

Análise retrospectiva de inundação na bacia do Rio Aricanduva, São Paulo

Iury Tadashi Hirota Simas¹

Cleide Rodrigues

João Lima Sant'Anna Neto

Resumo: O presente trabalho apresenta bases de concepção e resultados de aplicação de metodologia para análise retrospectiva de eventos de inundação, proposta para contemplar a interação entre elementos climáticos, hidrogeomorfológicos e socioespaciais na efetivação de riscos a este fenômeno. Os procedimentos empregados envolvem a aplicação de técnicas geoestatísticas sobre dados pluviométricos, correlação de dados de leituras de radar meteorológico e de estações fluviométricas para as datas com ocorrências registradas na região da bacia hidrográfica do Rio Aricanduva, na Zona Leste de São Paulo. Com a aplicação de um modelo espacial, foi possível ainda estabelecer uma base quantitativa de análise que integrou informações das tendências hidrodinâmicas de superfície e das chuvas incidentes. Não obstante, a análise buscou integrar o fator da vulnerabilidade socioespacial da população afetada por episódio de inundação, que será detalhado neste artigo, através do cruzamento de informações socioeconômicas com a localização de moradias dentro de compartimentos de planícies fluviais. Dentre os principais resultados, destaca-se a possibilidade que a proposta de análise retrospectiva abre quanto à observação da distribuição espacial do evento chuvoso inicial e o encadeamento temporal dos fenômenos físicos que culminaram em uma inundação, ao atingirem uma localidade de alta vulnerabilidade. Conclui-se que a proposta contribui aos estudos sobre a temática, sobretudo, por indicar um meio de leitura e radicalização de variáveis que, comumente, não são tratadas com igual atenção, uma vez que são enquadradas como objetos de estudo de campos do conhecimento geográfico separados.

Palavras-chave: Inundações, risco, antropogeomorfologia, Geografia do Clima, Zona Leste de São Paulo.

Flood retrospective analysis in Aricanduva River basin, Sao Paulo

Abstract: This paper presents conceptual bases and application results of a methodology for retrospective analysis of flood events, proposed to assess the interaction between climatic, hydrogeomorphologic and socio-spatial elements in the effectiveness of risks related to this phenomenon. The procedures involve the application of geostatistics on rainfall data, compared analysis of data from weather radar readings and river gauge stations from dates with recorded occurrences in the watershed area of Aricanduva river in the East Zone of São Paulo. By applying a spatial model, it was also possible to establish a quantitative basis for analysis that combines information from the surface hydrodynamic spatial trends and incidents rains. Nevertheless, the analysis sought to integrate the socio-spatial vulnerability factor of the population affected by a flood episode, which will be detailed in this paper, through the cross-referencing of socioeconomic information with the location of housings within fluvial plains compartments. Among the results, it's highlighted the possibility shown by the retrospective analysis of floods in regard to assessing the spatial distribution of a triggering rainfall event and the temporal chaining of physical phenomena that culminated in a flood episode upon reaching a location of high vulnerability. In

¹ Mestrando do Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas-USP. E-mail: iurysimas@usp.br

conclusion, this proposal contributes to studies on the subject indicating means of reading and radicalization of variables that are usually not treated with equal attention, since they are labeled as objects of study of separated geographical knowledge fields.

Keywords: *Inundations, risk, anthropogeomorphology, Geography of Climate, East Zone of Sao Paulo.*

Introdução

Ao longo da história de sua urbanização, a cidade de São Paulo apresenta um relacionamento conflituoso na apropriação do seu sítio, que ocorre em diferentes escalas. As inundações na metrópole paulistana são exemplos de eventos desorganizadores dos fluxos cotidianos que ocorrem no espaço urbano, que tornam evidentes os problemas históricos do seu modelo de urbanização. Recorrentes, seus impactos são comumente colocados como consequência única e exclusiva de fenômenos de ordem natural, tal como as chuvas. No entanto, o que há de imprescindível para sua ocorrência é a coincidência entre a susceptibilidade de um determinado espaço a um fenômeno, como a da planície de inundação à ocupação por fluxos excepcionais, e a vulnerabilidade de origem social e econômica dos grupos ali expostos. Neste contexto, notam-se como insuficientes as propostas que permitem apropriação das metodologias da climatologia e geomorfologia enquanto campos do conhecimento geográfico igualmente necessários para uma abordagem integrada do problema dos impactos causados por inundações urbanas. As propostas que consideram tal necessidade encontram respaldo na crescente percepção de que tais fenômenos são eventos naturais e não podem ser impedidos ou totalmente eliminados. Em vista desta demanda, esta pesquisa é pautada na análise concomitante dos sistemas físicos e sociais que caracterizam eventos naturais e seus impactos socioespaciais, direcionando a análise a uma bacia hidrográfica onde se registra a recorrência desses eventos e seus impactos, com presença de grupos vulneráveis que habitam espaços de alta susceptibilidade. Foi considerado o longo histórico de intervenções antrópicas no sistema hidrogeomorfológico (canalizações, instalação de piscinões, ampla impermeabilização, etc.) e, para tanto, a análise retrospectiva abrangeu dois períodos representativos de sua ocupação, sendo aqui tratada apenas a década mais recente (2001-10). Nesta proposta considera-se que o componente do escoamento superficial, como elemento participante das dinâmicas de sistemas fluviais e de vertente originário de insumos climáticos, é especialmente significativo para ser focado em uma análise comparativa a ser estabelecida entre tendências de processos no cenário de uma morfologia mais preservada (ou

original) e uma morfologia antropizada da bacia. Esta informação é observada em conjunto com dados de chuva interpolados e detalhados em escala rítmica de dias com inundações confirmadas por fontes documentadas, bem como leituras fluviométricas realizadas em diferentes pontos do curso principal da bacia. Então, a elaboração de um mapeamento da vulnerabilidade socioespacial presente na área de estudo, produto de um índice que associa fatores de susceptibilidade dos compartimentos físicos e vulnerabilidade socioeconômica da população, permite vislumbrar o processo de exposição ao risco existente. Desta maneira, obteve-se bases para a avaliação da participação de diferentes fatores, climáticos e hidrogeomorfológicos, para o desencadeamento de um evento impactante em um ambiente altamente alterado e diferentemente apropriado por meio da lógica de reprodução do espaço urbano.

Considerações teórico-metodológicas

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, são também agentes desencadeadores de mudança nos sistemas físicos. Assim, ao mesmo tempo em que estes agentes comandam ações que redundam em mudanças em taxas de processos e dinâmicas dos sistemas, criam condições de vulnerabilidades diferenciadas no espaço. Logo, fenômenos naturais (como inundações, por exemplo) passam a impactar diferenciadamente em decorrência da atuação de variáveis, climáticas e hidrogeomorfológicas, reconfiguradas no ambiente urbano. Portanto, a esta pesquisa interessa apropriar-se de recursos teórico-metodológicos da geomorfologia urbana e da climatologia geográfica, que contenham técnicas adequadas às escalas e interdisciplinaridade requeridas.

