UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS E LETRAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**Índice de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra, em
função de eventos extremos de clima, na Região Metropolitana de São Paulo:
uma proposta de método**

Letícia Palazzi Perez

São Paulo

2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS E LETRAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**Índice de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra, em
função de eventos extremos de clima, na Região Metropolitana de São Paulo:
uma proposta de método**

Letícia Palazzi Perez

Tese apresentada ao programa de Pós
Graduação em Geografia Física do
Departamento de Geografia da Faculdade de
Filosofia, letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo, para a obtenção
do título de Doutora em Geografia

Orientadora: Profa. Magda Adelaide Lombardo

São Paulo

2013

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

F434	<p>Perez, Leticia Palazzi</p> <p>Índice de vulnerabilidade urbana a deslizamentos e deslizaamentos de terra, em função de eventos extremos de clima, na Região Metropolitana de São Paulo: uma proposta de método / Leticia Palazzi Perez ; orientadora Magda Adelaide Lombardo. - São Paulo, 2012.</p> <p>115 f.</p> <p>Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.</p> <p>1. geoprocessamento. 2. eventos extremos de precipitação. 3. vulnerabilidade urbana. 4. desastres naturais. I. Lombardo, Magda Adelaide, orient. II. Título.</p>
------	--

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer minha orientadora, que considero uma grande amiga, Profa. Dra. Magda Lombardo, por todo o apoio e carinho, sempre.

Meu muito muito muito obrigada ao Prof. Dr. José Rodolfo Scarati Martins, que, mesmo sem formalizar, tem me orientado desde o segundo semestre de 2011.

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida e pela bolsa de estágio sanduíche no exterior.

Muito obrigada também ao Prof. Dr. Angel Redaño, meu orientador no estágio sanduíche, na Universidade de Barcelona, que me recebeu de braços abertos, e me orientou com muita paciência e dedicação.

Obrigada ao meu grande amigo da época do INPE, um dos cérebros mais fantásticos que já conheci, e uma das pessoas mais incríveis que já conheci, Dr. Marcos Adami, que me auxiliou com os scripts no MatLab.

Agradeço também ao Msc. Kleber Rocha Filho, que me deu suporte quando do meu estágio em Barcelona, na compreensão das séries históricas dos dados da rede pluviométrica do DAEE.

Muito obrigada também aos colegas de graduação Rogério Rigato, que me ajudou com alguns dados, e a Msc. Márcia Correa, que teve a paciência de corrigir toda a gramática do meu texto, além dos colegas de doutorado Letícia Pádua, Humberto Catuzzo e Renata Cavion, pela companhia e apoio.

Obrigada também ao Deboni e ao Wolmar, da Sisgraph, com a ajuda na geocodificação dos dados da CET e Defesa Civil.

Agradeço ainda ao grande amigo Marcelo Affonso Junqueira, que, fazendo jus ao sobrenome “quatrocentão”, foi um *gentleman*, escancarando as portas da sua casa para mim, no momento em que mais precisei.

Por fim, agradeço a todos os amigos que me aguentaram enlouquecida nos últimos meses de escrita deste trabalho: Rose, Marina, Júlia, Mari, meu irmão Wagner, Flávia, Mineiro, Eden, Rafael, Helô, Tag, Johnny, Tambs e Ricardo, além da dálmata do meu coração, a Lola.

Obrigada, obrigada, obrigada!

Resumo

O crescimento desordenado das grandes cidades brasileiras, com a ocupação de várzeas, canalização de córregos e impermeabilização do solo, tem afetado o micro clima urbano, aumentando a incidência de fortes chuvas, que causam desastres, associados à chuvas extremas.

Este trabalho apresenta um índice de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de precipitação, como instrumento de gestão urbana a estes desastres.

Palavras-chave: geoprocessamento, eventos extremos de chuva, vulnerabilidade urbana, desastres naturais.

Abstract

The unruly growth of large Brazilian cities resulting from the occupation of floodplains, channeling of rivers, and impermeabilization of the soil, has affected the urban microclimate, increasing heavy rains, which cause disasters associated to extreme weather events.

This thesis presents a index of urban vulnerability to floods and landslides, according to extreme precipitation events, as an instrument of urban management to these disasters.

Keywords: geoprocessing, extreme weather events, urban vulnerability, natural disasters

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
3.1 Características urbanas da RMSP e clima urbano.....	6
3.2 Desastres na RMSP.....	8
3.3 Ocorrências da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) e Defesa Civil de São Paulo.....	10
3.3 Ocorrências da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) e Defesa Civil de São Paulo.....	11
3.4 Chuvas extremas.....	11
3.5 Precipitação, eventos extremos de chuva e estudos de processos hidrológicos de risco.....	13
3.6 Bacias Hidrográficas.....	17
3.7 Vulnerabilidade e risco.....	18
3.8 Índices e indicadores.....	21
3.9 Geotecnologias, análises de dados e suporte a tomada de decisão.....	22
4 MATERIAIS E METODOLOGIA.....	23
4.1 Área de estudo.....	23
4.2 Bacias Hidrográficas.....	25
4.3 Eventos extremos de precipitação.....	28

4.4 Ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra.....	31
4.5 Precipitação acumulada por bacia hidrográfica.....	33
4.6 Máximos acumulados de precipitação e cálculo do Período de Retorno (TR)....	40
4.7 Classificação da precipitação por período acumulado de chuva.....	41
4.8 Índice de vulnerabilidade urbana a eventos extremos de chuva.....	44
4.9 Classificação da vulnerabilidade urbana.....	45
4.10 Mapa de vulnerabilidade urbana a eventos extremos de clima.....	47
4.11 ANÁLISES COMPLEMENTARES.....	48
4.11.1 Dados SRTM e Mapa de Declividade.....	48
4.11.2. Mapa de impermeabilização de São Paulo.....	50
4.11.3 Mapeamento de Assentamentos Precários e ocorrências de deslizamentos de terra.....	50
4.11.4 Ocorrências de alagamentos por bairros e em relação à hidrografia.....	52
4.11.5 Ocorrências de alagamentos, deslizamentos de terra e densidade de domicílios.....	54
 5 RESULTADOS.....	 55
5.1 Análise das ocorrências de deslizamento de terra e de alagamentos em relação ao uso do solo e declividade.....	55
5.2 Dados Socioeconômicos: densidade de domicílios.....	66
5.3 Índice de Vulnerabilidade Urbana.....	68
5.4 Mapas de Vulnerabilidade.....	73
 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	 103
6.1 Análises espaciais.....	103

6.2 Índice de Vulnerabilidade e Mapas de Vulnerabilidade.....	106
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	113
8 PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	114
BIBLIOGRAFIA.....	115

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1- Precipitação em mm em relação à duração e TR.....	13
Tabela 2- Bacias e seus Identificadores.....	26
Tabela 3 - Acumulados de precipitação em 24 horas.....	30
Tabela 4 - Exemplo dos resultados das médias de precipitação por bacia.....	37
Tabela 5 - exemplo para acumulado de chuva de 6 horas com dados da Defesa Civil.....	38
Tabela 6 – Exemplo de precipitação média acumulada e ocorrências CET.....	40
Tabela 7 – TR > 2880 minutos.....	41
Tabela 8 - Classificação da Precipitação por percentual de ocorrências acumuladas.....	42
Tabela 9 – Classificação de Chuvas.....	46
Tabela 10 - Classificação da vulnerabilidade a alagamentos.....	46
Tabela 11 - Classificação da vulnerabilidade a alagamentos.....	47
Tabela 12 - exemplo do cálculo do IV por bacia, para classificação das mesmas....	48
Tabela 13- Ocorrências de deslizamento de terra e perímetros Habi-SP.....	57
Tabela 14 - Ocorrências de alagamentos em relação aos cursos d'água.....	59
Tabela 15 - Ocorrências de alagamentos por bairros.....	61

Tabela 15 - Ocorrências de alagamentos por bairros.....	62
Tabela 16 - ocorrências por classe de impermeabilização.....	63
Tabela 17 - Ocorrências por classe de densidade de domicílios.....	66
Gráficos de vulnerabilidade - 1 a 8.....	69

LISTA DE MAPAS E FIGURAS

Mapa 1 – Município de São Paulo.....	25
Mapa 2 – Subcabias e Limite do Rodízio.....	28
Mapa 3 - Distribuição espacial dos pluviômetros.....	29
Mapa 4 – Raster de precipitação acumulada.	36
Mapa 5 -Declividade.....	49
Mapa 6 - Assentamentos.....	52
Mapa 7 – Assentamentos e Deslizamentos de Terra.....	56
Mapa 8 – Declividade e deslizamentos de terra.....	58
Mapa 9 – Declividade e alagamentos.....	60
Mapa 11 – Uso do solo, alagamentos e deslizamentos de terra.....	64
Mapa 12 – Impermeabilização.....	65
Mapa 13 –Densidade de domicílios.....	67
Mapas de Vulnerabilidade - 15 a 38.....	74
Mapa 39 – Vulnerabilidade e Perímetro do Rodízio.....	107
Mapa 40 – Vulnerabilidade e Assentamentos.....	108
Mapa 41 – Vulnerabilidade e PMAP.....	110

Mapa 42 – Vulnerabilidade e Metas PMH.....	111
Figura 1- organograma da metodologia.....	23
Figura 2 - Exemplo da tabela de atributos das ocorrências da CET.....	32
Figura 3 - Exemplo da tabela de atributos das ocorrências da Defesa Civil.....	33
Figura 4 - Mapas de Vulnerabilidade a alagamentos.....	98
Figura 5 – Mapas de Vulnerabilidade a deslizamentos de terra.....	99

1 INTRODUÇÃO

Em 1950 cerca de 35% da população brasileira vivia em centros urbanos, em 2010 este número subiu para 85% do total de habitantes, ou seja, 120 milhões de “novos” habitantes urbanos em 50 anos (IBGE, 2011).

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a maior do Brasil, possui 8.000 km² de área, é composta de 39 municípios, sendo 32 em conurbação. A área urbanizada é de aproximadamente 2 500 km², com cerca de 150 mil quarteirões, é a 4^a mancha urbana do mundo. A população atual é de aproximadamente 19 milhões de habitantes, com densidade demográfica de 2.361 hab/km² e PIB que representa aproximadamente 45% do PIB do Estado e cerca de 15% do PIB país (IBGE, 2011). A área mais densamente ocupada e urbanizada da RMSP está localizada em uma altitude média de 750 m, na Bacia do Alto Tietê, o chamado Planalto Paulistano.

O Planalto Paulistano foi urbanizado após os anos 1950, com crescimento vertiginoso e desordenado, devido à pressão demográfica e especulação imobiliária, que trouxeram como consequência, um elevado grau de degradação do meio físico e social.

A configuração das grandes cidades foi afetada pela especulação imobiliária desregulada, e áreas de necessária preservação, como topos de morro e várzeas de rios foram ocupadas, com a anuência do poder público, que, por anos, hesitou em fiscalizar áreas públicas e privadas de acordo com as Legislações Federal, Estadual e Municipal vigentes.

A modificação da cobertura do solo – ou urbanização – afeta o micro clima de determinado local, por modificar o ciclo hidrológico natural. A união de diversos fatores como desmatamento, ocupação de várzeas, canalização de córregos, impermeabilização do solo, aliado ao clima subtropical úmido do sudeste brasileiro,

caracterizado por verões bastante chuvosos, com médias que ultrapassam os 200 mm mensais (IAG, 2013), faz com que sejam comuns desastres como deslizamentos de terra, enchentes e alagamentos na RMSP.

Com a urbanização e impermeabilização do solo, o básico ciclo hidrológico não se fecha mais. A água precipitada não consegue escoar pelos rios canalizados e retificado, o solo está impermeabilizado e os sistemas de infraestrutura de drenagem urbana são ineficientes, seja por serem escassos, seja por não terem manutenção adequada. As margens dos rios enchem e a população sofre com os alagamentos na beira dos mesmos, ou em áreas centrais. Nas encostas, ocupadas de maneira irregular e desordenada, dão-se os deslizamentos de terra, pois o solo ocupado, sem vegetação, encharcado pela chuva, está mais propenso a estes desastres.

É possível recordar facilmente diversos problemas enfrentados pelos paulistanos, durante as chuvas de verão. Alagamentos, mortes por afogamento e deslizamento de terra são notícias comuns nesta época do ano.

Para exemplificar a ocorrência destes eventos extremos, vale lembrar do verão de 2009/2010, quando choveu por 47 dias consecutivos na RMSP. Segundo trabalho de Cilone e Biondo (2010), em janeiro de 2008 a média mensal havia ficado em 250 mm, dentro do esperado para o período, mas em janeiro de 2009 passou de 500 mm. No mesmo trabalho, é possível verificar que em fevereiro de 2008 havia chovido 250 mm, e em 2009 a média foi de 400 mm. O estudo prova que a precipitação na cidade de São Paulo apresenta tendência de aumento ao longo do tempo, principalmente por causa da urbanização, e que o verão 2009/2010 apresentou volumes de chuvas sem precedentes.

Admitindo a impermeabilidade do solo, a ocupação desordenada e irregular, os alagamentos e os deslizamentos de terra, sendo os últimos dois originados do evento natural que é a precipitação, como principais características da infraestrutura urbana da RMSP, considera-se ser possível a elaboração de um instrumento que indique as áreas mais vulneráveis a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de precipitação.

Propõe-se ainda, que a criação deste instrumento representa um importante mecanismo de gestão urbana, pois subsidia a investigação destes desastres, seus catalisadores e sua dispersão no espaço.

A chuva é o principal condicionante dos desastres alagamentos e deslizamentos de terra, objeto deste estudo, pois os alagamentos são consequência da insuficiência da bacia hidrográfica de dar vazão ao volume de água precipitado, e os deslizamentos ou escorregamentos de terra são movimentos de porções de um terreno, agravados pela presença de água.

A vulnerabilidade, que é a capacidade de um grupo humano prever e preparar-se para um desastre, depende de uma série de fatores: como a percepção do risco, a capacidade de prever o desastre e a possibilidade de adotar medidas eficazes para proteger o grupo social do desastre, que é efêmero e pode ocorrer de modo surpreendente. A vulnerabilidade, aferida à luz desses parâmetros, faz sentido para avaliar o estágio do grupo social sujeito ao risco, como também para organizar políticas de intervenção, que passa a ter uma medida para dimensionar carências e priorizar ações preventivas ao evento que pode gerar uma catástrofe, como já discutido por Ribeiro (2010).

Neste trabalho a vulnerabilidade urbana a eventos extremos de chuva poderá subsidiar a sociedade a lidar com tais eventos.

É sabido das perdas envolvidas nos alagamentos das áreas centrais da RMSP: o trânsito parado significa perdas econômicas enormes. Além disso, os anos de negligência do poder público ao planejamento de habitação de interesse social refletem, hoje, em um grande número de pessoas vivendo em áreas de risco ambiental, em várzeas, vertentes ou topos de morro, carentes de infraestrutura urbana.

Não há dúvidas de que a urbanização sem planejamento influencia o clima, e que gera eventos climáticos extremos. Assim, o que se propõe aqui é a possibilidade de elaborar um índice de vulnerabilidade urbana a estes eventos extremos de chuva, com o apoio de geotecnologias, organizado por uma categoria de análise que permita subsidiar o planejamento de políticas públicas que visem minimizar os efeitos das características da ocupação urbana da RMSP e, consequentemente, possa auxiliar na gestão e planejamento ao risco de novos desastres do tipo alagamentos e deslizamentos de terra.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é criar um índice para mensurar a vulnerabilidade urbana da RMSP a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de precipitação, com o apoio de geotecnologias, como subsídio à gestão urbana.

São objetivos específicos analisar os resultados da aplicação deste índice, a partir do mapeamento de áreas vulneráveis, e correlacionar estes resultados com outros elementos da estrutura urbana da RMSP, como o mapeamento de assentamentos irregulares e o mapa de metas de intervenção da Secretaria de Habitação da Prefeitura de São Paulo, o perímetro do rodízio de carros de São Paulo, e as bacias hidrográficas de selecionadas para intervenção, dentro do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, da Prefeitura de São Paulo, a fim de compreender como a distribuição espacial dos alagamentos e deslizamentos de terra está relacionada com o uso e ocupação do solo urbano.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tendo este trabalho como objetivo a criação de um índice de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de precipitação, com o apoio de geotecnologias, este capítulo apresenta a leitura e compreensão de trabalhos sobre clima urbano, hidrologia, vulnerabilidade, risco, o conceito de desastres no Brasil e suas relação aos processos hidrológicos inerentes à precipitação.

Pretende-se também mostrar como o tratamento de dados de precipitação, modelagem e cruzamento de informações sobre vulnerabilidade, vem sendo tratados pela academia.

Outros temas relevantes ao embasamento teórico deste trabalho serão apresentados, como bacias hidrográficas como categoria de análise, índices e indicadores e como os eventos alagamentos e deslizamentos de terra são tratados pelos órgãos responsáveis no poder público.

3.1 Características urbanas da RMSP e clima urbano

As Regiões Metropolitanas Brasileiras apresentaram crescimento expressivo nos últimos 60 anos. Em 1950 cerca de 35% da população brasileira vivia nos centros urbanos, em 2010 85% dos brasileiros vivem em áreas urbanas (IBGE, 2011).

Após a década de 1970, “as áreas urbanas vem exercendo uma pressão significativa no meio ambiente, cuja principal manifestação ocorre nas regiões metropolitanas, levando à condições extremas a pressão da população sobre os recursos naturais. É nesse contexto que os problemas ambientais emergem como resultado dos processos de produção das estruturas urbanas e regionais” (Lombardo, 1995).

Algumas das características da ocupação urbana da RMSP como o desmatamento, a ocupação das áreas de mananciais e também de vertentes, interferem diretamente no clima local. Com a falta de vegetação primária no entorno da RMSP, o efeito da entrada das frentes frias e úmidas, vindas do litoral, é mais intenso, somado ao aquecimento do solo, por causa do asfaltamento, ao calor proveniente de edificações, a temperatura na cidade torna-se, sabidamente maior, criando condições favoráveis a tempestades de grande intensidade e curta duração.

