLO, E. R. G. **A técnica dos quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras**. Brasília: Thesaurus, 2002.