Parte-se da premissa de que a geomorfologia é um campo do conhecimento geográfico que oferece métodos para examinar mudanças espaciais nos sistemas físicos dos ambientes urbanos, além de uma perspectiva analítica para compreender as dinâmicas atuais e pretéritas destes sistemas (RODRIGUES, 1997, 2004, 2010). Dentre as possibilidades existentes, identifica-se o subcampo da antropogeomorfologia, em que o homem é entendido, inicialmente, como agente geomorfológico que impacta os sistemas geomorfológicos com atividades que configuram diferentes categorias de intervenção (NIR, 1983). Dentre estas categorias, se destaca a urbanização pelas influências diretas e indiretas de alta magnitude na dinâmica dos sistemas.

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). A 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 (MONTEIRO, 2000). Desta forma, para a compreensão da repercussão dos fenômenos atmosféricos sobre os espaços intensamente modificados, por excelência urbanos, o clima e os tipos de tempo podem ser considerados como dotados de uma dimensão socioespacial. Isto é, o clima e seus elementos (como a chuva) passam a ser entendido como 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 um modelo muito representativo para o estudo de impactos humanos sobre sistemas físicos. Isto, pois, estes sistemas podem ser interpretados enquanto constituintes de uma bacia hidrográfica, um sistema maior, mais complexo e aberto, cujo equilíbrio é dependente do ajuste entre formas, materiais e processos, permitindo a visão sistêmica almejada (RODRIGUES, 1997, MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010). Da mesma forma, um conceito que foi introduzido para analisar estas relações complexas é o 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).

O ponto de convergência nesta proposta metodológica se dá pelo mesmo princípio da cartografia geomorfológica, ainda que não se proponha à aplicação desta metodologia clássica. Aqui, os produtos não se referem à concretização da pesquisa, mas à base de compreensão das relações espaciais, permitindo abordagens de interesse geográfico. Justamente, os mapeamentos em geomorfologia estão ligados à sua fundamentação como uma interface interdisciplinar, sobretudo quando estruturados em um sistema de informação geográfica, o que permite novos *insights* e organizações. Com isso, ao mesmo tempo em que se reforça a possibilidade de uma interpretação interdisciplinar, via sobreposição e ponderação de camadas de dados espaciais, o mesmo ocorre quanto à questão de operação das escalas em que se encontram os diferentes elementos. Nesta proposta, a mesoescala configura o enquadramento ideal para desenvolvimento das análises, pois sua importância pode ser sintetizada na realização da ligação entre elementos presentes na micro

(como as condições de superfície para geração de escoamento) e macro escalas (gênese das chuvas pelos sistemas atmosféricos).

Especificidades da área de estudo.

A proposta de uma Análise Retrospectiva para eventos de inundação volta-se à bacia hidrográfica do Rio Aricanduva (Zona Leste de São Paulo, Figura 1), pois esta se identifica como exemplo de como ações antrópicas, ao longo do processo histórico de urbanização, imprimem mudanças na paisagem e derivam processos que configuram diferenciados cenários de risco.

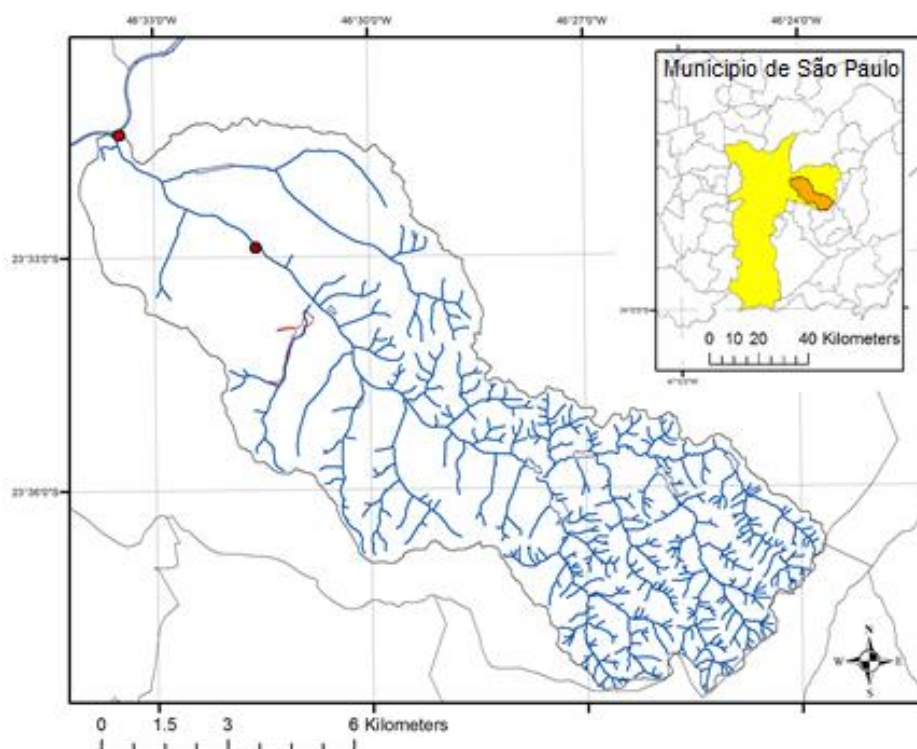


Figura 1: Localização da área de estudo na e as localidades impactadas (em vermelho) que serão aqui detalhadas.
Fonte: autor (2016)

A bacia hidrográfica do Aricanduva (BHA) possui uma área de drenagem de cerca de 102,5 km², orientando-se na direção geral SE - NW. Trata-se de sistema hidrográfico de forte controle litológico e estrutural, configurando-se como um sistema originalmente meândrico. Classifica-se como curso de 5ª ordem pela classificação strahleriana e seus afluentes são predominantemente de pequeno porte. A área de drenagem da bacia engloba 11 distritos de 4 subprefeituras diferentes que, em sua maior parte, desde 1980 têm índices de crescimento demográfico negativos. Estima-se que a área seja atualmente habitada por, aproximadamente, 1,25 milhões de habitantes.

O grande impulso para ocupação nesta área foi dado durante a segunda metade da década de 70, com a construção da Avenida Aricanduva sobre o córrego homônimo, fazendo com que, como em muitos bairros periféricos paulistanos, os problemas decorrentes da urbanização espontânea e descontinuada se intensificassem. A partir do final dos anos 90 então, em vista da recorrência eventos de inundações danosas, 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. Nos trechos mais altos da bacia, em sua extremidade sudeste, ainda existem áreas com matas remanescentes que estão sendo desordenadamente ocupadas, elevando a produção de sedimentos e favorecendo a geração de precipitação excedente. 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 estruturas urbanas, permitindo apontar que a média e baixa bacia encontram-se totalmente urbanizadas.