Segundo Monteiro (2003), processo exacerbado de urbanização gerou regiões metropolitanas onde o improvisado (ilegal) superou, em muito, o planejado (legal). A substituição da cobertura do solo sem respeito às leis, a grande quantidade de veículos nas ruas e a estrutura das edificações também em desarmonia com a legislação, alteram o chamado micro clima urbano, criando ilhas de calor e intensificando as tempestades tropicais, conforme defendido por Lombardo (1986).

A modificação da cobertura do solo – ou urbanização – afeta o micro clima de determinado local, por modificar o ciclo hidrológico natural. Costumeiramente, dá-se o nome de clima urbano aos efeitos climáticos característicos de áreas urbanas.

Serão tratadas aqui as chuvas em ambiente urbano, em seus eventos extremos, associados à urbanização, considerando que, para Monteiro (2003, p. 19), “não há preocupação em se precisar a partir de qual grau de urbanização e de características geológicas locais se poderia usar o termo clima urbano”.

Precipitação é a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. As principais características da chuva são: o volume precipitado, a duração, e a distribuição espacial e temporal. A precipitação máxima, entendida como ocorrência extrema, é quando, em determinada duração e distribuição

temporal e espacial, o volume precipitado é crítico para uma área ou bacia hidrográfica (Tucci, 1993).

Em relação à eventos extremos de precipitação, segundo Monteiro (apud Gonçalves, 2003, p. 69), a pesar de todo o avanço tecnológico e esforços para conhecimento das forças da natureza, ainda somos muito vulneráveis a eventos climáticos extremos, particularmente aos de origem meteorológica e hidrológica. A medida que aumenta a urbanização, mais sujeitos estamos a estes eventos.

No caso da RMSP e suas características de urbanização, que sabemos ser o solo impermeabilizado, os rios retificados e canalizados, a transformação das várzeas em grandes avenidas, a falta de sistemas de drenagem pluvial, somados a pressão da construção civil legal ou ilegal, representam condições favoráveis à problemas que, em alguns casos, podem ser considerados desastres.

Os problemas mais comuns, associados ao clima urbano, na RMSP, são os deslizamentos de terra e os alagamentos, que, ano após ano, são vivenciados pela população, principalmente no verão, trazendo prejuízos sociais, econômicos e ambientais imensuráveis.

3.2 Desastres na RMSP

Segundo Amaral e Gutjahr (2011), para que a ocorrência de determinado evento seja considerada um desastre é preciso: haver pessoas atingidas, grave perturbação na dinâmica da comunidade, e que esta perturbação esteja além de sua capacidade de auto recuperação.

Desastres são classificados como antropogênicos, quando há participação direta do homem, como acidentes, contaminação do solo entre outros; naturais, quando a origem independe da ação humana, como terremotos, tornados, entre outros; ou

mistos, quando eventos naturais são agravados pela ação antrópica. Neste contexto, podemos considerar alagamentos e deslizamentos de terra como desastres do tipo misto, uma vez que, ambos estão relacionados à impermeabilização do solo e ocupação de áreas de necessária preservação.

O Centre for research on Epidemiology of Disasters (CRED), apoiado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), criou, em 1988, o Emergency Events Database (EM-DAT), que consiste em um banco de dados de desastres ocorridos no mundo, desde 1900. Para que um desastre seja inserido ali, é necessário estar dentro de determinados parâmetros, como: mais de 10 óbitos; 100 ou mais pessoas afetadas; pedido de auxílio internacional e declaração de estado de emergência.

O EM-DAT classifica os desastres como biológicos, como epidemias e infestação de insetos; climatológicos, como secas extremas, ou ondas de calor; geofísicos, como movimentos de massa e avalanches; meteorológicos, como ciclones e tempestades convectivas; e hidrológicos, como movimento de massa úmida e inundações.

Não podemos considerar que as ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra que acontecem anualmente na RMSP são desastres ao ponto de entrarem para o EM-DAT – como foi o caso de São Luis do Paraitinga, em janeiro de 2010, ou as chuvas de 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro - mas podemos usar a classificação do CRED para estratificar as ocorrências objeto deste trabalho, como eventos de cunho hidrológico, uma vez que ambos estão diretamente relacionados à precipitação.

Na RMSP os desastres mais comuns são enchentes, inundações, alagamentos, escorregamentos de terra e/ou rochas. Estes fenômenos geralmente estão associados a eventos pluviométricos extremos (Tominaga, 2009).

Os alagamentos são consequência da insuficiência da bacia hidrográfica de dar vazão ao volume de água precipitado. Quanto mais chuva, em menos tempo, maior o risco de alagamento. O aumento do nível da água nos rios faz com que esta água atinja a área de várzea, geralmente impermeabilizada e transformada em grandes avenidas, na RMSP. A falta de capacidade de vazão desta água, associada a falhas estruturais nos sistemas de drenagem de águas pluviais, falta de bocas de lobo, ineficiência na coleta de lixo, falta de manutenção dos sistemas de drenagem, e, novamente, impermeabilização do solo, faz como que surjam pontos de alagamentos em diversas áreas, como descreve Medeiros (2013).

Os deslizamentos ou escorregamentos de terra são movimentos rápidos de porções de um terreno (solo ou rochas), que se deslocam por ação da gravidade, para baixo e para fora da encosta, e são agravados pela presença de água. Ainda segundo Medeiros (2013), a saturação do solo em períodos chuvosos é fator predominante para a ocorrência de escorregamentos.

3.3 Ocorrências da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) e Defesa Civil de São Paulo.

Uma vez que os desastres, relacionados a eventos extremos de precipitação, mais frequentes na RMSP são os alagamentos e os deslizamentos de terra, este trabalho foi desenvolvido com base nas ocorrências de alagamento da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) e de deslizamentos de terra da Defesa Civil de São Paulo.

A CET foi criada em 1976, com objetivo de planejar e implantar, nas vias e logradouros do município, a operação do sistema viário, com o fim de assegurar maior segurança e fluidez do trânsito (CET, 2013). Dentre as atribuições da CET, estão apontar e atender ocorrências de problemas com tráfego, em diversas

situações, inclusive com alagamentos. Se uma via para, por causa de um problema de alagamento, é direcionado um funcionário para o local, que irá manejar o tráfego, afim de que o fluxo de veículos não seja interrompido.

Desta maneira, as ocorrências de alagamentos, utilizadas neste estudo, referem-se a ocorrência do evento alagamento, em área urbana, onde o fluxo de tráfego não pode ser negligenciado.

A Defesa Civil da Prefeitura Municipal de São Paulo é um órgão que planeja ações para prevenir e minimizar os efeitos dos desastres, sejam eles naturais ou antrópicos (PMSP, 2013), e age em parceria com o corpo de Bombeiros, com apoio dos Núcleos de Defesa Civil. Esta instituição trabalha com ações preventivas, de recuperação, busca e salvamento. Sempre que ocorre um evento relacionado à Defesa Civil, é gerada uma ocorrência deste evento. No caso deste trabalho, foram selecionadas as ocorrências de deslizamento de terra, de muro, de barracos, de casas ou desmoronamento dos mesmos, ou seja, foram eleitas ocorrências relacionadas aos processos hidrológicos, disparados pela chuva.

As ocorrências de alagamentos são mapeadas em áreas urbanas relacionadas ao tráfego, e as ocorrências de deslizamentos de terra são, geralmente, verificadas nas periferias, atreladas a urbanização ilegal, mas ambos eventos são de cunho hidrológico, e, portanto, associados à precipitação.

3.4 Chuvas extremas

Para Tucci (1993), precipitação é toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície da terra, podendo aparecer como chuva, granizo, geada ou neve, e estudos estatísticos permitem classificar a precipitação em determinada região, sua magnitude, frequência e probabilidade de ocorrência.

Ainda segundo Tucci (1993), as principais características da chuva são volume, duração e distribuição espacial e temporal. Como a chuva não se distribui uniformemente no espaço, é necessário determinar sua intensidade, duração e frequência, com base em estatísticas através das séries históricas de medição. Nas áreas urbanas é fundamental se conhecer estes parâmetros, para que o planejamento das infra-estruturas urbanas, como galerias de águas pluviais ou calhas de escoamento, seja condizente com a realidade hidrológica da região.

Segundo o mesmo autor, precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma determinada bacia hidrográfica. As precipitações máximas são encontradas pontualmente através das equações de intensidade, duração e frequências (IDF), que determinam estes três parâmetros para determinada área ou bacia hidrográfica. As equações IDF mostram qual é a chuva extrema em determinada área, para diferentes períodos de retorno, que é o tempo estimado de que um evento de precipitação, em volume, ocorra novamente. Em 1999, o DAEE em parceria com a FCTH, publicou o documento “Equações de chuvas intensas no Estado de São Paulo” (DAEE, 1999), onde foram refeitas as equações IDF para todo o Estado, para chuvas de duração de 10 minutos a 24 horas, para períodos de retorno de 2 a 200 anos, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1- Precipitação em mm em relação à duração e TR.

Duração (t) min	Período de Retorno (TR)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	16,2	21,1	24,4	26,2	27,5	28,5	31,6	34,6	37,6
20	24,9	32,5	37,6	40,4	42,4	44	48,7	53,4	58,1
30	30,3	39,8	46	49,5	52	53,9	59,8	65,6	71,4
60	39,3	51,8	60,1	64,7	68	70,5	78,3	86	93,6
120	46,8	62,1	72,2	78	82	85,1	94,6	104	113,4
180	50,5	67,3	78,4	84,7	89,1	92,4	102,9	113,2	123,5
360	55,7	74,9	87,5	94,7	99,7	103,6	115,4	127,2	139
720	60,2	81,5	95,6	103,6	109,2	113,5	126,7	139,9	153
1080	62,5	85,1	100,1	108,6	114,5	119	133,1	147	160,9
1440	64,1	87,7	103,3	112,1	118,2	122,9	137,6	152,1	166,5

Fonte: DAEE, 1999.

De acordo com os cálculos do DAEE, um volume de chuva de 64 mm precipitados em 24 horas, é uma chuva extrema com probabilidade de ocorrência de 2 anos. Uma precipitação de 166 mm, em 24 horas, tem a probabilidade de ocorrer a cada 200 anos. Foi com o auxílio das curvas IDF do DAEE que encontramos os 7 eventos extremos de chuva, objeto deste estudo.

3.5 Precipitação, eventos extremos de chuva e estudos de processos hidrológicos de risco.

A busca por trabalhos acadêmicos envolvendo risco de alagamentos e deslizamentos de terra em áreas urbanas mostrou que os mesmos sempre remetem, como principal fator de desencadeamentos destes eventos, a precipitação.

Pouget et al (2011) estimaram os impactos de chuvas extremas no risco de enchentes, em Barcelona, Espanha. Com base em uma série histórica de 40 anos de dados de precipitação diária, foi utilizado o método de *downscaling*, para gerar séries de precipitação futura, tratando a equação IDF para estimar a chuva diária e

de hora em hora, com períodos de retorno de 1, 5 e 10 anos, para estimar futuras inundações, assim mostrou-se que, em projetos futuros, um aumento na chuva de projetada, de hora em hora, de 12% de intensidade, num período de retorno de 10 anos, poderia evitar problemas de inundação.

Russo et al (2011) também analisaram os impactos de extremos climáticos na drenagem no bairro do Raval, em Barcelona, que possui infra-estrutura ineficiente para tais eventos. Com base nos dados do estudo de Pouget (2011), geraram mapas de risco e vulnerabilidade futuros, utilizando técnicas de cruzamento de dados em sistemas de geotecnologias, obtendo como resultado mapas temáticos de áreas em risco baixo, médio e alto. Este artigo serviu de base para a definição do modelo a ser adotado para a construção do índice, objeto de estudo deste trabalho.

Mahaut et al (2011), estudaram os efeitos de extremos climáticos no sistema de esgoto de Nantes, França, já que inundações do sistema de esgotamento sanitário contribuem com a poluição nos recursos hídricos.

Utilizando dados diários de precipitação, de uma série histórica de 6 anos, trabalharam um modelo de distribuição de ocorrências de problemas de vazamento de esgoto em um SIG.

Geraram sete cenários possíveis, a partir da correlação entre os dados de precipitação e da capacidade da rede de esgoto, sempre associado à densidade demográfica. A conclusão, neste caso, é de que, a falta de controle do crescimento demográfico na área, combinada a eventos extremos de clima, pode gerar a descarga de esgoto nos recursos hídricos.

Siekman et al (2011), propuseram modelagem de eventos extremos de precipitação para North-Rhine-Westphalia, Alemanha, levando em consideração não só a precipitação, como também, a infra-estrutura dos sistemas de drenagem

urbana. Utilizando os modelos climáticos do IPCC de 2007, simularam os efeitos da chuva no sistema existente, trabalhando com a duração e intensidade desta chuva, com cenários de períodos de retorno de 5 para 3 anos e de 100 para 30 anos. O resultado também deu-se através de mapas temáticos de áreas vulneráveis aos impactos de climáticos extremos.

Nielsen et al (2011) mapearam a vulnerabilidade de inundação em Copenhague utilizando modelagem de dados climáticos com período de retorno de 10 e 100 anos, mapas de infra-estrutura de drenagem urbana e dados sobre o nível do mar. Os dados climáticos do IPCC 2007 foram interpolados, sobrepostos ao modelo digital do terreno e cruzados com a infra-estrutura de drenagem urbana, em um SIG, gerando mapas temáticos de áreas vulneráveis à alagamentos e inundações.

Gondim et al (2011), analisaram o impacto das mudanças climáticas na evapotranspiração na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, com a premissa de que as mudanças climáticas podem alterar os processos do ciclo hidrológico. Adotaram dados de uma série histórica de 29 anos de dados climáticos, para projeções climáticas de 2025 a 2055, estimando a evapotranspiração com base na temperatura média mensal. Os cenários mostraram que poderia haver aumento na evapotranspiração.

Gersonius et al (2011), estudaram os efeitos das mudanças climáticas nos sistemas de drenagem urbana em West Garforth, Inglaterra, associados ao risco de inundação, do ponto de vista de investimentos para esta área. Utilizando duas técnicas de projeção de gastos versus projeção de precipitação, concluíram que tanto o modelo RIO quanto o modelo ATP podem ser utilizados para projetar investimentos futuros na área de drenagem urbana.

Sharma et al (2011), analisaram os efeitos das mudanças climáticas sobre a eficiência do tratamento nas lagoas de retenção. Realizado na bacia de Albertslund, Dinamarca. O modelo adotado estimou a quantidade de material particulado na bacia em chuvas extremas para 2100, com base nos cenários do IPCC. O resultado mostrou que o aumento de chuvas extremas pode aumentar a quantidade de material particulado, e, conseqüentemente, de toxinas, na água.

Belew et al (2011), estudaram a manutenção e modernização dos sistemas de drenagem urbana em West Garforth, Inglaterra, frente às mudanças climáticas, projetando precipitação através de modelagem *downscaling* e lógica fuzzy.

Anghileri et al, analisaram os possíveis efeitos das mudanças climáticas na bacia do lago Como, na Itália, projetando 17 cenários de precipitação com base nos cenários IPCC de 2071-2100, utilizando *downscaling*, verificando possibilidade de mudanças drásticas na reserva de água.

Percebe-se que é grande o número de trabalhos recentes que mesclam modelagem de dados climáticos com dados de infra-estrutura de drenagem urbana, afim de gerar mapas temáticos de pontos vulneráveis a alagamentos e inundações.

Levando em consideração inúmeros modelos possíveis para estimar a vulnerabilidade de determinadas áreas frente a mudanças climáticas globais ou eventos climáticos extremos, percebe-se que o método de *downscaling* é bastante utilizado, pois maioria dos estudos baseia-se em dados climáticos dos Modelos de Circulação Global (GCM), ou do IPCC, que possuem grande dimensão espacial. Assim, muitas vezes, tratam-se de dados climáticos compostos em grades de quilômetros versus quilômetros de extensão - este método é utilizado para o refinamento dos dados, ou seja, trata-se de uma interpolação de dados.

Possuímos, para a RMSP, um radar meteorológico e uma rede telemétrica de pluviômetros de superfície, que nos dão uma precisão maior que os dados GCM. Por outro lado, não possuímos, por exemplo, um mapeamento detalhado e integral da rede de drenagem urbana da cidade de São Paulo.

Desta maneira, optou-se por utilizar mapeamentos resultantes do cruzamento entre os dados do Radar Meteorológico da FCTH, corrigidos pela rede de superfície dos pluviômetros do DAEE, para mapear as áreas vulneráveis a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de chuva, na RMSP, com base nas ocorrências de alagamentos, da CET, e deslizamento de terra, da Defesa Civil, na cidade de São Paulo.

3.6 Bacias Hidrográficas

Eleger uma categoria de análise, que contemple a dinâmica complexa dos instrumentos de planejamento e gestão territorial, não é simples, uma vez que as intervenções antrópicas no espaço não respeitam limites físicos, geológicos ou pedológicos (Santos, 2004).

Entendendo que mapear a vulnerabilidade urbana às ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de precipitação, é tratar de processos hidrológicos. Por este motivo, optou-se por utilizar uma mesodivisão de bacias hidrográficas que compõem parte da RMSP, por abranger todo o município de São Paulo, como categoria de análise e mapeamento, pois é necessário que tais índices atendam a multidisciplinaridade dos fatores em questão (Tricart, 1977).

A ação antrópica sobre as bacias hidrográficas provoca transformações no sistema hidrológico. A impermeabilização tem impacto no escoamento superficial, resultando

em maiores vazões em pequenos espaços de tempo, provocando, por exemplo, as enchentes e alagamentos (Tucci, 1993).

3.7 Vulnerabilidade e risco

Para a fundamentação teórica desta tese, foram estudados diversos trabalhos que tratam dos conceitos de vulnerabilidade. A intenção deste capítulo não é discutir ou definir os conceitos de vulnerabilidade e risco, mas sim fundamentar a construção do índice de vulnerabilidade urbana, proposto nos objetivos.