Além destas especificidades, geologicamente, a bacia 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 na área do Município (complexo Embu), dentre as quais se destaca a presença de xistos, micaxistos, e filitos (SÃO PAULO, 2002).

Genericamente, o clima da área pode ser classificado como tropical úmido de altitude, com uma temporada chuvosa definida entre os meses de novembro e março (**Quadro 1**), e máximas médias na ordem de 85 mm/dia. Segundo a proposta de Tarifa e Armani (2001), quanto às características climáticas locais, a BHA abrange diferentes unidades de climas naturais e urbanos. 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 climática local sobre outra área com diferenciadas propriedades de controles e processos hidrodinâmicos.

Quadro 1: Caracterização pluviométrica para os meses historicamente mais chuvosos da BHA e Município de São Paulo. Dados coletados nas estações pluviométricas da Foz do Aricanduva (DAEE-SP) e Mirante de Santana (Inmet).

Aricanduva	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Total
Média (mm)	134.8	183.1	255.4	216.4	192.3	982.0
Nº Dias com chuva	10	14	15	12	12	63
São Paulo						
Média (mm)	145.8	200.7	237.4	221.5	160.5	965.9
Nº Dias com chuva	11	14	15	14	11	65

A proposta metodológica

A análise retrospectiva de inundações é concebida a partir de quatro etapas essenciais, direcionadas à obtenção, otimização e padronização de diferentes tipos de informação relativas a um episódio de inundação que objetiva-se investigar. Sequencialmente, considera-se necessário:

1- Realizar a descrição do episódio a partir do detalhamento e discriminação das áreas afetadas, atentando para os impactos registrados, devendo articular-se com informações sobre as condições de vulnerabilidade socioeconômica da população afetada e a susceptibilidade espacial do local ao fenômeno impactante.

Primeiramente, a confirmação e o detalhamento sobre os impactos do evento são obtidos de fontes documentadas, como jornais (de ampla circulação e locais), e a partir de informações obtidas por organismos competentes ao provimento de informações sobre estas ocorrências (sistemas de alerta, companhias de gerenciamento de tráfego, Defesa Civil, etc.). As informações quanto à vulnerabilidade da população podem derivadas a partir de metodologias como o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social, ou IPVS (mais detalhado em SEADE, 2010). Em suma, este índice é gerado a partir da articulação de diversas variáveis de natureza social (número de crianças por residência, média de idade, etc.) e econômica (renda familiar) organizados em fatores considerados mais influentes à caracterização de uma condição vulnerável e somados às condições das moradias (se estão em conglomerados subnormais, por exemplo). O resultado representa a vulnerabilidade social no nível mais desintegrado possível (setores censitários). Nesta escala, é possível combinar (por sobreposição) os valores padronizados pelo índice aos limites dos diferentes compartimentos das planícies fluviais presentes na área de estudo (planície de inundação, terraços, ou *backswamps*). Estas, por sua vez, foram obtidas a partir da restituição de morfologias originais dos sistemas fluviais através de estereoscopia sobre as aerofotografias mais antigas disponíveis para a área (1962).

O resultado desta articulação de fatores de diferentes origens é a carta de vulnerabilidade socioespacial, com a qual é possível observar as diferentes características que foram somadas espacialmente para a consolidação dos elementos em risco. Isto é, com esse cruzamento, a maior classe de vulnerabilidade socioespacial deverá ser atribuída a uma área de aglomerado subnormal, dentro de planície de inundação, cuja população seja majoritariamente de baixíssima renda. Por consequência, as áreas com menor vulnerabilidade serão identificadas entre setores habitados por população com alta renda, e fora dos limites de qualquer planície fluvial.

2- Analisar os dados de precipitação incidente sobre a área afetada com detalhamento em escala rítmica, isto é, observações horárias a diárias que permitam estabelecer a intensidade (mm/h). Estas devem ser obtidas de estações com a maior representatividade espacial possível, para que possibilitem a geração de isoietas e ponderações de valores acumulados.

Os postos pluviométricos são selecionados a partir da geração de polígonos de Thiessen sobre a bacia, utilizando a localização de cada ponto de coleta com dados consistentes e disponíveis para a data de interesse, isto é, com episódio de inundação constatado. Assim, considera-se que, no caso de uma bacia média, a proximidade, mais do que estar dentro ou não dela, define os dados pluviométricos como espacialmente representativo, sendo possível realizar ponderação dos valores diários de acordo com o percentual de área total da bacia coberta por cada estação. Este detalhamento da espacialização da chuva é completo com a interpolação dos totais acumulados de chuva durante o evento, através da técnica de *kriging*, para geração de isoietas em formato matricial. Ainda, o detalhamento dos acumulados horários de chuva pode ser obtido através de imagens geradas com base em leituras de radar meteorológico, neste caso obtidos nos relatórios de eventos de chuva do Serviço de Alerta de Inundações de São Paulo.

3- Observar dados fluviométricos (nível, cota, vazão) obtidos por medições, se possível, em mais de um ponto no curso principal da bacia e com detalhamento horário, atentando para a presença de interferências de estruturas de engenharia no canal entre os diferentes pontos.

Os dados são analisados à luz de informações do perfil longitudinal e seções transversais que, no caso aqui apresentado foram desenvolvidas pelo DAEE em 2011, demonstram as diferenças em capacidade de calha entre diferentes trechos do canal artificial. Assim, caso as medições não sejam consistentes quanto a apresentarem cota que signifique um extravasamento de canal, é possível inferir a possibilidade de esta mesma altura ser capaz de produzir inundação em outro ponto onde há menor capacidade de calha (por assoreamento do canal, por exemplo).

4- Aplicação de modelo espacial para cálculo de precipitação excedente sobre a bacia (componente escoamento superficial) resultante do evento chuvoso registrado para o dia com ocorrência de inundação.

O modelo espacial desenvolvido é baseado na proposta da Carta de Tendências Hidrodinâmicas de Superfície desenvolvida por FCTH (2015), que se baseia na articulação de diferentes características de superfície (litologia, declividade e curvatura) para gerar um índice referente ao balanço escoamento/infiltração presente em cada unidade da bacia em um cenário original. A estas variáveis soma-se o fator “categorias de uso do solo” que estabelece um novo balanço quanto ao componente escoamento superficial, derivando um cenário antropizado. Com o cruzamento entre valores atribuídos às classes de uso do solo e grupos litológicos (conforme o **quadro 2**) é obtido um valor do número de curva (valor de 0 a 100) que, por sua vez, é ponderado em relação às outras duas variáveis morfométricas (declividade e curvatura). O CN corresponde, assim, a um número de ajuste à curva que representa a relação entre precipitação incidente na bacia e o escoamento direto produzido após interação com a superfície. Ou seja, em um cenário onde CN = 100, o volume de escoamento direto é igual ao volume de precipitação incidente, seguindo a proposta original do *National Resources Conservation Service – NRCS/USA (1986)*.

Quadro 2: Valores de CN atribuídos em função do cruzamento entre uso do solo e grupo litológico em uma unidade.

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

Com isso, estes dados espaciais em formato matricial (*raster*) tem em cada célula (*pixel*) um valor referente às variáveis empregadas combinadas através de ponderação que não defina limites rígidos entre as classes, sendo o mais indicado para lidar com abstração em modelos de fenômenos empíricos. A fórmula empregada no cálculo dos *rasters* que representavam cada uma das variáveis empregadas foi:

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

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, $Slope$ é a declividade classificada em intervalos críticos ao escoamento (<2%, 2-10%, 10-17%, >17%) convertida para valores entre 1 e 4, e $Curvature$ é o domínio hidrodinâmico a que pertence à feição mínima de relevo presente (se de dispersão=1, de concentração=2, neutro=3). 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 hiperdispersão), justamente o valor máximo admitido no índice do NRCS.

Assim, associado aos dados interpolados da precipitação registrada durante o evento, a carta de precipitação excedente produzida pelo modelo (figura 2) permite observar as áreas responsáveis pela geração das maiores proporções de escoamento superficial.

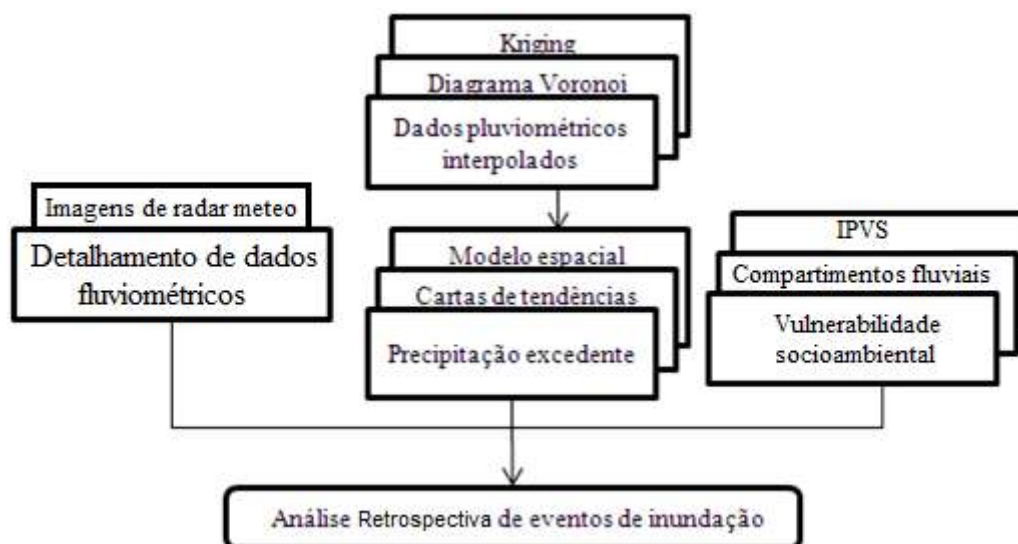


Figura 2: Fluxograma de síntese da proposta metodológica para realização da análise retrospectiva.
Fonte: autor (2016).

Aplicação de análise retrospectiva de episódio de inundação.

No início do dia 08 de dezembro de 2009 foram registrados dois alagamentos na região do Aricanduva (registrados como eventos A8 e A9 no levantamento realizado pelo Centro de Gerenciamento de Emergências de São Paulo), ao mesmo tempo em que foi noticiada inundação em localidade não especificada entre os distritos de Aricanduva e Sapopemba (inundação nº7 no levantamento). Pode-se pontuar que foram afetadas por alagamentos a região próxima à ponte do Aricanduva (A9, figura 3) junto à sua foz no rio Tietê, e a Av. Aricanduva (alagamento nº8) em local à altura de onde se encontra trecho estrangulado por assoreamento do canal artificial (identificado em relatório do DAEE, 2011). A partir de refinamento através de fontes documentadas, identificou-se que os maiores impactos foram registrados por conta de inundação ao longo da Avenida Aguiar da Beira, uma área localizada na planície de inundação do córrego Taboão, figuras 4 e 5), tributário do Aricanduva, e onde se concentram moradias de população identificada como de grupos de muito alta a altíssima vulnerabilidade socioespacial.

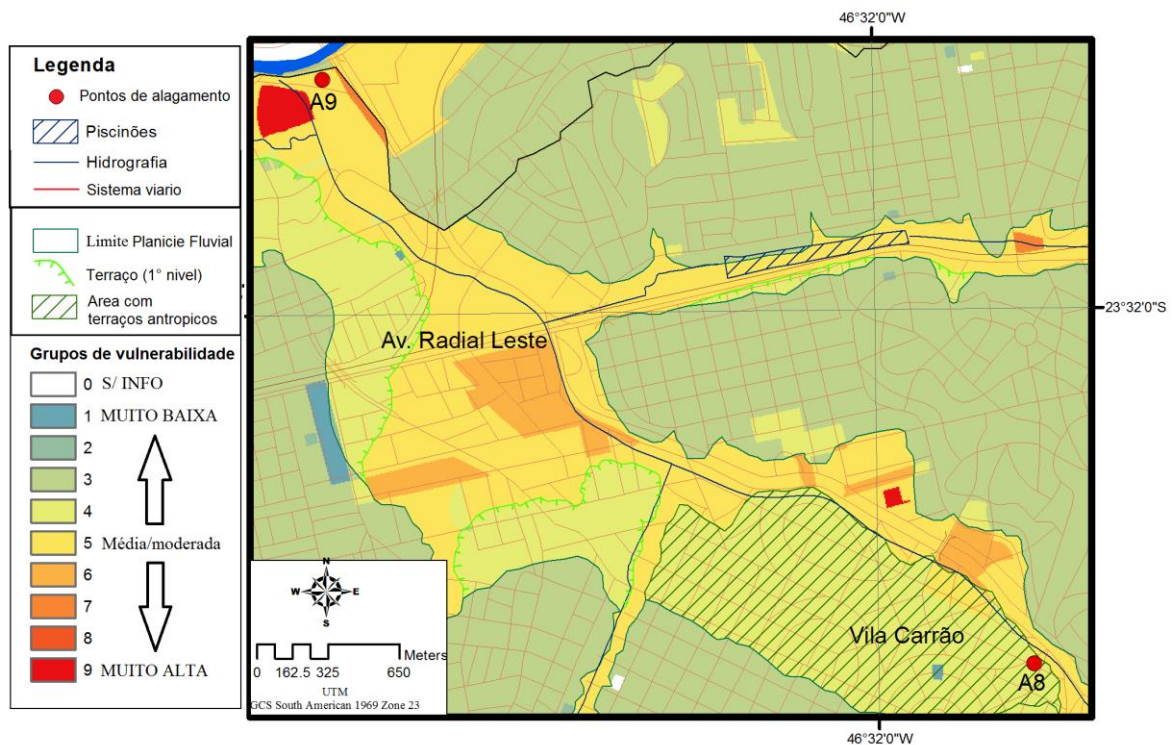


Figura 3: Vulnerabilidade socioespacial e localização dos pontos atingidos por alagamentos em 08/12/09.