Para Marandola (2005, p. 30), “localizar e entender o termo vulnerabilidade nas diversas abordagens científicas é um empreendimento que não pode ser realizado sem se considerar, simultaneamente, o conceito de risco. Isso se deve ao fato de a vulnerabilidade aparecer no contexto dos estudos sobre risco em sua dimensão ambiental, num primeiro momento, e só mais tarde no contexto socioeconômico”.

Marandola sugere a vulnerabilidade e o risco como foco de pesquisa dos geógrafos, os pioneiros sobre perigo ambiental (*natural hazards*), e comenta o direcionamento das investigações ao risco sócio ambiental e populações em situação de risco, com enfoque em enchentes e deslizamentos de terra que, para estes autores, são considerados “perigos” no momento em que causam dano a população. A probabilidade destes perigos causarem danos é o que podemos chamar de risco (Marandola, 2005).

O IBGE (2002, p.212), conceitua risco como “um rompimento sério na funcionalidade de uma comunidade ou de uma sociedade que causa perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais e que excedem à habilidade da comunidade ou da sociedade afetada de responder ao evento usando seus próprios

recursos”. Não há dúvidas de que a população da RMSP sofre com o risco de alagamentos e deslizamentos de terra, anualmente, principalmente no verão.

Marandola também cita trabalhos do início dos anos 80, do Scientific Committee on Problems of the Environment (Scope), organização científica que contribuiu muito nos estudos sobre as relações do homem com seu a natureza, que desenvolveram metodologias que orientaram as pesquisas de risco em todo o mundo, onde vulnerabilidade não aparecia como conceito, mas como “ideia subjacente a capacidade de resposta” a um determinado evento natural que possibilitaria o risco.

Em Alves (2006, p.43), a vulnerabilidade socioambiental é definida como “a coexistência ou sobreposição espacial entre grupos populacionais muito pobres e com alta privação (vulnerabilidade social) e áreas de risco ou degradação ambiental (vulnerabilidade ambiental)”.

Segundo Chaves (2008, p.2), sendo a cidade criada pelo homem, apresenta desigualdades, e, enquanto a minoria da população vive em áreas de “boas condições urbanísticas”, a grade maioria vive em “condições urbanísticas precárias e estes últimos tendem a ocupar áreas ambientalmente frágeis, as chamadas ‘áreas de riscos’, que, paradoxalmente, só poderiam ser urbanizadas sob um rigoroso planejamento”.

Citando Dauphiné apud Veyret (2007, p.39): “a vulnerabilidade revela a fragilidade de um sistema em seu conjunto e sua capacidade para superar a crise provocada por um acontecimento possível”.

Nos últimos anos o conceito de vulnerabilidade vem sendo tratado em diversas áreas da ciência, seja nas humanidades, como a geografia e a demografia, seja nas ciências ambientais, e seu uso é cada vez maior em organismos internacionais, como Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), Programa das

Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), Banco Mundial.

Busca-se, com este conceito, a lógica do reconhecimento de áreas vulneráveis, para posteriores propostas de intervenção. Esta lógica de pensamento vem de encontro com o intuito deste trabalho, que é mapear áreas vulneráveis na RMSP, que possa servir de base para as discussões de planejamento urbano e políticas públicas.

Ainda para Marandola (2005), em muitas circunstâncias, a vulnerabilidade é tratada como um conceito complementar ao de risco, e as diversas áreas da ciência que estudam tal conceito concordam que áreas vulneráveis são aquelas onde está presente a degradação ambiental atrelada a desigualdade social.

Assim, como os trabalhos de eventos extremos de clima utilizam dados da GCM, de escala mundial, muitos trabalhos de vulnerabilidade a desastres naturais também tem problemas de adequação a escalas maiores, pois estão atrelados a mesma base de dados, além de agregarem informações em escala muito pequena, para grandes áreas, como é o caso dos trabalhos citados por Braga (2006), que avalia as metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade a desastres naturais, analisando as variáveis e pesos dados às mesmas, na criação dos indicadores. Todas as metodologias analisadas, DRI (desaster risk reduction index) do PNUD, e o Projeto Hotspots (do Banco Mundial), e os Indicadores de vulnerabilidade do Tyndall Center, da Universidade de East Anglia, são intensos nas análises de dados sócio econômicos, e pouco levam em consideração as questões ambientais.

O conceito de vulnerabilidade objeto de estudo deste trabalho está atrelado aos eventos extremos de chuva, aos processos hidrológicos que ocorrem na metrópole, onde há ocupação de áreas de necessária preservação ambiental, sistemas de

drenagem urbana ineficientes - pois trataremos de alagamentos e deslizamento de terra - que atingem a população que vive em áreas ambientalmente degradadas ou que sofrem com a impermeabilização do solo, portanto, serão analisados dados compatíveis a escala da cidade.

Por fim, considerando que a cidade é um sistema, de acordo com Dauphiné apud Veyret (2007, p.39), é pertinente falar em *vulnerabilidade urbana*.

3.8 Índices e indicadores

Há muita confusão nos significados de índices e indicadores, que muitas vezes são considerados sinônimos. Siche (2007) apresenta que um indicador é um instrumento para a obtenção de informações a realidade, podendo ser um dado individual ou um agregado de informações, enquanto que um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno, sendo um índice o valor final baseado em um cálculo.

Já foram criados diversos índices e indicadores para mensurar desastres naturais, como é o caso do DRI (desaster risk reduction index), também do PNUD, o Projeto Hotspots (do Banco Mundial), e os Indicadores de vulnerabilidade do Tyndall Center, da Universidade de East Anglia, mas todos trabalham em uma escala desproporcional ao nível de análise que se propõe a fazer, com base em ocorrências de deslizamentos de terra e alagamentos.

Assim, o que se propõe é um índice de vulnerabilidade urbana que possa ser utilizado como subsídio ao planejamento de políticas públicas.

3.9 Geotecnologias, análises de dados e suporte a tomada de decisão

Saber a distribuição geográfica de eventos, fenômenos, recursos, propriedades, entre outros elementos, sempre foi de extrema importância para a sociedade. Até pouco tempo, os estudos relacionados a este reconhecimento eram feitos sobre mapas em papel e tabelas, dissociados, dificultando análises mais precisas e rápidas sobre determinado tema que envolvesse distribuição espacial.

Com o advento dos sistemas informatizados de tratamento de dados e informações, que associaram dados alfa-numéricos a informações espacializáveis, criou-se o geoprocessamento, conjunto de tecnologias de coleta, tratamento e desenvolvimento de informações espaciais, os chamados Sistemas de informações Espaciais (SIG) (Camara, Davis e Monteiro, 2001).

Os SIGs permitem análises complexas a partir da possibilidade de integrar dados de diversas fontes, sejam eles alfa-numéricos, vetores ou rasters. As possibilidades de análises espaciais e estatísticas são infinitas e, atrelados a Bancos de Dados, são capazes de permitir o gerenciamento, consulta e distribuição de informações, bem como a produção de material cartográfico digital ou em papel.

Os SIG's são hoje indispensáveis no planejamento territorial, nas análises ambientais e, conseqüentemente, são de grande auxílio para a tomada de decisão por parte do poder público.

4 MATERIAIS E METODOLOGIA

Serão apresentados neste capítulo o processo para construção de um índice de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de precipitação.

Todos os dados foram trabalhados em Excel, MatLab 7.0 e ArcGis Info 10.0.

Figura 1- organograma da metodologia

4.1 Área de estudo

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a maior do Brasil, possui 8.000 km² de área, é composta de 39 municípios, sendo 32 em conurbação. A área urbanizada é de aproximadamente 2 500 km², com cerca de 150 mil quarteirões, é a 4^a mancha urbana do mundo. A população atual é de aproximadamente 19 milhões de

habitantes, com densidade demográfica de 2.361 hab/km² e PIB que representa aproximadamente 45% do PIB do Estado e cerca de 15% do PIB país (IBGE, 2011).

A área mais densamente ocupada e urbanizada da RMSP está localizada em uma altitude média de 750 m, na Bacia do Alto Tietê, o chamado Planalto Paulistano.

A grande bacia de São Paulo possui uma topografia de planícies aluviais, de baixas colinas, cercada pela Serra da Cantareira ao norte, Serra do Mar ao sul, maciços elevados de Itapeverica da Serra e São Roque a oeste e Serra de Itapevi a leste. As margens do rio Tietê encontram-se em altimetrias de 730 m e o espigão da Avenida Paulista a 840 metros de altitude em relação ao nível do mar (Lombardo, 1995).

Os principais cursos d'água são o Tietê, Pinheiros, Tamanduateí e Aricanduva, Pirajussara, Cabuçu, além das represas Billings e Guarapiranga.

Com área de 1.521 Km², e uma população de 11.253.000 habitantes, com uma densidade demográfica de 7.387 hab/Km², a cidade de São Paulo é uma das maiores cidades da América Latina, com 86% de área impermeabilizada pela urbanização, de acordo com o mapeamento do PDMAT-3 (DAEE, 2012).

Em relação à economia, segundo o IBGE (2010), com um PIB de aproximadamente R\$ 450 bilhões, a cidade de São Paulo representa, sozinha, 21% do PIB do Estado e 12% do PIB nacional, mas possui grande desigualdade, no que diz respeito à renda da população. Segundo o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social, da Fundação SEADE, para 2010, a renda domiciliar média era de R\$ 3.537,00, sendo que em 13% dos domicílios não ultrapassava meio salário mínimo per capita.

Mapa 1 – Município de São Paulo. Fonte: IBGE, 2012; EMPLASA, 1974. Elaborado por Perez, 2013.

4.2 Bacias Hidrográficas

Em um ambiente urbano complexo como São Paulo, não é possível trabalhar dados espaciais sem dividi-los por alguma regionalização. Tratando-se de uma pesquisa que envolve ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra, desencadeados por eventos extremos de precipitação, optou-se por trabalhar com a divisão de Bacias Hidrográficas, uma vez que a vulnerabilidade a estes eventos, está relacionada com a capacidade de escoamento e vazão das bacias.

Foram utilizadas as divisões de microbacias da RMSP feitas pela FCTH dentro do Plano Diretor da Macro Bacia do Alto Tietê – PDMAT (DAEE, 2012). Para fins deste trabalho, as microbacias foram agrupadas mesobacias, conforme mostra o mapa 2,

reduzindo a área de estudo a 13 bacias hidrográficas, com base nos cursos d'água principais, e com base nas principais avenidas da cidade de São Paulo.

Os agrupamentos foram feitos levando em consideração a importância das bacias menores que compõe determinada área, respeitando os limites da hidrografia principal, que são os rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Aricanduva, Cabuçu e as represas Billings e Guarapiranga.

Para facilitar a análise de dados e não poluir visualmente os mapas que serão apresentados nos próximos capítulos foram mantidos e utilizados os ID's (códigos identificadores) das bacias principais do dado original, uma vez que a metodologia de trabalho para chegar ao índice de vulnerabilidade poderá ser reutilizada para toda a RMSP, assim, temos a seguinte classificação, conforme tabela2:

Tabela 2- Bacias e seus Identificadores (ID)

ID	SUBBACIA
3	BILLINGS
4	GUARAPIRANGA
5	TAMANDUATE MEDIO
11	PIRAJUSSARA
12	ARICANDUVA
22	CABUCU MEDIO
24	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETE
38	RIBEIRÃO DOS MENINOS
41	AGUAS ESPRAIADAS
45	CABUCU DE BAIXO
66	BAIXO CABUCU
74	TAMANDUATEI INFERIOR
77	VERTENTE ESQUERDA DO TIETE

Fonte: Elaborada por Perez, 2013

As bacias dentro da área do rodízio de carros na cidade de São Paulo são as que mais tem importância dentro do sistema de infra estrutura de tráfego na cidade de São Paulo. A bacia da Contribuição Lateral do Tietê, juntamente com a bacia do Córrego Pirajussara compreendem a ligação entre a Marginal Tietê e a Marginal do Rio Pinheiros, as bacias do Baixo Cabuçu e Tamanduateí Inferior compreendem a

área central da cidade e importantes avenidas, como do Estado, Cruzeiro do Sul, e 23 de maio. A leste da bacia Pirajussara e a bacia Águas Espraiadas compreendem os limites sul do rodízio de carros em São Paulo, e ali estão inseridas a Avenida Brigadeiro Faria Lima, e Marginal Pinheiros. Ainda, a sudoeste da bacia Tamanduateí inferior encontra-se a Avenida dos Bandeirantes.

Todas estas vias sofrem constantemente com alagamentos, que interrompem o tráfego. Estes limites foram mantidos para garantir a compreensão das ocorrências de alagamentos dentro de cada bacia, em relação à sua importância também para o sistema viário paulistano.

No que diz respeito à ocupação irregular, as bacias da Vertente esquerda do Tietê, Contribuição Lateral do Tietê, Aricanduva, Pirajussara, Billings e Guarapiranga, são as que possuem maior número de assentamentos ou loteamentos irregulares no município de São Paulo.

Mapa 2 – Subcabias e Limite do Rodízio. Fonte: IBGE, 2012; EMPLASA, 1974. Elaborado por Perez, 2013.

4.3 Eventos extremos de precipitação

A rede telemétrica de pluviômetros de superfície do DAEE opera desde 2005, e conta com 109 estações, distribuídas pela Bacia do Alto Tietê.

Para selecionar os eventos extremos de chuva na RMSP, foram selecionados 23 postos, conforme mostra o mapa 3, a partir de sua distribuição, para que pudéssemos ter toda a área de estudo coberta por estes postos pluviométricos e, consequentemente, a compreensão da chuva nas bacias estudadas.

Mapa 3 - Distribuição espacial dos pluviômetros. Fonte: SAISP, 2012; IBGE, 2012. Elaborado por Perez, 2013.

Assim, optou-se por encontrar eventos extremos dentro do período de funcionamento desta rede. Foram selecionados 7 eventos extremos de chuva em São Paulo.

Para tal, foram tratados os dados dos pluviômetros, ponto a ponto, dentro de toda a série histórica destes dados, utilizando Excel. Foram somados os dados coletados a cada 10 minutos, para cada um de 23 pluviômetro da rede, para precipitações acumuladas de 6, 12, 24 e 48 horas. Para cada pluviômetro foram encontrados os máximos valores destes acumulados, e, analisando as datas de ocorrência de cada resultado, para cada evento, escolheu-se as datas que representavam máximos precipitados no maior número de pluviômetros. Este trabalho foi desenvolvido sob orientação do Prof. Dr. Angel Redaño, do departamento de Meteorologia da Universidade de Barcelona, durante estágio sanduíche de doutorado.

Para afinar a seleção das datas, os máximos precipitados foram comparados com os volumes precipitados por período de retorno, de acordo com o estudo do DAEE (DAEE, 1999). Além disso, foram utilizadas notícias de alagamentos e problemas de deslizamentos de terra em São Paulo, para, enfim, serem selecionados 7 eventos considerados eventos extremos de chuva em São Paulo.

São estes eventos: 23 maio de 2005, 07 fevereiro de 2007, 18 dezembro de 2007, 06 setembro de 2009, 07 dezembro de 2009, 20 janeiro de 2010 e 10 janeiro de 2011.

Abaixo, a tabela 3 mostra um comparativo entre o acumulado em 24 horas nos eventos selecionados e os maiores acumulados registrados pelo pluviômetro do IAG (Instituto de Astronomia e Ciências Atmosféricas da USP).

Tabela 3 - Acumulados de precipitação em 24 horas – São Paulo.

Mês	Maior acumulado no ponto do IAG 24 h (mm)	Data	Maior média do acumulado 24 h por bacia (mm)	Bacia	Data
dezembro	111,5	18/12/1960	92,60	22	08/12/2009
janeiro	117,1	12/01/2000	94,37	22	08/01/2011
fevereiro	131,6	25/02/1971	58,30	4	08/02/2007
maio	96,3	24/05/2005	104,83	5	25/05/2005
setembro	84,2	08/09/2009	95,84	22	08/09/2009

Fonte: IAG, 2012

Nota-se que em maio de 2005 e setembro de 2009, os maiores acumulados de precipitação para 24 horas deram-se nas mesmas datas dos eventos escolhidos. Ainda segundo o IAG, o maior recorde de precipitação em 24 horas se deu em 06 de março de 1966, com 145,9 mm em um dia.

A comparação dos máximos valores de precipitação média por bacia hidrográfica com os máximos de precipitação medidos pelo IAG mostram que os eventos encontrados podem ser considerados extremos.

4.4 Ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra

Com base nas datas dos 7 eventos extremos de precipitação, Foram solicitados aos órgãos responsáveis, as ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra em São Paulo.

Foram solicitados à CET os dados referentes a alagamentos no município de São Paulo. Para 2005 não existiam dados sistematizados, então, recebemos os dados para os demais eventos. Estes dados, organizados em tabelas Excel, possuem as coordenadas de cada ponto, e foram espacializados, com uma tabela de atributos que contem a localização do alagamento (como nome de rua ou cruzamento), a data e a hora de ocorrência do mesmo, utilizando a ferramenta “*display x;y data*” no ArcGis 10.

Também foi feito um “*spatial join*” - que consiste em uma ferramenta que cria na tabela de atributos de determinada feição, um campo que contem o identificador de outra feição com a qual há relação espacial - entre os pontos gerados e as bacias, para que cada ocorrência tivesse, na sua tabela de atributos, o ID da bacia na qual ocorreu, coforme figura 2.

HS	CÓDIGO	INICIO	FIM	LOCAL	NUMERO	SENTIDO	X	Y	SUBBACIA	AREA M2
0M	C1509225	11/02/2007	11/02/2007	AV PRESTES MAIA	241	SANTANA	333180,29	7395579,71	TAMANDUATEI INFERIOR	29090297,1594
1M	C1508989	11/02/2007	11/02/2007	AV MAGALHAES DE CASTRO X A	0	CENTRO/B	325157,04	7393680,18	PIRAJUSSARA	72180689,1649
2M	C1506764	10/02/2007	10/02/2007	R JOAO ALFREDO X AL SANTO A	0	BAIRO/C	326186,12	7382378,54	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
3M	C1505709	09/02/2007	09/02/2007	AV CRUZEIRO DO SUL	515	SANTU/PIR	334115,46	7397153,9	BAIXO CABUCU	19139409,8688
4M	C1505214	09/02/2007	09/02/2007	AV OLAVO FONTOURA	1400	AMBOS	332346,6	7398521,21	CABUCU DE BAIXO	42468314,7755
5M	C1501943	09/02/2007	09/02/2007	AV BRAZ LEME X R ZANZIBAR	0		331202,85	7398687,5	CABUCU DE BAIXO	42468314,7755
6M	C1501699	08/02/2007	08/02/2007	AV DO ESTADO X VD VINTE E CIN	0	SANTU/PIR	333945,09	7394815,91	TAMANDUATEI INFERIOR	29090297,1594
7M	C1501550	08/02/2007	09/02/2007	AV DO ESTADO / TRAN E X L PTE	0	AMBOS	339941,65	7393876,01	BAIXO CABUCU	19139409,8688
8M	C1501541	08/02/2007	09/02/2007	AV MARGINAL DIREITA DO TIETÊ	1300	AYRTOM	323083,43	7396240,89	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETÊ	16421704,7965
9M	C1501476	08/02/2007	08/02/2007	AV ROBERT KENNEDY X R DAS P	0	AMBOS	325409,39	7380281,44	GUARAPIRANGA	636690427,222
1M	C1501422	08/02/2007	08/02/2007	R CEL ANTONIO DE CARVALHO	133	UNICO	334115,12	7398645,44	BAIXO CABUCU	19139409,8688
1M	C1501339	08/02/2007	08/02/2007	AV VINTE E TRES DE MAIO X VD G	0	NAO INFO	331372,65	7390602,2	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
1M	C1501338	08/02/2007	08/02/2007	AV VINTE E TRES DE MAIO X VD G	0	NAO INFO	331372,65	7390602,2	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
1M	C1501244	08/02/2007	09/02/2007	R LEOPOLDO COUTO MAGALHAE	0	SANTANA	328320,69	7390328,52	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
1M	C1501227	08/02/2007	08/02/2007	AV DAS NACOES UNIDAS X PTE D	0	INT/CAST	325710,28	7381902,13	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
1M	C1501136	08/02/2007	08/02/2007	R DAS PAINEIRAS (SOC) X AV RO	0	BAIRO/C	325409,39	7380281,44	GUARAPIRANGA	636690427,222
1M	C1501133	08/02/2007	08/02/2007	R HEITOR PENTEADO X R PEREIRA	0	CENTRO/B	326864,79	7395525,76	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETÊ	16421704,7965
1M	C1501103	08/02/2007	08/02/2007	AV GUARAPIRANGA X R JOSE RA	0	BAIRO/C	324370,73	7381651,21	PIRAJUSSARA	72180689,1649
1M	C1501088	08/02/2007	08/02/2007	VD ONZE DE JUNHO	1163		331566,99	7388544,97	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
1M	C1501056	08/02/2007	08/02/2007	AV VITAL BRASIL X PCA JORGE D	0	BAIRO/C	326053,68	7392119,23	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
2M	C1501044	08/02/2007	09/02/2007	AV DAS NACOES UNIDAS X R SU	0	AMBOS	326219,36	7392952,99	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
2M	C1501016	08/02/2007	08/02/2007	AV ERMANO MARCHETTI X R ENG	0	LAPA/BA	326126,12	7398655,85	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETÊ	16421704,7965
2M	C1501006	08/02/2007	08/02/2007	R ROMÃO GOMES X AV VALDEMA	0	UNICO	325849,22	7392485,62	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
2M	C1501002	08/02/2007	08/02/2007	PCA APECATU X AV QUEIROZ FIL	0	JAGUARE	323614,89	7395661,97	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
2M	C1500990	08/02/2007	08/02/2007	AV PRF ABRAAO DE MORAIS X R	0	SANTOS/	333859,5	7386363,36	TAMANDUATEI INFERIOR	29090297,1594
2M	C1500963	08/02/2007	08/02/2007	AV BRAZ LEME X R DR MELLO NO	0	CENTRO/B	331231,56	7398677,86	CABUCU DE BAIXO	42468314,7755
2M	C1500958	08/02/2007	09/02/2007	AV MOFARREJ X AV DR GASTAO	0	AMBOS	322354,04	7397068,86	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETÊ	16421704,7965
2M	C1500945	08/02/2007	08/02/2007	AV PRES CASTELO BRANCO X R	0		332496,94	7397877,24	TAMANDUATEI INFERIOR	29090297,1594
2M	C1500943	08/02/2007	08/02/2007	VD PIRES DO RIO X AV SALIM FAR	0		338698,17	7395633,25	BAIXO CABUCU	19139409,8688
2M	C1500925	08/02/2007	09/02/2007	MARG PINHEIROS X PTE DO MORU	0	INT/CAST	326805,97	7386707,7	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
3M	C1500878	08/02/2007	08/02/2007	AV DO ESTADO	0	SANTU/PIR	334026,79	7396090,75	TAMANDUATEI INFERIOR	29090297,1594
3M	C1500873	08/02/2007	08/02/2007	R JOAO BATISTA FANTON	71	AMBOS	321191,5	7410251,71	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETÊ	16421704,7965

Figura 2- exemplo da tabela de atributos das ocorrências da CET

Foram solicitados à Defesa Civil da Prefeitura de São Paulo as ocorrências de deslizamentos de terra, casas, barracos ou muros. Os dados foram coletados dentro da própria Defesa Civil, uma vez que estavam organizados em cadernos, anotados por ano de ocorrência. Foram então transportados para tabelas Excel, organizadas por data de ocorrência, com base nos 7 eventos objeto de estudo desta tese, e geocodificados com base no “GeoLog” (a base georreferenciada de logradouros) da Prefeitura de São Paulo (CEM, 2012).

Para a geocodificação das ocorrências da Defesa Civil foi utilizada a ferramenta de “geocoding tools – geocoding adress”, que gera um ponto para cada elemento de uma tabela que contenha um endereço, com base em comparação com os endereços existentes na base de logradouros, que contem número inicial e final de cada trecho. O ponto é localizado próximo ao número determinado na tabela de ocorrências, levando em consideração a distância entre a numeração inicial e final de cada trecho.

Também foi feito um “*spatial join*” entre os pontos gerados e as bacias, para que cada ocorrência tivesse, na sua tabela de atributos, o ID da bacia na qual ocorreu.

Como as anotações feitas em caderno estão sujeitas a erros, conseguimos 78% de combinações entre os endereços buscados e os existentes na base de logradouros.

Os dados foram gerados em formato ponto, e possuem os atributos de tipo de ocorrência e data, conforme mostra a figura 3, abaixo.

Numero	Bairro	Data	Ano	Tipo	Tipo Code	SUBBACIA	AREA M2
63	jd jaraquá	24/05/	2005	desabamento	DS	ARICANDUVA	84764467,3635
376	jd laranjeiras	24/05/	2005	desabamento	DS	CABUÇU DE BAIXO	42468314,7755
99	jd capela	25/05/	2005	desabamento de	DSB	GUARAPIRANGA	636690427,222
4	eldorado	09/09/	2009	desabamento de	DSB		0
54	jd guacuzi	20/01/	2010	desabamento de	DSB	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETÊ	16421704,7965
56		21/01/	2010	desabamento de	DSB	ÁGUAS ESPRAIADAS	31751671,0346
11	jd vila america	24/05/	2005	desabamento de	DSM	PIRAJUSSARA	72180689,1649
113	tremembé	25/05/	2005	desabamento de	DSM	BAIXO CABUÇU	19139409,8688
14	PERUS	25/05/	2005	desabamento de	DSM		0
100	jd capela	25/05/	2005	desabamento de	DSM	GUARAPIRANGA	636690427,222
580	jd clba	25/05/	2005	desabamento de	DSM	TAMANDUATEÍ MÉDIO I	27764234,089
276	pirituba	25/05/	2005	desabamento de	DSM	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETÊ	16421704,7965
14	jd hebrov	25/05/	2005	desabamento de	DSM		0
266	vi carambé	25/05/	2005	desabamento de	DSM	CABUÇU DE BAIXO	42468314,7755
380	pq independenci	25/05/	2005	desabamento de	DSM	PIRAJUSSARA	72180689,1649
31	jd textil	09/09/	2009	desabamento de	DSM	TAMANDUATEÍ INFERIOR	29090297,1594
50	jd lourdes	09/09/	2009	desabamento de	DSM	PIRAJUSSARA	72180689,1649
1	vista alegre	07/12/	2009	desabamento de	DSM	CABUÇU DE BAIXO	42468314,7755
455	morumbi	08/12/	2009	desabamento de	DSM		0
189	vi sta terezinha	09/12/	2009	desabamento de	DSM	CONTRIBUIÇÃO DA VERTENTE ESQUERDA DO TIETÊ	60574285,7191
32	jd são roberto	09/12/	2009	desabamento de	DSM	TAMANDUATEÍ MÉDIO I	27764234,089
50	pedreira	09/12/	2009	desabamento de	DSM	BILLINGS	580164014,221
25	rio bonito	19/01/	2010	desabamento de	DSM	ARICANDUVA	84764467,3635
36	vi sta catarina	21/01/	2010	desabamento de	DSM		0
1217	vi das merces	21/01/	2010	desabamento de	DSM	RIBEIRÃO DO MENINOS	63327826,7033
186	Jd Ipanema	08/01/	2011	Desabamento de	DSM	CONTRIBUIÇÃO LATERAL TIETÊ	16421704,7965
186	VI Tiradentes	08/01/	2011	Desabamento de	DSM	PIRAJUSSARA	72180689,1649
56	Fazenda da Jut	09/01/	2011	Desabamento de	DSM	CONTRIBUIÇÃO DA VERTENTE ESQUERDA DO TIETÊ	60574285,7191
16	Recanto Ana M	09/01/	2011	Desabamento de	DSM		0
586	Capela do Soco	09/01/	2011	Desabamento de	DSM	PIRAJUSSARA	72180689,1649

Figura 3- exemplo da tabela de atributos das ocorrências da Defesa Civil

4.5 Precipitação acumulada por bacia hidrográfica

A precipitação acumulada para 6, 12, 24 e 48 horas, por bacia hidrográfica, foi calculada com base em arquivos do tipo *raster*, ou seja, uma matriz de dados espaciais, que contem a informação do valor de precipitação em cada *pixel*, ou quadrícula, da imagem.

Os *rasters* de chuva foram criados com base em um *merge* (junção de dois dados espaciais) de informações do radar meteorológico de São Paulo e os dados da rede telemétrica de pluviômetros de superfície, do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), e foram gentilmente cedidos pela FCTH.

O Radar Meteorológico de São Paulo, de propriedade do DAEE, foi adquirido em convênio com a FAPESP. Foi fabricado pela McGill University do Canadá, e está instalado na Barragem da Ponte Nova, na cabeceira do Rio Tietê. Trata-se de um radar tipo banda S, e gera diversos produtos, sendo os mapas de precipitação o produto utilizado neste trabalho.

Os dados da rede telemétrica de pluviômetros de superfície, também de propriedade do DAEE, contava inicialmente com 5 postos em 1977, e aumentou gradativamente sua rede, que hoje consiste em um total de 109 postos distribuídos pela Bacia do Alto Tietê, dos quais 23 postos pluviométricos, em funcionamento, estão distribuídos pela RMSP. Composta por uma estação base (EB) e estações remotas (ERs), a EB é responsável pela coleta de dados das estações ER, por meio de linhas privadas e sistema de rádio VHF. A EB interroga as ERs a cada 10 minutos, coletando dados de nível de rios e reservatórios e índices pluviométricos. Tem-se assim, uma série histórica dados de pluviometria para a RMSP, a cada 10 minutos, desde 2005 para os 23 postos citados.

A imagem de radar é um dado qualitativo, que mostra a distribuição espacial da ocorrência da chuva em determinado evento/momento. Ainda, os dados de radar podem falhar ou o mesmo pode ficar desligado por determinados períodos, assim, as imagens do radar foram mescladas com os dados numéricos de volume precipitado da rede telemétrica de pluviômetros de superfície, de acordo com a metodologia desenvolvida por Sinclair e Pregam (2005), que consiste em uma

interpolação entre as imagens geradas por radar e dados coletados por uma rede de pluviômetros. Através de um “*conditional merging*”, método de interpolação estatística, são geradas equações de correção da imagem de radar que apresenta a distribuição espacial do evento de precipitação, em relação às medições pontuais da rede de pluviômetros de superfície.

O artigo de Rocha Filho (2013), detalha o trabalho feito com as imagens do Radar Meteorológico de São Paulo e os dados da rede telemétrica de pluviômetros de superfície do DAEE, para o SAISP (Sistema de Alerta de Inundações de São Paulo), que consiste em um sistema de correção da precipitação em tempo real da precipitação estimada pelo Radar, na Bacia do Alto Tietê. O são *rasters*, numa grade de 2 Km X 2 Km, que cobriu toda Bacia do Alto Tietê, para caracterizar a precipitação real dos eventos, e não só uma precipitação média distribuída na área de estudo, como se dão os resultados do radar.

Abaixo, o mapa 4 mostra um exemplo de imagem, resultado deste processo, com a precipitação acumulada em 24 horas, para o evento de 25 de maio de 2005.

Mapa 4 – Raster de precipitação acumulada. Fonte: DAEE, 2012; SAISP 2012; IBGE, 2012. Elaborado por Perez, 2013.

Estas imagens, a cada 10 minutos, para os eventos selecionados, foram gentilmente cedidas pelo SAISP (2012), para utilização nesta pesquisa.

Com as datas dos eventos extremos de precipitação eleitas, foram selecionados todos os *rasters*, a cada 10 minutos, para 48 horas antes e depois da data de cada evento.

O primeiro passo foi calcular o acumulado de precipitação para os períodos de 6, 12, 24 e 48 horas. Sempre somando os arquivos *pixel a pixel*, para o acumulado de 6 horas, por exemplo, foram somados os primeiros 360 arquivos, depois os segundos 360 arquivos, e assim por diante. O mesmo para 12, 24 e 48 horas.

Considerado que a média dos valores precipitados dentro de cada bacia representa o evento na bacia, assim, foi calculada a precipitação média, dentro de cada uma

das 13 bacias, para os períodos de 6, 12, 24 e 48 horas. Ou seja, foi somado o valor de precipitação em cada *pixel*, e dividido pelo número de pixels existente dentro da bacia.

Também foi criado um polígono no entorno das coordenadas do posto pluviométrico do IAG, e foi calculada a média de precipitação por período acumulado também para este polígono, para que fossem calculados os períodos de retorno da precipitação acumulada em 48 horas.

Como resultado, obteve-se uma tabela com o ID da bacia e o volume precipitado dentro de cada período, conforma exemplifica a tabela 4.

Tabela 4 - Exemplo dos resultados das médias de precipitação por bacia.

Raster	ID	Media
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120811acumulado12.asc'	25	17,52257
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120823acumulado24.asc'	25	18,00315
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120823acumulado24.asc'	77	17,21249
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120823acumulado24.asc'	23	15,99761
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120823acumulado48.asc'	25	19,23336
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120823acumulado48.asc'	77	18,17179
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120823acumulado48.asc'	12	17,61882
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120823acumulado48.asc'	23	16,61737
'G:\temp\leticia\DEZ2009\PMAPS_2009120823acumulado48.asc'	5	16,38897
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052511acumulado12.asc'	76	18,98756
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052523acumulado24.asc'	76	23,11819
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052523acumulado24.asc'	15	18,93127
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052523acumulado24.asc'	5	17,77755
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052523acumulado24.asc'	49	15,66829
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052623acumulado48.asc'	76	23,31323
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052623acumulado48.asc'	15	19,75613
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052623acumulado48.asc'	5	17,78254
'G:\temp\leticia\MAI2005\PMAPS_2005052623acumulado48.asc'	49	16,50639

Fonte: Elaborada por Perez, 2012.

Dentro de cada período, foi eleito o maior volume precipitado para cada bacia, em cada um dos acumulados estudados, 6, 12, 24 e 48 horas. Estes dados foram organizados em tabelas Excel, por período acumulado de precipitação. Foram

criadas duas tabelas para cada período, uma organizada com as ocorrências de alagamentos e outra de deslizamentos de terra.

A tabela de precipitação acumulada, por bacia, mostra, conforme tabela 4, a data e hora da ocorrência do maior volume acumulado de precipitação.

O dado organizado nas tabelas conforme exemplo acima, representa o final da chuva, ou seja, se o máximo valor acumulado para 24 horas está nomeado como “PMAPS_2005052523acumulado24.asc”, significa que a chuva começou às 23 horas do dia 24 e chegou ao máximo valor precipitado neste evento, às 23 horas do dia 25, uma vez que o código 2005052523 no nome do arquivo é referente a Ano-Mês-Dia-Hora.

Esta informação foi fundamental para que fosse possível selecionar as ocorrências alagamentos e deslizamentos de terra, para cada acumulado de chuva, pois foram coletadas ocorrências para até 48 horas antes e depois da data do evento. Se o máximo precipitado em determinada bacia para, por exemplo, 48 horas, deu-se no dia X, horário Y, foram atrelados a este evento todas as ocorrências com data X-2.

Tabela 5 - exemplo para acumulado de chuva de 6 horas com dados da Defesa Civil.

BACIAS	P_MEDIA	DATA	DC	EVENTO
3	52,77	2005052523		mai/05
3	16,01	2007020823		fev/07
3	38,25	2007121923		dez/07
3	34,92	2009090823		set/09
3	28,55	2009120823	1	dez/09
3	44,22	2010012123	5	jan/10
3	28,12296	2011011123	2	jan/11
4	48,26	2005052523	7	mai/05
4	25,00	2007020823		fev/07
4	59,04	2007121923		dez/07
4	44,56	2009090823		set/09
4	27,62	2009120823	1	dez/09
4	50,58	2010012123	1	jan/10
4	30,2131	2011011123	10	jan/11

Fonte: Elaborada por Perez, 2013.