Fonte: autor (2016).

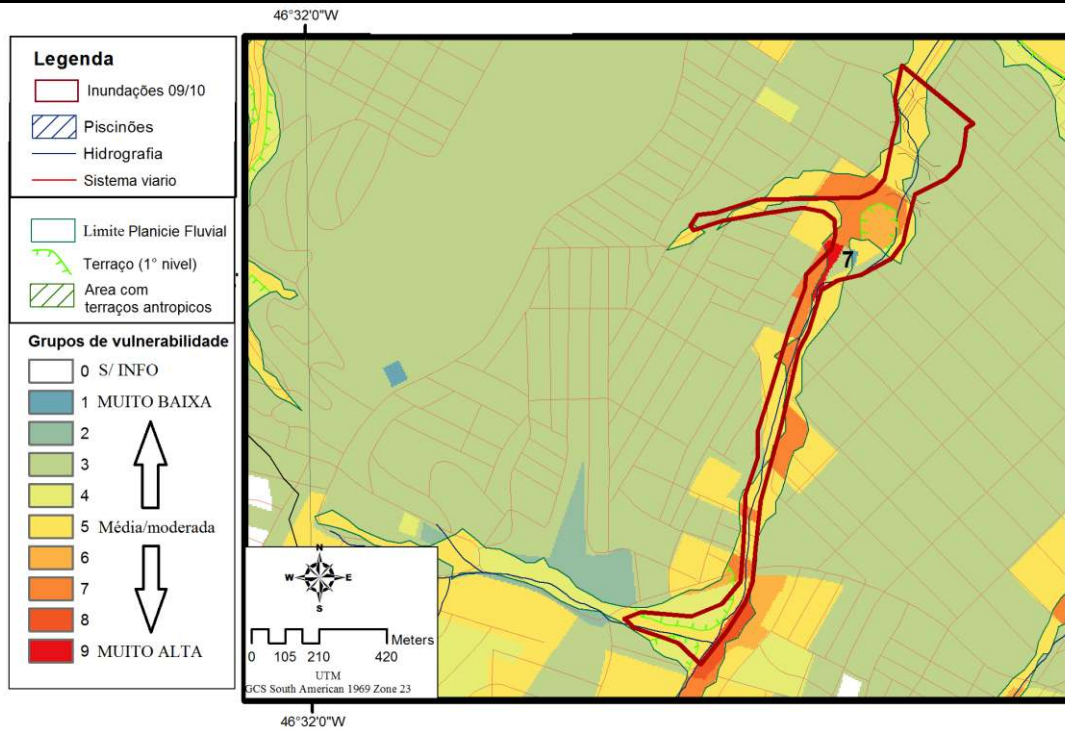


Figura 4: Vulnerabilidade socioespacial e localização da área afetada por inundação em 08/12/09.
Fonte: autor (2016).



Figura 5: 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, 2015.

Segundo informações obtidas por meio do radar meteorológico que cobre a região metropolitana de São Paulo, o episódio chuvoso que culminou nestes impactos durou cerca de 36 horas e teve início às 14:03 GMT do dia 07/12, com pico às 3:13 GMT de 08/12 e terminou às 02:09 GMT do dia 09/12 (figura 6). Foi identificada a formação de um cavado organizado desde o centro de baixa pressão no sul amazônico, iniciando um episódio de Zona de Convergência de Umidade,

estendendo-se do norte do país ao litoral do estado de São Paulo (SAISP, 2009). A identificação deste tipo de sistema atmosférico é especialmente interessante, uma vez que se considera que este tipo de formação é responsável por chuvas de intensidade moderada e com persistência de alguns dias, geralmente intensificadas entre a noite e madrugada.

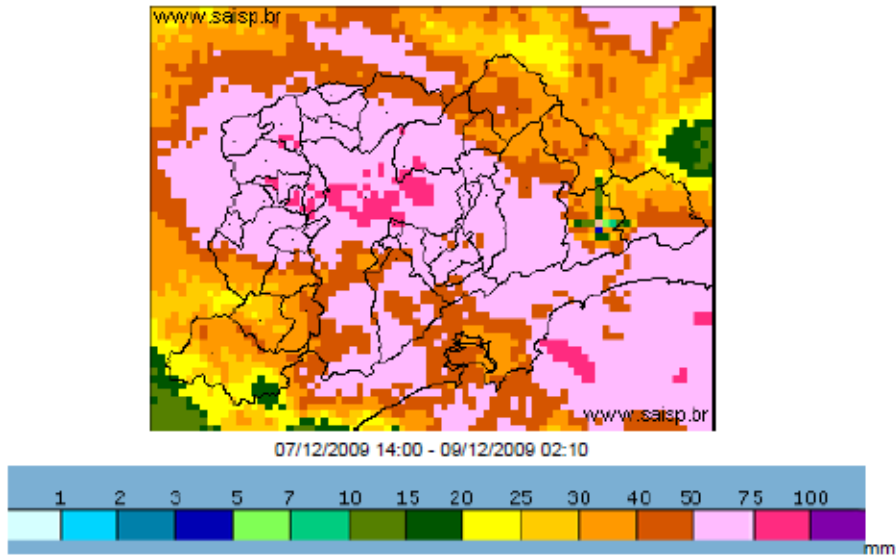


Figura 6: Imagem ACUMM para o período do episódio chuvoso de 07-09/12/09.
Fonte: SAISP (2009).