Conforme exemplifica a tabela 5, os dados foram organizados com os máximos de precipitação, por período de precipitação acumulada, por bacia, atreladas às ocorrências de deslizamento de terra e alagamentos para os 7 eventos. Foram estas as tabelas utilizadas na construção do índice de vulnerabilidade urbana.

Os *rasters* foram trabalhados no MatLab, para que fossem gerados os acumulados de 6, 12, 24 e 48 horas e, posteriormente, a média por bacias, de acordo com o script genérico abaixo:

```
% Programa para acumular os valores de precipitacao
% por bacia hidrografica
% gerando ascii para cada 6, 12, 24 e 48 horas
%%
clear all
close all
clc
vdir='G:\temp\leticia\FEV2007\PMAPS_200702'
vfim='000.asc';
acumula6=zeros(42,73);
acumula12=zeros(42,73);
acumula24=zeros(42,73);
acumula48=zeros(42,73);
i=0
for dia=5:8
    for hora=1:24
        if hora <= 10
            nome_arq_hora=[vdir '0' num2str(dia) '0' num2str(hora-1)];
        else
            nome_arq_hora=[vdir '0' num2str(dia) num2str(hora-1)];
        end
        for minuto=0:5
            try
                nome_arq=[nome_arq_hora num2str(minuto) vfim];
                x=dlmread(nome_arq,',',7,0);
            catch
                nome_arq=[nome_arq_hora num2str(minuto) vfim]
                x=zeros(42,73);
            end
            acumula6=acumula6+x;
        end
        xmod=mod(hora,6);
        if xmod == 0
            acumula12=acumula12+acumula6;
            dlmwrite([nome_arq_hora 'acumulado6.asc'],acumula6,'delimiter','\t','precision',6)
            acumula6=zeros(42,73);
        end
        xmod=mod(hora,12);
        if xmod == 0
            acumula24=acumula24+acumula12;
            dlmwrite([nome_arq_hora 'acumulado12.asc'],acumula12,'delimiter','\t','precision',6)
            acumula12=zeros(42,73);
        end
        xmod=mod(hora,24);
        if xmod == 0
            acumula48=acumula48+acumula24;
            dlmwrite([nome_arq_hora 'acumulado24.asc'],acumula24,'delimiter','\t','precision',6)
            acumula24=zeros(42,73);
        end
    end
    i=i+1
    xmod=mod(i,2);
    if xmod == 0
        dlmwrite([nome_arq_hora 'acumulado48.asc'],acumula48,'delimiter','\t','precision',6)
```



```

        acumula48=zeros(42,73);
        end
    end
end

```

4.6 Máximos acumulados de precipitação e cálculo do Período de Retorno (TR)

Os resultados das tabelas de precipitação acumulada por bacia hidrográfica foram divididos em 8 tabelas, 4 para as ocorrências de alagamentos e 4 para deslizamentos de terra, contendo, cada uma destas 4 tabelas o máximo volume acumulado precipitado para 6, 12, 24 e 48 horas, conforme Tabela 6.

Nestas tabelas também foram inseridos os volumes de precipitação médio obtido dentro do polígono no entorno da estação do IAG, para cada evento.

Com base na precipitação máxima para cada bacia, utilizando as equações IDF do DAEE (DAEE, 1999), foram calculados os períodos de retorno (TR) destes máximos em cada tabela. Como as equações do DAEE foram feitas para até 1440 minutos, ou seja, 24 horas, para as tabelas de 48 horas de volume precipitado, foi utilizada a estatística dos volumes precipitados no ponto do IAG, conforme a tabela 7.

A equação para duração entre $10 \leq t \leq 1440$ é:

$$it,T = 39,3015 (t+20)^{-0,9228} + 10,1767 (t+20)^{-0,8764} \cdot [-0,4653 - 0,8407 \ln \ln(T/T-1)]$$

Sendo t a duração da chuva em minutos e T o período de retorno.

Tabela 6 – Exemplo de precipitação média acumulada e ocorrências CET

BACIAS	P_MEDIA	DATA	CET	EVENTO	IAG	TR
3	65,43	2005052523	0	mai/05	77,50	2,451449
3	22,68	2007020823	1	fev/07	33,84	1,00633
3	42,38	2007121923	1	dez/07	58,57	1,202462
3	52,46	2009090823		set/09	92,00	1,54404
3	43,09	2009120823		dez/09	47,02	1,219388
3	46,74	2010012123		jan/10	66,89	1,321699
3	28,63087	2011011123		jan/11	54,72	1,025441

Fonte: Elaborado por Perez, 2013

Para $t \geq 2880$, foi utilizada a seguinte tabela:

Tabela 7 – TR ≥ 2880 minutos

Precipitação mm IAG			
TR	24 hrs	48 hrs	72 hrs
2	91,9	101,2	116,5
5	119,1	130,7	145,2
10	137,1	150,2	164,2
25	159,8	174,8	188,1
50	176,7	193,1	205,9
100	193,4	211,2	223,5
200	210,1	229,3	241,1
1000	248,8	271,2	281,9
10000	304,0	331,0	340,1

Fonte: Elaborada por Perez, 2013.

Com o TR calculado para cada evento em cada bacia, para cada acumulado de precipitação, foi feita a correlação entre as ocorrências de alagamento e deslizamento de terra com os períodos de retorno da chuva acumulada nas bacias.

4.7 Classificação da precipitação por período acumulado de chuva

Calculados os TR para cada período de acumulado de precipitação, e feita a análise dos mesmos com as ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra, foram criadas classes de precipitação com base no volume mínimo e máximo de precipitação, para cada período acumulado, registrados em ao menos um dos eventos, ou seja, os valores de precipitação máxima (P_{maior}) e mínima (P_{menor}) foram eleitos independente do evento, mas sim em função de terem ocorrido no mesmo período de precipitação acumulada. Para cada período de precipitação acumulada foi criada uma classificação diferente de P_{maior} e P_{menor} .

Posteriormente foi calculada a média de ocorrências por evento dentro de cada classe. A tabela 8, abaixo, mostram a média de ocorrências, bem como as ocorrências acumuladas para cada período de precipitação acumulada.

Tabela 8 - Classificação da Precipitação por percentual de ocorrências acumuladas.

Defesa Civil 6 horas					CET 6 horas				
Pmenor	Pmaior	N	N medio	Acumul	Pmenor	Pmaior	N	N medio	Acumul
0	23	0,00	0	0	0	16	0,00	0	0
23	35	2,74	0,391156	0,391156	16	35	1,18	0,295432	0,295432
35	50	3,04	0,434966	0,826122	35	50	1,09	0,273508	0,56894
50	60	0,52	0,073741	0,899864	50	60	1,10	0,275654	0,844595
60	70	0,25	0,03619	0,936054	60	70	0,12	0,030405	0,875
70	80	0,45	0,063946	1	70	80	0,16	0,040541	0,915541
80	90	0,00	0		80	90	0,34	0,084459	1
90	100	0,00	0		90	100	0,00	0	1
100	103,25	0,00	0		100	103,25	0,00	0	1
103,25	122,98	0,00	0		103,25	122,98	0,00	0	1
122,98	137,57	0,00	0		122,98	137,57	0,00	0	1
137,57	152,05	0,00	0	1	137,57	152,06	0,00	0	
152,05	300	0,00	0		152,06	300	0,00	0	
Defesa Civil 12 horas					CET 12 horas				
Pmenor	Pmaior	N	N medio	Acumul	Pmenor	Pmaior	N	N medio	Acumul
0	23	0,00	0	0	0	28	0,36	0,091009	0
23	35	1,24	0,176871	0,176871	28	35	0,78	0,194168	0,194168
35	50	2,57	0,367347	0,544218	35	50	0,46	0,115327	0,309495
50	60	1,67	0,238503	0,782721	50	60	0,90	0,226226	0,535721
60	70	0,59	0,08381	0,866531	60	70	0,43	0,108564	0,644285
70	80	0,81	0,116327	0,982857	70	80	0,61	0,152673	0,796958
80	90	0,12	0,017143	1	80	90	0,45	0,112033	0,908991
90	100	0,00	0		90	100	0,00	0	0,908991
100	103,25	0,00	0		100	103,25			
103,25	122,98	0,00	0		103,25	122,98			
122,98	137,57	0,00	0		122,98	137,57			
137,57	152,05	0,00	0		137,57	152,06			1
152,068	300	0,00	0	1	152,06	300			1

Tabela 8 - continuação

Defesa Civil 24 horas					CET 24 horas				
Pmenor	Pmaior	N	N medio	Acumul	Pmenor	Pmaior	N	N medio	Acumul
0	23	0,00	0	0	0	28	0,00	0	0
23	35	1,00	0,142857	0,142857	28	35	0,92	0,229978	0,229978
35	50	2,11	0,302041	0,444898	35	50	0,40	0,101153	0,331131
50	60	0,96	0,136735	0,581633	50	60	0,47	0,117638	0,448769
60	70	1,33	0,19	0,771633	60	70	1,15	0,286266	0,735035
70	80	0,36	0,050952	0,822585	70	80	0,47	0,116762	0,851797
80	90	0,57	0,081905	0,90449	80	90	0,11	0,027574	0,879371
90	100	0,55	0,078367		90	100	0,48	0,120629	1
100	103,25	0,00	0		100	103,25			
103,25	122,98	0,12	0,017143		103,25	122,98			
122,98	137,57	0,00	0		122,98	137,57			
137,57	152,05	0,00	0		137,57	152,06			
152,068	300	0,00	0	1	152,06	300			1
Defesa Civil 48 horas					CET 48 horas				
Pmenor	Pmaior	N	N medio	Acumul	Pmenor	Pmaior	N	N medio	Acumul
0	23	0,00	0	0	0	28	0,00	0	0
23	35	0,00	0	0	28	35	0,07	0,017045	0,017045
35	50	0,70	0,100054	0,100054	35	50	0,71	0,177304	0,19435
50	60	0,52	0,074264	0,174318	50	60	0,47	0,117955	0,312305
60	70	2,90	0,414161	0,588479	60	70	0,46	0,113855	0,426159
70	80	1,01	0,144876	0,733355	70	80	0,99	0,248281	0,67444
80	90	1,40	0,199954	0,933309	80	90	0,63	0,158258	0,832698
90	100	0,28	0,03956	0,972869	90	100	0,12	0,030578	0,863277
100	103,25	0,00	0	0,972869	100	103,25	0,39	0,096591	0,959867
103,25	122,98	0,16	0,02327	0,996139	103,25	123	0,02	0,00463	0,964497
122,98	137,57	0,00	0	0,996139	123	137,55	0,00	0	0,964497
137,57	152,05	0,00	0	0,996139	137,55	152,06	0,00	0	0,964497
152,068	300	0,03	0,003861	1	152,06				

Fonte: Elaborada por Perez, 2013

São:

Pmenor – menor precipitação encontrada dentre os máximos listados para cada período acumulado de chuva.

Pmaior – maior precipitação encontrada dentre os máximos listados para cada período acumulado de chuva.

N – percentual do número de ocorrências em relação ao total de ocorrências dentro de determinada faixa de precipitação.

N médio – média de N em relação ao total de ocorrências para o período de precipitação acumulada.

Acumul – N acumulado (somado ao valor anterior) de acordo com a faixa de precipitação.

Estas tabelas subsidiaram a criação do índice de vulnerabilidade urbana a eventos extremos de clima para ocorrências de alagamento e de deslizamento de terra, pois mostram o percentual de ocorrências por evento e por período acumulado de precipitação.

As bacias são vulneráveis de maneira distinta, a cada tipo de ocorrência. Ao classificar a chuva por faixas de volume precipitado e correlacionar estas classes com o percentual de ocorrências dentro de cada classe, foi possível estabelecer uma relação mais precisa entre chuva e ocorrências, criando uma função única, para cada período de precipitação acumulada. Esta função, descrita a seguir, é o índice de vulnerabilidade, e, a partir dele, será possível classificar a vulnerabilidade de cada bacia aos desastres alagamento e deslizamento de terra, para cada período acumulado de chuva.

4.8 Índice de vulnerabilidade urbana a eventos extremos de chuva.

A correlação entre o percentual de ocorrências acumuladas (Acumul) e os maiores valores precipitados (Pmaior), para cada período acumulado de precipitação, resultaram em uma função sigmoide, que representa o índice de vulnerabilidade urbana a eventos extremos de clima.

Utilizando a função “solver” no Excel, que faz ajustes por mínimos quadrados, foram criadas 8 funções, sendo uma para cada período de precipitação acumulada, 6, 12, 24 e 48 horas, e para cada tipo de ocorrência: alagamentos e deslizamentos de terra.

A ideia inicial era de criar uma única função para cada tipo de ocorrência, mas as análises dos gráficos em conjunto mostraram que muita informação sobre grandes volumes de chuva precipitados em um curto espaço de tempo, seriam perdidos, conforme será apresentado e discutido nos resultados.

As funções apresentam o índice de vulnerabilidade para cada bacia, de acordo com o número de ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra, para diferentes períodos de retorno das precipitações máximas.

4.9 Classificação da vulnerabilidade urbana

Com as tabelas Excel prontas, foram modeladas as tabelas de atributos das bacias, no próprio Excel, e, posteriormente, importadas para o ArcGis, para que fosse possível confeccionar os mapas de vulnerabilidade urbana frente a eventos extremos de chuva.

De acordo com as correlações entre ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra, foi possível verificar grande correlação entre chuvas “comuns”, ou seja, de curtos períodos de retorno, e ambas ocorrências. Assim, foram criadas classes de vulnerabilidade urbana das bacias para os TRs de 2, 5 e 10 anos, para cada período acumulado de chuva, de 6, 12, 24 e 48 horas.

Os TRs escolhidos foram baseados na classificação de chuva de Medeiros (2013), conforme tabela 9, de acordo com a precipitação acumulada encontrada em

diversas cidades que sofreram com graves desastres relacionados à precipitação, no Brasil.

Tabela 9 – Classificação de Chuvas

Classificação da chuva	TR
Chuva Fraca	$t \leq 2$
Chuva Leve	$2 < t \leq 6,3$
Chuva Moderada	$6,3 < t \leq 15$
Chuva Severa	$15 < t \leq 44$
Chuva Extrema	> 44

Fonte: Medeiros, 2013

Como os 7 eventos eleitos não apresentaram precipitação capaz de atingir a classificação de chuva severa ou extrema, nas datas analisadas, foi feita uma adaptação para os TRs de 2, 5 e 10 anos.

Foram, então, criadas 4 classes de vulnerabilidade:

- baixa vulnerabilidade
- média vulnerabilidade
- alta vulnerabilidade
- muito alta vulnerabilidade.

Para as ocorrências de alagamentos da CET, foram consideradas bacias com baixa vulnerabilidade aquelas cujo número de ocorrências, por período de chuva acumulado e por TR fosse de até 10% do total de ocorrências. E, para a criação das outras classes, foram divididos os restantes 90% em três classes lineares:

Tabela 10 - Classificação da vulnerabilidade a alagamentos.

Ocorrências de alagamentos CET	Vulnerabilidade
0 a 10	baixa vulnerabilidade
10 a 30	média vulnerabilidade
30 a 65	alta vulnerabilidade
mais de 65	muito alta vulnerabilidade

Fonte: Elaborada por Perez, 2013.

Para as ocorrências de deslizamentos de terra da Defesa Civil foram consideradas bacias com baixa vulnerabilidade aquelas com zero ou uma única ocorrência, uma

vez que os problemas sociais e de saúde, causados por este tipo de ocorrência, são muito mais graves que para alagamentos. As outras 3 classes foram criadas com uma divisão também linear a partir do número de ocorrências:

Tabela 11 - Classificação da vulnerabilidade a alagamentos.

Ocorrências de Deslizamentos de Terra DC	Vulnerabilidade
até 1	baixa vulnerabilidade
1 a 6	média vulnerabilidade
6 a 12	alta vulnerabilidade
mais de 12	muito alta vulnerabilidade

Fonte: Elaborada por Perez, 2013.

4.10 Mapa de vulnerabilidade urbana a eventos extremos de clima.

Com base na classificação de vulnerabilidade urbana frente às ocorrências de deslizamentos de terra e alagamentos, foram criadas tabelas com o percentual de ocorrências para cada período de chuva acumulada, de 6, 12, 24 e 48 horas, para cada TR, de 2, 5 e 10 anos.

Com base na precipitação média de um TR de 2, 5 e 10 anos para as bacias, foi calculada a vulnerabilidade de acordo com a função de vulnerabilidade descrita no item 5.6. Em função deste Índice de Vulnerabilidade, para cada TR em cada período acumulado de precipitação, e em relação ao número de ocorrências em cada bacia, as mesmas foram classificadas.

Na tabela 12 a seguir, um exemplo para uma chuva acumulada de 6 horas, de ocorrências de alagamentos da CET, com TR de 2 anos, mostra um exemplo desta classificação. As tabelas completas estão presentes nos anexos.

Tabela 12 - exemplo do cálculo do IV por bacia, para classificação das mesmas.

Bacia	Ocorrências CET	Chuva (mm) TR2	Vulnerabilidade	Índice de Vulnerabilidade
38	0	56	0,66	0,00
5	1	56	0,66	0,66
22	1	56	0,66	0,66
3	2	56	0,66	1,32
4	6	56	0,66	3,96
77	13	56	0,66	8,58
12	30	56	0,66	19,80
11	45	56	0,66	29,70
66	46	56	0,66	30,36
24	48	56	0,66	31,68
45	71	56	0,66	46,86
74	91	56	0,66	60,06
41	106	56	0,66	69,96

Fonte: Elabora por Perez, 2013.

Sendo o IV para 6 horas, para as ocorrências de alagamento $V(p) = \frac{0,0114}{0,0114 + e^{-0,094p}}$

e sendo a precipitação média para as bacias paulistanas de 56 mm, para um TR de 2 anos, foi calculada a vulnerabilidade para esta precipitação. Em função da vulnerabilidade e do número de ocorrências nas bacias, foi feito o seguinte cálculo:

$IV = V * \text{Número de ocorrências}$

Com base neste valor IV foram feitos os mapas de vulnerabilidade das bacias paulistanas.