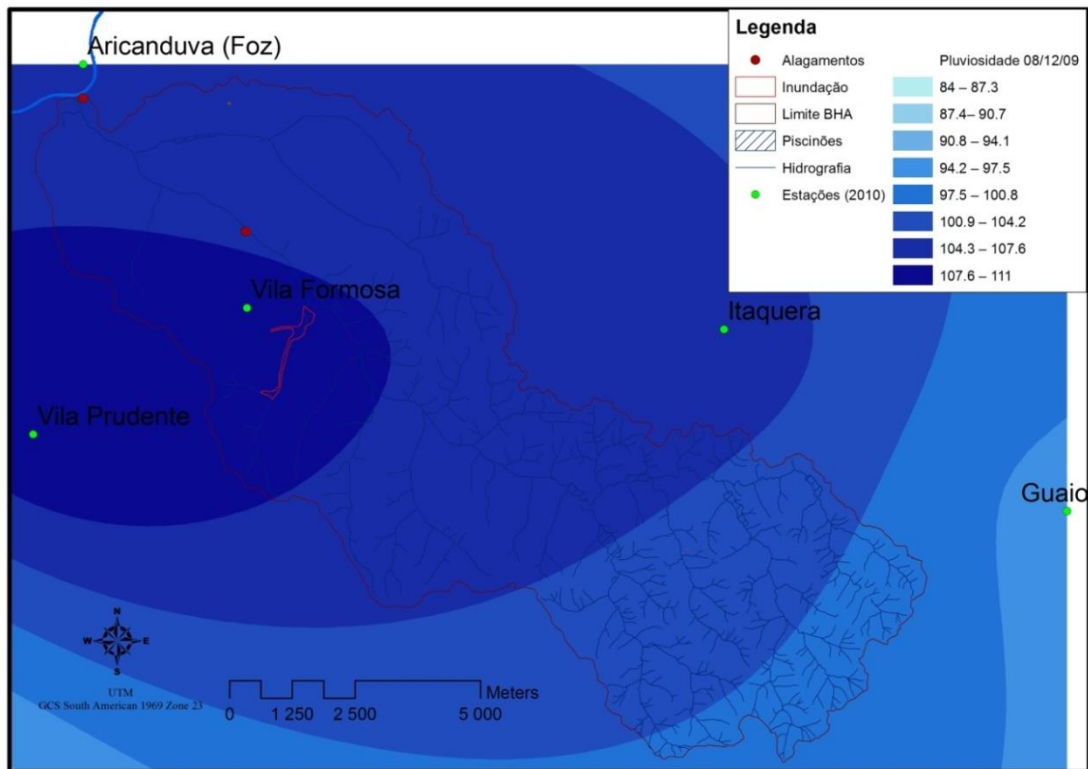


Figura 7: Isoietas do total acumulado para o período durante 07 e 08/12/09.
Fonte: autor (2016)

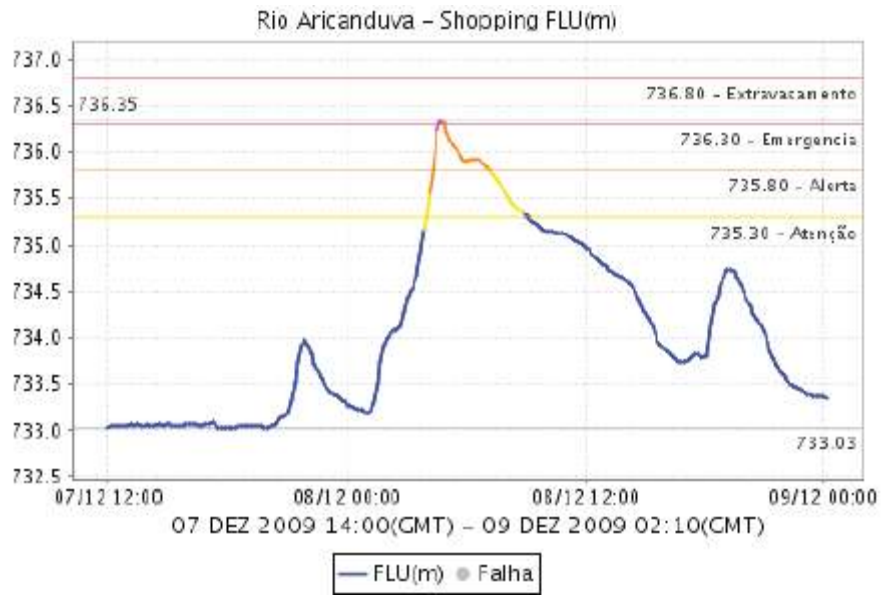
Se comparada a Figura 6, que representa imagem de valor acumulado durante o evento em cada pixel da malha de cobertura do radar, e a Figura 7, com as isoietas resultantes da interpolação dos dados de chuva das cinco estações que recobrem a área de estudo, observamos consistência no padrão de espacialização da precipitação mensurada. Pode-se observar os altos valores totais acumulados sobre toda a bacia, apresentando um total de precipitação ponderado de 88,7 mm (**quadro 3**), um valor diário extremo para a temporada. Ao mesmo tempo, há concentração dos volumes máximos na região oeste da bacia, desde a nascente ao médio curso do córrego Taboão.

Quadro 3: Valores de precipitação incidente sobre a área entre 07 e 08/12/09, a partir de diagrama de Voronoi.

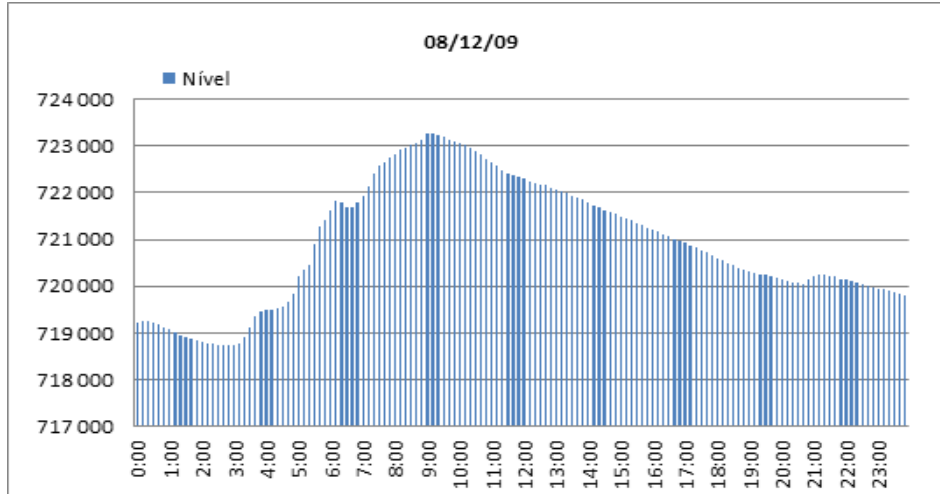
Estações (2000)	Área de cobertura (Km ²)	% da BH	07-08/12/09	Ponderado
Aricanduva (Foz)	8.3	8.1%	104.5	8.5
Vila Formosa	50.5	49.3%	71.9	35.4
Vila Prudente	0.1	0.1%	111.0	0.1
Itaquera	36.7	35.8%	106.8	38.2
Guaio	6.9	6.7%	95.7	6.4
TOTAL	102.5	100.00%		88.7

Os dados das estações fluviométricas na bacia demonstram consistência com a variação temporal apontada para a precipitação neste episódio. A estação no médio curso do Aricanduva, bastante próxima de onde o córrego Taboão deságua, aponta o ápice de cota próximo às 6:00 local (quadro 3), atingindo o nível emergencial, mas não de extravasamento. É importante notar uma elevação de cota com uma intensidade de aproximadamente 1m/h. Cerca de 3 horas depois, a estação na foz do Aricanduva (quadro 4), cerca de 7 km à jusante, registrou a maior medição do período, com uma cota quase 4 metros mais alta do que a média. O curto intervalo entre os horários com o início da elevação do nível do rio e o pico da medição, bem como a quase coincidência entre este período com o registro das maiores intensidades de chuva, permitem evidenciar condições de escoamento intensificadas pela intervenção urbana. Portanto, combinando o detalhamento horário apresentado pelas medições pluvio e 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 teve 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 4: Leitura fluviométrica do evento de 07-09/12/09 na estação Shopping Aricanduva. Fonte: SAISP (2009).