4.11 ANÁLISES COMPLEMENTARES

4.11.1 Dados SRTM e Mapa de Declividade

Para entender melhor a ocorrência dos alagamentos e deslizamentos de terra, em relação à declividade, foi feito um mapa de declividade para a área de estudo.

Para gerar o mapa de declividade, foram utilizados os dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da USGS (U.S. Geological Survey), que consistem em dados

de topografia feitos para todo o globo, disponíveis gratuitamente, com resolução espacial de 90 metros. Os dados originais são georreferenciados em sistema de projeção WGS84, e os mesmos foram transformados para UTM/SAD69 utilizando a ferramenta de conversão de projeção do ArcGis 10.

Foi recortado um retângulo que cobrisse toda a área de estudo, entre as coordenadas 47 04' 35" O / 23 13' 50" S e 45 39' 11" O / 23 59' 49" S.

As ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra foram sobrepostas ao mapa de declividade, para que fosse feita uma análise visual da distribuição espacial das ocorrências em relação ao terreno da área de estudo.

Mapa 5 -Declividade. Fonte: USGS, 2012; IBGE, 2012, DAEE, 2012. Elaborado por Perez, 2013.

O mapa 5 foi confeccionado utilizando a função *Slope* (declividade), do ArcGis 10, que consiste em uma ferramenta que reconhece o valor de elevação de cada *pixel* de um *raster* – no caso a imagem SRTM – e gera mapas de declividade em

porcentagem ou em graus. Optou-se por gerar a declividade em porcentagem, conforme mostra o mapa 5 acima.

4.11.2. Mapa de impermeabilização de São Paulo

Uma vez que os deslizamentos de terra ocorrem em áreas onde o terreno está exposto, ocupado, e sem a infraestrutura urbana de drenagem necessária para garantir que este tipo de desastre não ocorra, e, uma vez que os alagamentos tem ligação direta com impermeabilização do solo, foram feitas análises espaciais, por bacia hidrográfica, entre a quantidade de ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra, e o percentual de área impermeabilizada, com base no mapeamento de áreas permeáveis do PDMAT-3 (DAEE, 2012).

O mapeamento mostra o percentual de área impermeável dentro da cidade de São Paulo. Foi feito o cálculo de áreas impermeáveis por bacia, utilizando a ferramenta de “*select by location*”, criando uma seleção deste mapa para cada bacia. Foi feita a média do percentual impermeável dentro de cada bacia, que foram classificadas em 4 classes de impermeabilização. Posteriormente foi feita a relação entre o número de ocorrências de deslizamentos de terra e alagamentos por classe de impermeabilização. Os mapas serão apresentados nos resultados.

4.11.3 Mapeamento de Assentamentos Precários e ocorrências de deslizamentos de terra

Foi solicitado, e gentilmente cedido, o mapeamento dos assentamentos precários, núcleos habitacionais, favelas e loteamentos irregulares, da Secretaria de Habitação da Prefeitura de São Paulo (HABI-SP, 2012). Os dados foram recebidos no formato vetorial do tipo *shapefile*.

A ocupação de áreas de preservação, como topo de morros ou áreas de alta declividade, principalmente por uma população carente de recursos, é fato nos grandes centros urbanos, e não é diferente em São Paulo. Também é comum as notícias de deslizamentos de casas e barracos, que às vezes trazem notícias de óbitos. Por este motivo, optou-se por mapear a quantidade de assentamentos e loteamentos irregulares no entorno das ocorrências de deslizamento de terra, pela Defesa Civil de São Paulo.

Os assentamentos irregulares são, na maioria das vezes, mapeados com base em imagens de satélite ou fotografias aéreas. Por vezes, o mapeamento também é feito com a utilização de GPS, sem uma precisão topográfica apurada. Como se tratam de assentamentos, com pouca infraestrutura urbana, muitas vezes os núcleos são mapeados, mas as ocupações dispersas no entorno são descartadas, e, no caso do mapeamento da Habi-SP, estas ocupações dispersas entram somente na conta de total de domicílios, para fins de planejamento, mas encontram-se fora dos perímetros mapeados.

Assim, para encontrar o percentual de ocorrências de alagamentos que se deram próximos a assentamentos irregulares foram gerados *buffers* de 100 e 300 metros de distância ao redor dos polígonos de assentamentos, distâncias consideradas capazes de encontrar ocorrências de deslizamentos de terra fora dos perímetros mapeados pela Habi-SP.

Os buffers foram gerados através da ferramenta de *proximity – buffer*, no ArcGis 10, que gera um polígono de raio pré definido, em volta de cada feição desenhada, em relação ao centroide desta feição. Com a ferramenta de “*select by location*”, foram selecionados os pontos dentro de cada buffer. Os resultados foram exportados para

o Excel para que as ocorrências fossem somadas e fosse apresentado o cálculo de porcentagem de ocorrências por proximidade dos assentamentos precários.

Mapa 6 - Assentamentos. Fonte: Habi-SP, 2012; IBGE, 2012; EMPLASA, 1974. Elaborado por Perez, 2013.

O mapa 6 acima mostra a distribuição espacial dos assentamentos e loteamentos irregulares no município de São Paulo.

4.11.4 Ocorrências de alagamentos por bairros e em relação à hidrografia

As notícias de alagamentos na cidade de São Paulo, nos períodos mais chuvosos do ano, já são corriqueiras. Os alagamentos travam as principais vias da cidade, causam congestionamentos cada vez maiores, e trazem prejuízos econômicos para a população e para o poder público, além de aumentarem o *stress* desnecessário da população, que já sofre, cotidianamente, com os altos índices de congestionamento

na cidade. Assim, com as ocorrências de alagamento mapeadas pela CET em mãos, optou-se por gerar uma análise dos pontos de alagamentos na cidade de São Paulo, que ocorrem dentro da área do rodízio de carros, onde se concentram as principais artérias do sistema viário paulistano. Ainda, outra análise pertinente era mapear os bairros que mais sofrem com os alagamentos.

Como as principais avenidas da cidade de São Paulo foram construídas nas várzeas dos cursos d'água, foi feita a medição da distância entre o leito de alguns dos principais rios da cidade, e o limite final das avenidas que ocupam as várzeas. No caso da Marginal Tietê, a distância entre o leito do rio e as avenidas principais e marginais, é de aproximadamente 100 metros, nas Avenidas do Estado, Aricanduva e Águas Espraiadas, esta distância varia entre 30 e 50 metros. Ainda, é sabido que a água que não consegue vazar pelo leito do rio volta para o sistema de drenagem de águas pluviais e causa alagamentos em áreas no entorno destas avenidas. Assim, foram definidos limites de 300 e 500 metros no entorno do mapeamento da hidrografia principal do município de São Paulo. O dado de hidrografia é o dado gerado no GEGRAM (EMPLASA, 1974).

Para mapear e contar as ocorrências de alagamentos neste entorno, foram gerados *buffers* de 300 e 500 metros da hidrografia principal, e selecionadas as ocorrências com a mesma metodologia aplicada para as ocorrências de deslizamentos de terra.

Para encontrar as ocorrências de alagamentos dentro de cada bairro de São Paulo foi feito um “*spatial join*”, que trouxe, para dentro da tabela de atributos de ocorrências, o nome de cada bairro onde estão localizadas, com base no arquivo vetorial do tipo *shapefile*, gentilmente cedido pela Secretaria de Habitação da Prefeitura de São Paulo. Esta tabela de atributos foi exportada para o Excel, onde foram selecionados os bairros com maior ocorrência de alagamento.

4.11.5 Ocorrências de alagamentos, deslizamentos de terra e densidade de domicílios

Os dados socioeconômicos foram baixados via “*download*” do site do IBGE. Foram baixados os arquivos vetoriais, do tipo *shapelif*, dos dados espaciais dos setores censitários e dos limites dos municípios da RMSP, além do “*download*” da tabela de pessoas.

Foi feito um *join* (ligação entre tabela e dado espacial) com a tabela de pessoas do censo. Posteriormente, foram aglomerados os setores censitários dentro de cada bacia de interesse. Os atributos da tabela de pessoas também agrupados que fosse possível saber o número domicílios por bacia.

Com base nestes dados foram feitas análises espaciais para correlacionar o número de ocorrências de deslizamentos de terra e alagamentos, com dados sócio econômicos. Optou-se por analisar o número de ocorrências por densidade populacional, uma vez que este é o dado que mostra a impermeabilização do solo (Pinto, 2008)

Foram gerados mapas de densidade de domicílios (dom/km²), e sobre este dado foram sobrepostas as ocorrências alagamentos e deslizamentos de terra.

Utilizando as ferramentas “*select by location*” e “*spatial join*” foi criada uma tabela que continha a densidade de domicílios e o número de ocorrências, por bacia. Esta tabela foi exportada para o Excel para que fosse calculado o percentual de ocorrências de acordo com a densidade de domicílio em cada bacia.

Ambos os mapeamentos e cruzamentos de dados foram feitos com base em uma classificação por faixas de densidade populacional e de domicílios.

5 RESULTADOS

Os problemas mais comuns associados ao clima urbano, na RMSP, são os deslizamentos de terra e os alagamentos, ambos originados do evento natural que é a precipitação. Portanto, com base em eventos considerados extremos de chuva, serão apresentados primeiramente os resultados das análises com as ocorrências de deslizamento de terra, da Defesa Civil, e de alagamentos, da CET, nas datas dos eventos extremos encontrados - 23 maio de 2005, 07 fevereiro de 2007, 18 dezembro de 2007, 06 setembro de 2009, 07 dezembro de 2009, 20 janeiro de 2010 e 10 janeiro de 2011 - em relação a ocupação do solo e impermeabilização, declividade, dados socioeconômicos e principais vias da cidade.

Em seguida serão apresentadas as análises do índice de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de precipitação, bem como os mapas de vulnerabilidade das bacias hidrográficas.

5.1 Análise das ocorrências de deslizamento de terra e de alagamentos em relação ao uso do solo e declividade

As ocorrências de deslizamento de terra se dão em altas declividades, em áreas onde falta infraestrutura urbana, ou seja, menos urbanizadas, e atingem uma população mais carente, enquanto que as ocorrências de alagamentos ocorrem nas baixas declividades, muito urbanizadas, em avenidas importantes da cidade de São Paulo, e atingem toda a população. Apesar de parecerem antagônicas, vale lembrar que ambos problemas são desencadeados pela precipitação, fator fundamental na ocorrência destes desastres.

Mapa 7 – Assentamentos e Deslizamentos de Terra. Fonte: Habi-SP, 2012; IBGE, 2012; DAEE, 2012, EMPLASA, 1974. Elaborado por Perez, 2013.

Uma análise visual da distribuição espacial das ocorrências de Defesa Civil sobre o mapa da cidade de São Paulo (mapa 7), para os eventos selecionados, mostra que as ocorrências de deslizamentos de terra concentram-se nas áreas periféricas da cidade, e o número de ocorrências, dentro dos perímetros gerado no entorno dos assentamentos precários, mapeados pela Secretaria de Habitação da Prefeitura de São Paulo, conforme tabela 13, que prova:

- Em média, 48% das ocorrências de deslizamento de terra se deram a até 100 metros de assentamentos precários mapeados pela Habitação.
- Em média, 82% das ocorrências de deslizamento de terra se deram a até 300 metros de assentamentos precários mapeados pela Habitação.

Tabela 13- Ocorrências de deslizamento de terra e perímetros Habi-SP.

ID	Total	100m Habi	% 100m Habi	300m Habi	% 300m Habi
3	8	5	63%	7	88%
4	19	16	84%	18	95%
5	7	4	57%	7	100%
11	25	18	72%	23	92%
12	10	5	50%	6	60%
22	7	4	57%	7	100%
24	28	12	43%	20	71%
38	1	0	0%	1	100%
41	9	7	78%	9	100%
45	14	7	50%	9	64%
66	14	1	7%	8	57%
74	5	1	20%	3	60%
77	14	6	43%	12	86%

Fonte: Elaborada por Perez, 2013.

Os assentamentos precários concentram-se, em sua maioria, nas periferias da cidade de São Paulo, e, principalmente, nas altas declividades, conforme comprova o mapa 8 .

Mapa 8 – Declividade e deslizamentos de terra. Fonte: USGS, 2012; IBGE, 2012; EMPLASA, 1974.

Elaborado por Perez, 2013.

A concentração de ocorrências em altas declividades comprova que a ocupação irregular se dá em áreas de necessária preservação, em topos de morros e vertentes.

A análise da distribuição espacial das ocorrências de alagamentos, a 300 e 500 metros no entorno da hidrografia principal, mostra que mais da metade delas se concentra dentro destas distâncias dos corpos d'água, e, conseqüentemente, nas áreas de menos declividade.

A estrutura viária brasileira tem como característica a ocupação das várzeas dos rios e córregos, muitas vezes canalizados, para a construção de avenidas. O mapa 9 mostra a grande concentração destes pontos de alagamento nas áreas de baixa declividade, ou seja, os alagamentos ocorrem geralmente próximos aos corpos d'água, onde se concentram as vias mais importantes da espinha dorsal do sistema viário paulistano, conforme mostra a tabela 14.

Tabela 14 - Ocorrências de alagamentos em relação aos cursos d'água

CET	Ocorrências	% do total
Total de ocorrências	885	-
300m dos cursos d'água	485	67%
500m dos cursos d'água	596	54%

Fonte: Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 9 – Declividade e alagamentos. Fonte: Fonte: USGS, 2012; IBGE, 2012; EMPLASA, 1974.

Elaborado por Perez, 2013.

Outra análise com as ocorrências de alagamentos mostra que a maior concentração das mesmas se dá nos bairros centrais, e as maiores ocorrências, para os eventos selecionados então listadas na tabela 15.

Tabela 15 - Ocorrências de alagamentos por bairros.

Bairro	Ocorrências
Santana	52
Butantã	47
Centro	31
Água Branca	29
Bom retiro	23
Pinheiros	22
Santo Amaro	20
V. Mariana	20
Brás	17
V. Leopoldina	17
Lapa	16
Barra Funda	14
Belenzinho	13

Fonte: Elaborado por Perez, 2013.

O mapa 10 apresenta a ocorrência de alagamentos junto ao polígono do rodízio de carros. Neste polígono concentram-se as principais vias do sistema viário paulistano, e 55% das ocorrências de alagamento, nos eventos estudados, concentram-se dentro desta área.

Mapa 10 – Perímetro do Rodízio de carros e alagamentos. Fonte: CEM, 2012. Elaborado por Perez, 2013.

Em relação a impermeabilização do solo, a sobreposição de ocorrências de deslizamento de terra e alagamentos, mostram grande correlação entre as ocorrências de alagamentos com a taxa de impermeabilidade, já que 86 % das ocorrências de alagamentos deram-se em bacias com taxa de permeabilidade entre 76 e 90 %. Para os deslizamentos de terra, as ocorrências dentro das bacias mais impermeáveis é menor, de 50%, conforme mostra a tabela 16 e os mapas 11 e 12.

Esta análise confirma que os alagamentos se dão nas bacias com maiores índices de impermeabilização, já que a ocorrência de alagamentos possui relação direta com a capacidade de escoamento da água e a capacidade de percolação do solo.

Também é possível compreender que as ocorrências de deslizamento de terra estão presentes em bacias menos impermeáveis, uma vez que estas ocorrências estão relacionadas com a ocupação irregular de áreas de necessária preservação, e, conseqüentemente, carentes de infraestrutura urbana adequada, portanto, menos impermeáveis.

O mapa 11 mostra o uso do solo e a distribuição das ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra. O mapa 12 mostra a taxa de impermeabilização das bacias e ambas as ocorrências. No mapa de uso do solo é possível observar que praticamente todas as ocorrências se dão em área urbanizada, pois os assentamentos irregulares e precários são mapeados como área urbanizada, de acordo com o mapeamento utilizado neste trabalho.

Tabela 16 - ocorrências por classe de impermeabilização.

Impermeabilidade	Ocorrências CET	Ocorrências D.Civil
35 - 45,9 %	1 %	50 %
46 - 66,9 %	11 %	16 %
67 - 75,9 %	2 %	18 %
76 - 90 %	86 %	16 %

Mapa 11 – Uso do solo, alagamentos e deslizamentos de terra. Fonte: DAEE, 2012; IBGE, 2012; EMPLASA, 1974. Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 12 – Impermeabilização. Fonte: DAEE, 2012; IBGE, 2012. Elaborado por Perez, 2013.

5.2 Dados Socioeconômicos: densidade de domicílios

Optou-se por cruzar os dados de alagamentos e deslizamentos de terra com o mapa de densidade de domicílios, conforme mapa 13, porque estes que causam impermeabilização do solo, e possuem relação direta com ambas as ocorrências, seja pela própria impermeabilização, seja pela ocupação de áreas de necessária preservação. O cruzamento das ocorrências alagamentos e deslizamentos de terra com dados sócio econômicos do IBGE não mostram resultados significativos, ou de grande correlação. A tabela 17 mostra o percentual de ocorrências de acordo com a densidade de domicílios por quilômetro quadrado:

Tabela 17 - Ocorrências por classe de densidade de domicílios.

Domicílios/ km²	Alagamentos	Deslizamentos de Terra
350 – 1000	1%	17%
1001 – 6000	6%	7%
6001 – 9000	25%	28%
9001 - 14000	44%	22%
14001 - 23000	24%	26%

Fonte: Elaborada por Perez, 2013.

Mapa 13 – Densidade de domicílios. Fonte: IBGE, 2012; DAEE, 2012. Elaborado por Perez, 2013

A baixa correlação entre as ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra com a densidade de domicílios mostra que a escolha de uma mesodivisão de bacias hidrográficas como categoria de análise não serviu para representar detalhes dos dados socioeconômicos do IBGE, uma vez que foi grande o agrupamento de setores censitários dentro de uma mesma bacia, que, provavelmente, fez com que este tipo de informação fosse perdido em uma análise de escala menos que a do Censo.

5.3 Índice de Vulnerabilidade Urbana

O cálculo dos índices de vulnerabilidade urbana a eventos extremos de chuva, frente a ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra mostra que o número de ocorrências em função da precipitação revela uma resposta da vulnerabilidade das bacias hidrográficas da RMSP.

Os gráficos 1 a 8 mostram a função de vulnerabilidade das bacias às ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra, em função da precipitação acumulada de 6, 12, 24 e 48 horas.

Gráfico 1 - Índice de vulnerabilidade a alagamentos – chuva acumulada de 6 horas

$$V(p) = \frac{0,0114}{0,0114 + e^{-0,094p}}$$

Gráfico 2 - Índice de vulnerabilidade a alagamentos – chuva acumulada de 12 horas

$$V(p) = \frac{0,012}{0,012 + e^{-0,074p}}$$

Gráfico 3- Índice de vulnerabilidade a alagamentos – chuva acumulada de 24 horas

$$V(p) = \frac{0,0105}{0,0105 + e^{-0,0763p}}$$

Gráfico 4 - Índice de vulnerabilidade a alagamentos – chuva acumulada de 48 horas

$$V(p) = \frac{0,012}{0,012 + e^{-0,074p}}$$

Gráfico 5 - Índice de vulnerabilidade deslizamentos de terra – chuva acumulada 6 horas

$$V(p) = \frac{0,010}{0,010 + e^{-0,115p}}$$

Gráfico 6 - Índice de vulnerabilidade deslizamentos de terra – chuva acumulada 12 horas

$$V(p) = \frac{0,012}{0,012 + e^{-0,092p}}$$

Gráfico 7 - Índice de vulnerabilidade deslizamentos de terra – chuva acumulada 24 horas

$$V(p) = \frac{0,04}{0,04 + e^{-0,072p}}$$

Gráfico 8 - Índice de vulnerabilidade deslizamentos de terra – chuva acumulada 48 horas

$$V(p) = \frac{0,00014}{0,00014 + e^{-0,12809p}}$$

Associando a função de vulnerabilidade ao impacto das ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra, nas bacias, por período de retorno da chuva, é possível classificar as bacias por grau de vulnerabilidade, e confeccionar mapas que mostrem onde e quais são as bacias hidrográficas mais vulneráveis a estes desastres, na RMSP.

5.4 Mapas de vulnerabilidade

Os últimos resultados a serem apresentados são os mapas de bacias vulneráveis a eventos extremos de chuva, frente a ocorrências de alagamentos e deslizamentos de terra. Foram gerados mapas de bacias vulneráveis, por período de precipitação acumulada de 6, 12, 24 e 48 horas, para os períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos.

Os mapas de 15 a 38 apresentam este resultado, e as figuras 4 e 5 mostram o conjunto dos mapas de vulnerabilidade das bacias a alagamentos e deslizamentos de terra, para melhor compreensão dos mesmos.

Mapa 15 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 16 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 17 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 18 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 19 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 20 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 21 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 22 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 23 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 24 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 25 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 26 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 27 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 28 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 29 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 30 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 31 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 32 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 33 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 34 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 35 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 36 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 37 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 38 – Elaborado por Perez, 2013.

Figura 5 – Mapas de vulnerabilidade a deslizamentos de terra.

Analisando os mapas de vulnerabilidade urbana a ocorrências de alagamentos, os resultados mostram que para uma chuva de 6 horas, com TR de 2 anos, os mapas mostram que a bacia de muito alta vulnerabilidade é a bacia do Córrego Água Espraiada, e que as bacias dos córregos e rios da contribuição lateral do Tietê, a do Cabuçu de Baixo, Baixo Cabuçu e Tamanduateí Inferior são altamente vulneráveis a ocorrências de alagamentos.

Com o mesmo acumulado de chuva e um TR de 5 e 10 anos, o resultado é o mesmo, as bacias do Água Espraiada, Tamanduateí Inferior e Cabuçu de Baixo estão classificadas como muito alta vulnerabilidade, e as bacias do Pirajussara, Baixo Cabuçu e a contribuição lateral do Tietê.

Para acumulados de chuva de 12 horas, com chuvas de TR de 2 anos, nenhuma bacia é classificada com muito alta vulnerabilidade, mas as bacias do Cabuçu de Baixo, Tamanduateí Inferior e Água Espraiada são muito vulneráveis a alagamentos. Com chuvas de TR de 5 anos, as bacias Tamanduateí Inferior e Água Espraiada passam a ser de muito alta vulneráveis a alagamentos, e as bacias com alta vulnerabilidade a alagamentos são Pirajussara, Baixo Cabuçu, Contribuição Lateral do Tietê e Cabuçu de Baixo. Para chuvas de 10 anos de período de retorno a bacia do Cabuçu de baixo passa a ser de muito alta vulnerável.

Nos eventos acumulados de 24 horas, com chuvas de TR de 2 anos, a bacia do Água Espraiada está classificada com muito alta vulnerabilidade a alagamentos, e as bacias do Cabuçu de Baixo e Tamanduateí Inferior são muito vulneráveis.

Para acumulado de chuva de 48 horas, com chuvas de Tr de 2 anos, nenhuma bacia apresenta muito alta vulnerabilidade a alagamentos, mas as bacias do

Cabuçu de Baixo, Tamanduateí Inferior e Água Espraiada são muito vulneráveis a alagamentos.

Por fim, para chuvas acumuladas de 24 e 48 horas, com TR de 5 e 10 anos, os mapas mostram os mesmos resultados que para chuva acumulada de 12 horas.

A análise dos mapas de vulnerabilidade urbana a deslizamentos de terra, os mapas mostram resultados muito parecidos no que diz respeito à classificação das bacias por faixas de vulnerabilidade, independente dos períodos acumulados de precipitação e das chuvas para os 3 períodos de retorno analisados.

Com um acumulado de precipitação de 6 horas, para um TR de 2 anos, as bacias da Guarapiranga, do Pirajussara e dos córregos da Contribuição Lateral do Tietê são classificados com muito alta vulnerabilidade a deslizamentos de terra. As bacias Billings, Água Espraiada, Aricanduva, Cabuçu de Baixo, Baixo Cabuçu e dos córregos da Vertente esquerda do Tietê são muito vulneráveis a deslizamentos de terra.

Para chuvas de período de retorno de 5 e 10 anos, os resultados são os mesmos para acumulados de chuva de 6, 12, 24 ou 48 horas, e as bacias Cabuçu de Baixo, Baixo Cabuçu e Vertente Esquerda do Tietê, passam a ser de muito alta vulnerabilidade, já Tamanduateí Médio e Cabuçu Médio passam a ser classificadas com alta vulnerabilidade a deslizamentos de terra.

Uma exceção a essa coincidência de resultados se dá para a precipitação acumulada de 48 horas e TR de 5 anos, as bacias do Cabuçu de Baixo e Vertente Esquerda do Tietê passam a ser classificadas como alta vulnerabilidade, e não mais de muito alta vulnerabilidade vulneráveis.

Com um período acumulado de precipitação de 48 horas, para chuvas de TR de 2 e 5 anos, as bacias Guarapiranga, do Pirajussara e dos córregos da Contribuição Lateral do Tietê são classificados com muito alta vulnerabilidade a deslizamentos de terra. As bacias Billings, Água Espraiada, Aricanduva, Cabuçu de Baixo, Baixo Cabuçu e dos córregos da Vertente esquerda do Tietê são muito vulneráveis a estas ocorrências.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Análises espaciais

A análise espacial das ocorrências de deslizamentos de terra em São Paulo mostra que 48% dos deslizamentos de terra, envolvendo deslizamento de barracos, casas ou muros, ocorrem a até 100 metros de assentamentos precários e loteamentos irregulares, e 82% destas ocorrências acontecem a até 300 metros destas mesmas áreas.

Este resultado mostra que grande parte dos desastres relacionados a deslizamentos de terra acontecem muito próximos de áreas ocupadas por uma população carente de recursos, que ocupa áreas de necessária preservação, por não terem condições adequadas de moradia.

A análise das ocorrências de alagamentos mostra que 67% dos alagamentos ocorrem a até 300 metros dos corpos d'água, e 54% a até 500 metros dos mesmos. Este resultado prova que as várzeas dos rios, que deveriam ser preservadas, conforme legislação ambiental vigente, mas que foram transformadas nas principais vias do sistema de transporte paulistano, sofrerão com problemas de alagamento sempre. Isto porque, os cálculos dos períodos de retorno das chuvas analisadas mostra que, a pesar de serem considerados eventos extremos por conta do volume precipitado em relação às medições das séries históricas dos pluviômetros do DAEE, são chuvas de curtos períodos de retorno, de 2 a 5 anos. A concentração da distribuição da chuva em curtos períodos de tempo (6, 12 horas), influencia o tráfego, e traz prejuízos econômicos para a cidade.

Os resultados mostram que ambos os desastres analisados estão relacionados a conflitos de uso do solo, seja por ocupação irregular de áreas de necessária

preservação, como vertentes e topos de morro, como ocorre na maioria das relações entre deslizamentos de terra e uso do solo, seja pela canalização e retificação dos cursos d'água, impermeabilização do solo e a ocupação das margens desta hidrografia com a construção de avenidas.

Os consecutivos problemas de deslizamentos de terra em São Paulo mostram que a falta de fiscalização por parte do poder público, que por muitos anos foi conivente com a ocupação irregular, bem como a incontável especulação imobiliária, são problemas a serem enfrentados. Ainda, os alagamentos vistos em São Paulo, todo verão, provam que mesmo com obras de infraestrutura urbana e planejamento das mesmas para chuvas de períodos de retorno maiores, a ocupação das várzeas dos corpos d'água como viário não é uma solução viável.

As análises espaciais das ocorrências de alagamentos mostram que os bairros mais afetados são os bairros centrais, que concentram grande parte dos serviços na cidade de São Paulo, como Santana, centralidade importante na Zona Norte da cidade, Pinheiros, Água Branca/Barra Funda, Santo Amaro e Vila Mariana, bairros importantes na disponibilidade de serviços, além do Centro da cidade, que continua a ser um centro financeiro, concentrador de serviços, e de grande fluxo de pessoas e veículos. O percentual de que 55% o ocorrência de alagamentos distantes 100 metros uns dos outros, dentro da área de rodízio de carros, mostra que existem 253 pontos passíveis de alagamento dentro de um perímetro que contem as principais vias de tráfego da cidade.

Em relação ao uso do solo e impermeabilização do mesmo, as análises espaciais apresentam resultados já esperados:

- 50% das ocorrências de deslizamento de terra concentram-se em áreas classificadas com índices entre 35 e 45,9% do total da área da bacia mapeadas

como impermeável. Como os deslizamentos são movimentos de porções de terra que se deslocam por ação da gravidade, é compreensível que ocorram, em sua maioria, nas bacias menos impermeáveis. Ainda, assentamentos precários e loteamentos irregulares, mesmo mapeados como área urbanizada, sofrem com a falta de infraestrutura urbana, como asfalto e calçamento adequado, caracterizando estas áreas como permeáveis.

- 86% das ocorrências de alagamentos se dão dentro de bacias classificadas com 76 a 90% da área total mapeadas como impermeável. Os alagamentos estão diretamente relacionados a impermeabilização do solo, pois a falta de capacidade de vazão da água da chuva, que corre com mais velocidade nas vias asfaltadas, associada a falhas estruturais nos sistemas de drenagem de águas pluviais, falta de bocas de lobo, ineficiência na coleta de lixo, falta de manutenção dos sistemas de drenagem, aumenta a probabilidade de ocorrência de alagamentos em pontos de menor declividade.

As análises espaciais das ocorrências de deslizamento de terra e alagamentos com a densidade de domicílios não apresentou resultados significativos, uma vez que optou-se por trabalhar por bacias hidrográficas como categoria de análise, visto que que ambas as ocorrências estão relacionadas a precipitação e questões hidrológicas, e que precisavam ser analisadas no âmbito de bacias. A aglomeração dos setores dentro das mesmas pode ter feito com que informações fossem perdidas. Pode-se, então, pensar como recomendações futuras, que sejam feitas outras análises espaciais que mostrem a relação destes desastres com dados socioeconômicos em escalas mais detalhadas de estudo.

6.2 Índice de Vulnerabilidade e Mapas de Vulnerabilidade

A construção do índice de vulnerabilidade mostra que chuvas de curto período de retorno, tem alta correlação com a ocorrência de alagamentos e deslizamentos de terra em São Paulo.

Os mapas de vulnerabilidade urbana mostram que:

- As bacias mais vulneráveis a alagamentos são Água Espraiada, Cabuçu de Baixo, Baixo Cabuçu, Tamanduateí Inferior, Contribuição Lateral do Tietê, e as áreas importantes no sistema viário paulistano mais afetadas são o Centro, próximo a Av. do Estado, e o Vale do Anhangabau, causando danos em todo o sistema de tráfego da cidade.
- As bacias mais afetadas por deslizamentos de terra estão localizadas na periferia, principalmente na Zona Norte da cidade, bem como na Zona Sul, próximo a Represa Guarapiranga, e na Zona Leste.

O cruzamentos dos piores cenários de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra ainda mostram que:

- as bacias mais vulneráveis compõem perímetro do rodízio de carros em São Paulo, conforme mapa 39.
- as bacias mais vulneráveis a deslizamentos de terra concentram a maior parte dos assentamentos irregulares mapeados pela HABI-SP, conforme mapa 40.

Mapa 39 – Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 40 – Elaborado por Perez, 2013.

O mapa 41 mostra as microbacias selecionadas, para intervenção prioritária, dentro do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo, o PMAP – 2012 (PMSP, 2012), sobrepostas ao mapa de vulnerabilidade urbana a alagamentos, em função de eventos extremos de precipitação.

Nota-se que duas micorbacias selecionadas para intervenção prioritária, a do Morro do S e a Aricanduva, estão classificadas como alta vulnerabilidade e média vulnerabilidade, respectivamente. Microbacias como Anhangabau, Sumaré, ou Água Espraiada, dentre outras, que encontram-se classificadas como muito alta vulnerabilidade, não foram listadas como intervenção prioritária pelo PMAP.

Ainda foi feita a sobreposição do mapa de vulnerabilidade das bacias a deslizamentos de terra, com uma imagem que apresenta as metas de intervenção em assentamentos da Secretaria de Habitação da prefeitura de São Paulo, dentro do Plano Municipal de Habitação, o PMH, de 2009 (HABI-SP, 2013), conforme mapa 42.

A análise visual deste mapa mostra que muitas das áreas com início da intervenção prevista para 2015 a 2020, em marrom escuro e preto, conforme legenda do mapa 42, encontram-se dentro de bacias de vulnerabilidade muito alta a ocorrência de deslizamentos de terra, que, conforme apresentado no mapa 7 e na tabela 3, apresenta alta correlação com a localização espacial assentamentos irregulares.

Mapa 41 – Vulnerabilidade e PMAP. Fonte: PMAP, 2012. Elaborado por Perez, 2013.

Mapa 42 – Fonte: PMH, 2009. Elaborado por Perez, 2013.

Os mapas 41 e 42 são um exemplo de como um critério mais objetivo, no caso de do índice de vulnerabilidade urbana, pode dar uma resposta diferente dos resultados a partir de métodos multicritérios.

No caso da análise do mapa 41, é preciso saber que o PMAP elegeu as bacias prioritárias em função da vazão dos córregos e de processos de inundação, sem considerar as ocorrências de alagamentos.

No caso da análise do mapa 42, deve-se levar em consideração que o PMH, os critérios para intervenções da Secretaria de Habitação levam em conta a organização das comunidades e as facilidades de intervenção, dentre inúmeros outros fatores.

Com a discussão destes resultados, os índices e os mapas de vulnerabilidade provam ser possível que um instrumento baseado em geotecnologias meça a vulnerabilidade da RMSP a ocorrências de desastres alagamentos e deslizamentos de terra, e que, sendo estes desastres comuns, pois ocorrem com muita frequência em chuvas de período de retorno baixo, o resultado comprova ser necessário pensar políticas públicas para amenizar as aspectos críticos da urbanização da RMSP, como manutenção correta e sistemática dos sistemas de drenagem urbana, política de construção de parques lineares, ampliação de áreas públicas permeáveis, fiscalização das áreas de necessária preservação, a fim de evitar ocupação irregular, bem como endurecer as leis de aprovação da construção civil, repensar o deslocamento urbano e promover políticas de intervenção que promovam a descentralização dos serviços.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de tecnologia de última geração, como imagens geradas a partir de dados da rede telemétrica de pluviômetros de superfície e imagens de radar, técnicas de geoprocessamento, programação, e análises estatísticas permitiram construir um índice de vulnerabilidade urbana a eventos extremos de chuva, frente a ocorrência de desastres alagamentos e deslizamentos de terra.

As funções apresentadas nos resultados e, principalmente os mapas de vulnerabilidade das bacias, comprova que foi possível a construção de um instrumento eficiente.

Este instrumento, que é o próprio índice de vulnerabilidade, permitiu a classificação das bacias por faixas de vulnerabilidade para a confecção dos mapas, sendo possível comprovar que ambos os desastres estão relacionados à precipitação, e que os mesmos ocorrem, em áreas urbanas, por questões claras de conflito de uso do solo.

Mesmo com obras de infraestrutura urbana e planejamento das mesmas, para chuvas de períodos de retorno maiores, a ocupação das várzeas dos corpos d'água como viário não é uma solução viável, e ainda, a falta de fiscalização por parte do poder público, em relação à ocupação irregular, bem como a permissiva especulação imobiliária são um problema a ser enfrentado.

8 PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Um Índice de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de precipitação, poderia ser reforçado com uma proposição de novos desdobramentos a partir deste trabalho, como:

- refinamento da escala;
- associação com as estruturas de tráfego e impacto dos alagamentos no trânsito;
- agregar outros parâmetros como perdas financeiras e de tempo, associadas aos desastres alagamentos e deslizamentos de terra;

Tornar o índice mais complexo é uma tarefa multidisciplinar que permitirá sua aplicação a outros propósitos dentro do planejamento e gestão de políticas públicas na RMSP.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, C. et al. Análise dos Processos de Expansão Urbana e das Situações de Vulnerabilidade SocioAmbiental em escala Intra-Urbana. IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Brasília, junho 2008.