Quadro 5: Leitura fluviométrica do evento de 08/12/09 na estação Aricanduva Foz. Dados: EMAE.



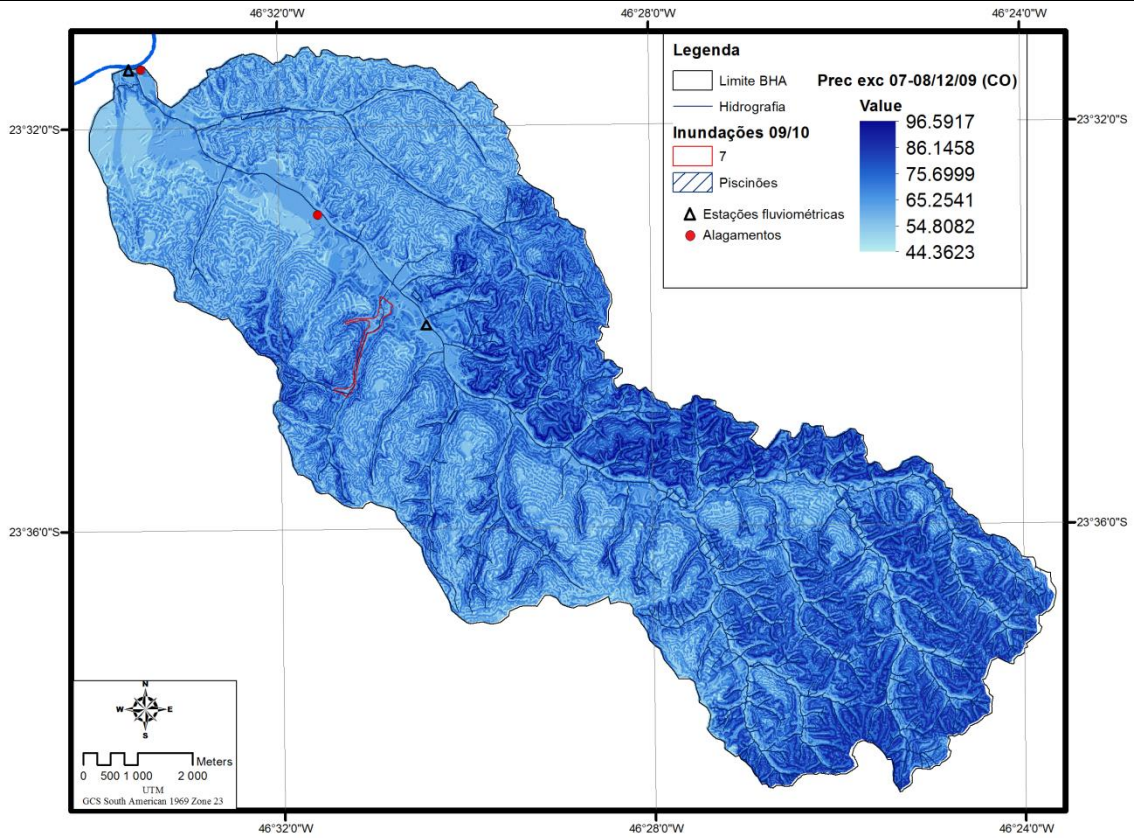


Figura 8: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Original) sobre dados de chuva de 07-08/12/09.
Fonte: autor (2016).

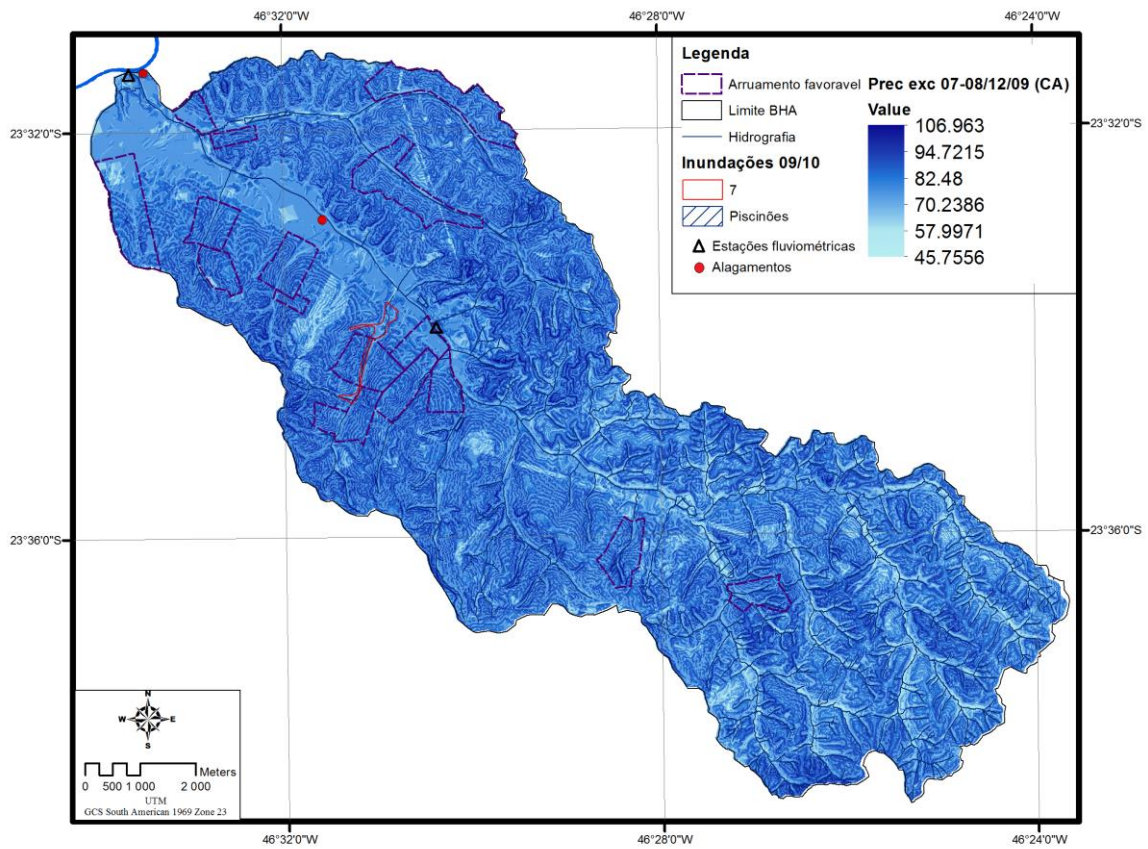
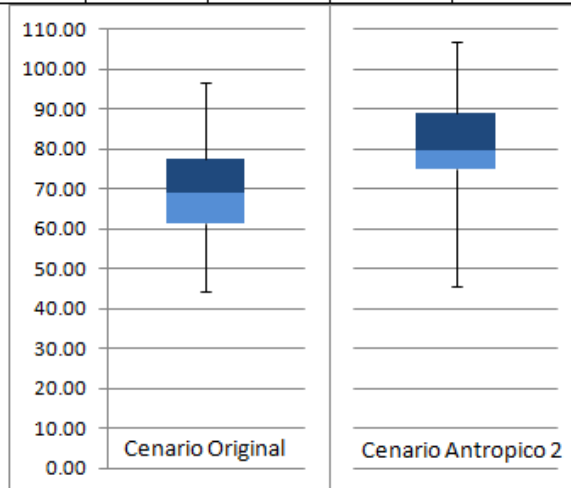


Figura 9: Aplicação de valores de CN do modelo espacial (Cenário Antropizado) sobre dados de chuva de 07-08/12/09.
Fonte: autor (2016).

Quando simulamos a resposta do sistema a esta chuva em sua condição original (**Figura 8**), encontra-se uma grande diferença entre os valores máximos e mínimos de precipitação excedente na bacia, sendo os máximos registrados nas cabeceiras de drenagem, que se concentram no quadrante leste e nos setores mais altos da bacia. Enquanto isso, os menores valores são calculados para o quadrante sudoeste e no setor médio-baixo, justamente onde foi registrada ocorrência de inundação. Em comparação, após a aplicação do modelo com tendências no cenário antropizado (Figura 9), os valores mais altos podem ser identificados como gerados ao longo de toda a bacia, sem padrão bem definido, incluindo os setores mais baixos (onde ocorreram os dois alagamentos), que anteriormente representavam os locais com os menores valores de escoamento gerado. Deve ser notado ainda que no médio curso do córrego Taboão (destacado em vermelho) há trecho onde o padrão de arruamento configura-se como altamente favorável à geração de escoamento concentrado, isto é, ruas perpendiculares ligando os setores mais altos da vertente diretamente ao fundo de vale (ocasionando fluxos torrenciais).

Quadro 6: Distribuição dos valores de precipitação excedente calculados para cada unidade da bacia hidrográfica para os diferentes cenários, para o evento chuvoso de 07-08/12/09.

CO		Diferença	CA		Diferença
MIN	44.36	44.36	MIN	45.75	45.75
Q1	61.46	17.10	Q1	74.8542	29.1042
Q2	69.05	7.60	Q2	79.8712	5.017
Q3	77.60	8.55	Q3	88.9018	9.0306
MAX	96.59	18.99	MAX	106.963	18.0612



É importante destacar, portanto, a grande diferença entre a precipitação excedente gerada por este episódio chuvoso nos dois cenários comparados. Primeiramente, há grande aumento na diferença do valor mínimo de excedente 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 (**Quadro 6**). 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.

Em conclusão, no caso destes impactos registrados no dia 08/12/09, para sua ocorrência temos necessariamente a combinação de quatro fatores: 1- Presença de fragilidades estruturais de obras no meio urbano, como o estrangulamento por acúmulo de sedimentos no canal do Aricanduva, que culmina em seu extravasamento em trecho bem definido; 2- Alta vulnerabilidade socioespacial da população afetada pela enchente ocorrida nas proximidades do córrego Taboão; 3- Insumos climáticos excepcionais, com chuvas prolongadas e de altas intensidades espacialmente concentradas justamente sobre o curso tributário onde houve inundação; 4- Efeitos da intensificação de tendências naturais pela alta densidade de construção e impermeabilização em áreas que originalmente tinham menor tendência à geração de escoamento concentrado.

Considerações finais

Pela experiência de aplicação da análise retrospectiva sobre o episódio de inundação exposta, evidencia-se a grande importância da etapa de otimização dos dados disponíveis para realização de investigação em escala e linguagem passíveis de sistematização. Esta otimização é de suma importância, uma vez que busca suprir a lacuna informacional existente em muitas bases, como a insuficiente cobertura por postos pluviométricos ou o incompleto detalhamento espacial e temporal sobre quais exatamente foram as áreas atingidas pelo evento. A partir disso, surge também uma limitação, uma vez que a total ausência de dados sobre uma das variáveis significa necessidade de extrapolação das demais disponíveis. Isto se aplica ao modelo espacial, pois, por exemplo, a adoção das técnicas de cálculo do número de curva praticamente ignora o reconhecimento de que nas áreas antropizadas os perfis de solo são potencialmente perturbados, o que modifica suas características de infiltração. Ainda, 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 diretas de obras hidráulicas (como piscinões), etc. sendo necessário incorporar a influência de tais fatores em forma descritiva. Considerado isso, a proposta aqui apresentada representa esforço

voltado a um estudo com a análise concomitante de diferentes sistemas naturais que caracterizam episódios de inundação na cidade de São Paulo. Isto tudo indica um meio para radicalizar leituras sobre a paisagem, através de um viés em que elementos, até aqui comumente estudados de forma isolada em diferentes campos do conhecimento geográfico, podem ser concatenados e instrumentalizados para uma investigação sobre os agentes e processos envolvidos.

Referências Bibliográficas.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê – PDMAT 3, v. 1, 2011.

FUNDAÇÃO CENTRO DE TECNOLOGIA HIDRAULICA – FCTH. Relatório de andamento o projeto de complementação do Mapa Hidrográfico do Município de São Paulo. São Paulo: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2015.

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

MONTEIRO, C. A. de F. Geossistemas: A história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MOROZ – CACCIA GOUVEIA, I. C. 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. 2010. Tese (doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

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

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

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

_____. 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, 2004. Pág. 89-115.

_____. 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, 2010.

SANT'ANNA NETO, J. L. 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, 2011.

SISTEMA DE ALERTAS A INUNDACOES DE SÃO PAULO – SAISP. Relatório de evento de chuva de 07/12/2009. São Paulo: DAEE/FCTH, 2009.

TARIFA, J. R; ARMANI, G. 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.

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