ALVES, H.P.F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**. São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, jan-jun. 2006

ANGHILERI, D; PIANOSI, F.; SONCINI-SESSA, R. – A framework for the quantitative assessment of climate change impacts on water-related activities at the basin scale. **Hydrology Earth System Sciences**, pp 2025-2038, V 15, 2011.

AMARAL, R.; Gutjahr, M. R. **Desastres Naturais**. São Paulo: IG/SMA, 2011, 100p.

BRAGA, T.; OLIVEIRA, E.; GIVISIEZ, G. – Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. In **São Paulo em Perspectiva**, V. 20, n. 1, pp 81-95. Jan/Mar 2006.

CARVALHO, D. M.; LUCIO, P. S. - Downscaling Estocástico para Extremos Climáticos via Regressão Quantílica e Interpolação Espacial dos Parâmetros das Distribuições de Valores Extremos (GEV e GPD). XVI CBMET - CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Belém, setembro, 2010.

.

CHAVES, S. V.V.C.; LOPES, W.G.R. Riscos, Perigo e Vulnerabilidade em Áreas Urbanas:Uma Discussão Conceitual. IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Brasília, junho 2008.

CEM. **Base de logradouros de São Paulo**. Disponível em Centro de Estudos da Metrópole <cem.org.br >. Acesso em dezembro de 2012.

CET < www.cetsp.com.br > acesso em maio, 2103.

CILONE, M.C.; BIONDO, L.M. **Estudo de Caso: Persistência de Precipitação no Verão 2009/2010 em São Paulo (_45 dias de chuva_)**: Monografia. DCA - IAG – USP. Dezembro, 2010.

DAEE. **EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**. Edição Revisada, São Paulo, Outubro de 1999. Convênio Departamento de Águas e Energia Elétrica e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

DAEE. **Relatórios do Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê (PDMAT 3)**, São Paulo, 2012.

EM-DAT. **The International Disaster Database**. OFDA/CRED The Office of US Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em < <http://www.emdat.be/classification>>. Acesso em novembro 2011.

EMPLASA – **Mapeamento GEGRAM**. 1974.

Fundação SEADE. **IPVS**. Disponível em <http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php?page=consulta&action=var_list&busca=IPVS> Acesso em janeiro, 2012.

GERSONIUS, B; ASHLEY, R.; JEUKEN, A; PATHIRANA, A.; ZEVENBERGEN, C. Accounting for climate change in urban drainage and flooding: contrasting alternative approaches to devising adaptive strategies. IN ANAIS DO XXII INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE. Porto Alegre, 2011.

GONDIM, R.S.; FUCK JR, S.; EVANGELISTA, S.- Impactos das mudanças climáticas na evapotranspiração em nível de bacia hidrográfica utilizando um sistema de informações geográficas. In **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V 16, n. 2, PP. 5-12, abr/jun 2011.

Grostein, M.D.; Metrópole e Expansão Urbana – a persistência de processos insustentáveis. In **São Paulo em Perspectiva**, p.14, 1997.

HABI-SP - SECRETARIA DE HABITAÇÃO DA PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Plano Municipal de Habitação**, PMH. Disponível em <www.habisp.inf.br> Acesso em agosto de 2013.

IAG. **Relatórios de Clima**. Disponível em:
<<http://www.estacao.iag.usp.br/seasons/index.php>> Acesso em agosto de 2012.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Série Estudos e pesquisas: Informações Geográficas. Rio de Janeiro, 2004.

IBGE. **Download de Dados**. Disponível em: < www.ibge.gov.br > Acesso em agosto de 2012.

LOMBARDO, M.A. – **Ilha de Calor na Metrópole**. São Paulo, 1985. Ed. Hucitec.

LOMBARDO, M.A. **QUALIDADE AMBIENTAL E PLANEJAMENTO URBANO: CONSIDERAÇÕES DE MÉTODO**, Livre Docência. Ano de obtenção: 1995.

MAHAUT, V.; ANDRIEU, H.; JOANNIS, C. Impact of climate change and urban development scenarios on waste water overflows from the combined sewage in Nantes, France. IN ANAIS DO XXI INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE. Porto Alegre, 2011.

MARANDOLA, E.; HOGAN, D. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 29-53, jan./jun. 2005

MARQUES, D.M.; SILVEIRA, A.L.L.; GEHLING, G. Resíduos Sólidos na Drenagem Pluvial Urbana. In **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. (Righetto, Antônio Marozzi coordenador). Editora ABES. Natal, 2009.

MEDEIROS, V. S. Análise estatística de eventos críticos de precipitação relacionados a desastres naturais em diferentes regiões do Brasil. 2013. 102 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo, 2003. Ed. Contexto.

NIELSEN, C.; MADSEN, T.; MOLLERUP, A. - Modeling Consequences of Climate Changes on the Copenhagen Urban Drainage System – Flood Vulnerability Mapping and Future Adaptive Measures. IN ANAIS DO 12 INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, Porto Alegre, 2011.

OSTROWSKY, M. S. B; ZMITROWICZ, W. – Urbanização e controle de enchentes: o caso de São Paulo – seus conflitos e inter-relações. IN BOLETIM TÉCNICO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. São Paulo, 1991.

PINTO, L.L.C.A.; MARTINS, J.R.S. – Variabilidade da taxa de impermeabilização do solo urbano. XXIII CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA. CARTAGENA DAS ÍNDIAS, COLÔMBIA, Setembro de 2008.

POUGET, L.; RUSSO, B.; ESCALER, I.; REDANO, A.; RIBALAYGUA, J.; THEIAS, H. – Climate change impacts on extreme rainfalls and design storms for flood risk assessment in urban áreas: application to Barcelona city. - ANAIS DO 12 INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, Porto Alegre, 2011.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
<<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/>> acesso em maio, 2013.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo**, PMAP – 2012. São Paulo, 2012.

RIBEIRO, W.C.; Risco e Vulnerabilidade no Brasil. **In Revista Eletrônica de Geografia Y Ciências Sociais**. Vol. XIV, núm. 331 (65). Barcelona, de agosto de 2010.

ROCHA FILHO, K.; CONDE, F.; ANDRIOLI, C.P. Correção em tempo real da precipitação estimada por um radar meteorológico com uma rede de superfície. Trabalho aceito no XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves, Brasil. Nov 2013.

RUSSO, B.; POUGET, L.; SUNYER, D.; THEIAS, H. Flood risk assessment through a 2D-1D coupled modeling approach including impact of climate change in Barcelona. In ANAIS DO 12 INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, Porto Alegre, 2011.

SAISP – **Sistema de Alerta de Inundações de São Paulo**. Disponível em <<http://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/home.xml>> Acesso em janeiro de 2012.

SICHE, R.; AGOSTINHO,.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Revista Ambiente e Sociedade, Vol X, n. 2.** pp 137-145, julho, 2007.

SIEKMANN, M.; PINNEKAMP, J. Indicator based strategy to adapt urban drainage systems in regard to the consequences caused by climate change. In ANAIS DO 12 INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, Porto Alegre, 2011.

SINCLAIR, S.; PEGRAM, G. Combining radar and rain gauge rainfall estimates using conditional merging. **ATMOSPHERIC SCIENCE LETTERS**, pp. 19–22 (2005).

SEBUSIANI, H..R.V; BETTINE, S.C. Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em micro bacia urbana. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, G&DR.** v. 7, n. 1, p. 256-285, jan-abr/2011, Taubaté, SP, Brasil.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SILVEIRA, A. L. L. da O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica in TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. p. 35-51.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (organizadores). **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia ciência e aplicação**. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1993. 943p.

Tricart, J. **Ecodinâmica**, Rio de Janeiro, IBGE, SUPREN, 1977.

USGS. **Imagens SRTM**. Disponível em < <http://www.usgs.gov/> >. Acesso em dezembro de 2012.

VIOLA, M. R.; MELO, C.R.; PINTO, D.B.R.; MELLO, J.L.; AVILA, L.F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.9, p.970–978. Campina Grande, PB, 2010.

ANEXOS

Vulnerabilidade a alagamentos - 6 horas										
BACIA	Ocorrências	TR2	IV CET TR2	Vulnerabilidade	TR5	IV CET TR5	Vulnerabilidade	TR10	IV CET TR10	Vulnerabilidade
RIBEIRAO DO MENINOS	0	56	0,66	0,00	75	0,920	0,000	88	0,98	0,00
TAMANDUATE MEDIO	1	56	0,66	0,66	75	0,920	0,920	88	0,98	0,98
CABUCU MEDIO	1	56	0,66	0,66	75	0,920	0,920	88	0,98	0,98
BILLINGS	2	56	0,66	1,32	75	0,920	1,840	88	0,98	1,96
GUARAPIRANGA	6	56	0,66	3,96	75	0,920	5,520	88	0,98	5,88
VERTENTE ESQUERDA TIETE	13	56	0,66	8,58	75	0,920	11,960	88	0,98	12,74
ARICANDUVA	30	56	0,66	19,80	75	0,920	27,600	88	0,98	29,40
PIRAJUSSARA	45	56	0,66	29,70	75	0,920	41,400	88	0,98	44,10
BAIXO CABUCU	46	56	0,66	30,36	75	0,920	42,320	88	0,98	45,08
CONTRIB LATERAL TIETE	48	56	0,66	31,68	75	0,920	44,160	88	0,98	47,04
CABUCU DE BAIXO	71	56	0,66	46,86	75	0,920	65,320	88	0,98	69,58
TAMANDUATEI INFERIOR	91	56	0,66	60,06	75	0,920	83,720	88	0,98	89,18
AGUAS ESPRAIADAS	106	56	0,66	69,96	75	0,920	97,520	88	0,98	103,88

Anexo 1 - Vulnerabilidade a alagamentos - 6 horas

Vulnerabilidade a alagamentos - 12 horas										
BACIA	Ocorrências	TR2	IV CET TR2	Vulnerabilidade	TR5	IV CET TR5	Vulnerabilidade	TR10	IV CET TR10	Vulnerabilidade
RIBEIRAO DO MENINOS	0	60	0,50	0,00	81,5	0,80	0,00	96	0,92	0
TAMANDUATE MEDIO	1	60	0,50	0,50	81,5	0,80	0,80	96	0,92	0,92
CABUCU MEDIO	1	60	0,50	0,50	81,5	0,80	0,80	96	0,92	0,92
BILLINGS	2	60	0,50	1,00	81,5	0,80	1,60	96	0,92	1,84
GUARAPIRANGA	6	60	0,50	3,00	81,5	0,80	4,80	96	0,92	5,52
VERTENTE ESQUERDA TIETE	13	60	0,50	6,50	81,5	0,80	10,40	96	0,92	11,96
ARICANDUVA	30	60	0,50	15,00	81,5	0,80	24,00	96	0,92	27,6
PIRAJUSSARA	45	60	0,50	22,50	81,5	0,80	36,00	96	0,92	41,4
BAIXO CABUCU	46	60	0,50	23,00	81,5	0,80	36,80	96	0,92	42,32
CONTRIB LATERAL TIETE	48	60	0,50	24,00	81,5	0,80	38,40	96	0,92	44,16
CABUCU DE BAIXO	71	60	0,50	35,50	81,5	0,80	56,80	96	0,92	65,32
TAMANDUATEI INFERIOR	91	60	0,50	45,50	81,5	0,80	72,80	96	0,92	83,72
AGUAS ESPRAIADAS	106	60	0,50	53,00	81,5	0,80	84,80	96	0,92	97,52

Anexo 2 - Vulnerabilidade a alagamentos - 12 horas

Vulnerabilidade a alagamentos - 24 horas										
BACIA	Ocorrências	TR2	IV CET TR2	Vulnerabilidade	TR5	IV CET TR5	Vulnerabilidade	TR10	IV CET TR10	Vulnerabilidade
RIBEIRAO DO MENINOS	0	65	0,60	0,00	88	0,910	0,000	103,5	0,97	0
TAMANDUATE MEDIO	1	65	0,60	0,60	88	0,910	0,910	103,5	0,97	0,97
CABUCU MEDIO	1	65	0,60	0,60	88	0,910	0,910	103,5	0,97	0,97
BILLINGS	2	65	0,60	1,20	88	0,910	1,820	103,5	0,97	1,94
GUARAPIRANGA	6	65	0,60	3,60	88	0,910	5,460	103,5	0,97	5,82
VERTENTE ESQUERDA TIETE	13	65	0,60	7,80	88	0,910	11,830	103,5	0,97	12,61
ARICANDUVA	30	65	0,60	18,00	88	0,910	27,300	103,5	0,97	29,1
PIRAJUSSARA	45	65	0,60	27,00	88	0,910	40,950	103,5	0,97	43,65
BAIXO CABUCU	46	65	0,60	27,60	88	0,910	41,860	103,5	0,97	44,62
CONTRIB LATERAL TIETE	48	65	0,60	28,80	88	0,910	43,680	103,5	0,97	46,56
CABUCU DE BAIXO	71	65	0,60	42,60	88	0,910	64,610	103,5	0,97	68,87
TAMANDUATEI INFERIOR	91	65	0,60	54,60	88	0,910	82,810	103,5	0,97	88,27
AGUAS ESPRAIADAS	106	65	0,60	63,60	88	0,910	96,460	103,5	0,97	102,82

Anexo 3 - Vulnerabilidade a alagamentos - 24 horas

Vulnerabilidade a alagamentos - 48 horas										
BACIA	Ocorrências	TR2	IV CET TR2	Vulnerabilidade	TR5	IV CET TR5	Vulnerabilidade	TR10	IV CET TR10	Vulnerabilidade
RIBEIRAO DO MENINOS	0	70	0,480	0,000	94	0,820	0,000	111	0,930	0,000
TAMANDUATE MEDIO	1	70	0,480	0,480	94	0,820	0,820	111	0,930	0,930
CABUCU MEDIO	1	70	0,480	0,480	94	0,820	0,820	111	0,930	0,930
BILLINGS	2	70	0,480	0,960	94	0,820	1,640	111	0,930	1,860
GUARAPIRANGA	6	70	0,480	2,880	94	0,820	4,920	111	0,930	5,580
VERTENTE ESQUERDA TIETE	13	70	0,480	6,240	94	0,820	10,660	111	0,930	12,090
ARICANDUVA	30	70	0,480	14,400	94	0,820	24,600	111	0,930	27,900
PIRAJUSSARA	45	70	0,480	21,600	94	0,820	36,900	111	0,930	41,850
BAIXO CABUCU	46	70	0,480	22,080	94	0,820	37,720	111	0,930	42,780
CONTRIB LATERAL TIETE	48	70	0,480	23,040	94	0,820	39,360	111	0,930	44,640
CABUCU DE BAIXO	71	70	0,480	34,080	94	0,820	58,220	111	0,930	66,030
TAMANDUATEI INFERIOR	91	70	0,480	43,680	94	0,820	74,620	111	0,930	84,630
AGUAS ESPRAIADAS	106	70	0,480	50,880	94	0,820	86,920	111	0,930	98,580

Anexo 4 - Vulnerabilidade a alagamentos - 48 horas

Vulnerabilidade a deslizamentos de terra - 6 horas										
BACIAS	Ocorrências	TR2	IV DC TR2	Vulnerabilidade	TR5	IV DC TR5	Vulnerabilidade	TR10	IV DC TR10	Vulnerabilidade
RIBEIRAO DO MENINOS	1	56	0,84	0,84	75	0,970	0,970	88	0,99	0,99
TAMANDUATEI INFERIOR	5	56	0,84	4,20	75	0,970	4,850	88	0,99	4,95
TAMANDUATE MEDIO	7	56	0,84	5,88	75	0,970	6,790	88	0,99	6,93
CABUCU MEDIO	7	56	0,84	5,88	75	0,970	6,790	88	0,99	6,93
BILLINGS	8	56	0,84	6,72	75	0,970	7,760	88	0,99	7,92
AGUAS ESPRAIADAS	9	56	0,84	7,56	75	0,970	8,730	88	0,99	8,91
ARICANDUVA	10	56	0,84	8,40	75	0,970	9,700	88	0,99	9,90
CABUCU DE BAIXO	14	56	0,84	11,76	75	0,970	13,580	88	0,99	13,86
BAIXO CABUCU	14	56	0,84	11,76	75	0,970	13,580	88	0,99	13,86
VERTENTE ESQUERDA TIETE	14	56	0,84	11,76	75	0,970	13,580	88	0,99	13,86
GUARAPIRANGA	19	56	0,84	15,96	75	0,970	18,430	88	0,99	18,81
PIRAJUSSARA	25	56	0,84	21,00	75	0,970	24,250	88	0,99	24,75
CONTRIB LATERAL TIETE	28	56	0,84	23,52	75	0,970	27,160	88	0,99	27,72

Anexo 5 - Vulnerabilidade a deslizamentos de terra - 6 horas

Vulnerabilidade a deslizamentos de terra - 12 horas										
BACIAS	Ocorrências	TR2	IV DC TR2	Vulnerabilidade	TR5	IV DC TR5	Vulnerabilidade	TR10	IV DC TR10	Vulnerabilidade
RIBEIRAO DO MENINOS	1	60	0,78	0,78	81,5	0,94	0,94	96	0,98	0,98
TAMANDUATEI INFERIOR	5	60	0,78	3,90	81,5	0,94	4,70	96	0,98	4,90
TAMANDUATE MEDIO	7	60	0,78	5,46	81,5	0,94	6,58	96	0,98	6,86
CABUCU MEDIO	7	60	0,78	5,46	81,5	0,94	6,58	96	0,98	6,86
BILLINGS	8	60	0,78	6,24	81,5	0,94	7,52	96	0,98	7,84
AGUAS ESPRAIADAS	9	60	0,78	7,02	81,5	0,94	8,46	96	0,98	8,82
ARICANDUVA	10	60	0,78	7,80	81,5	0,94	9,40	96	0,98	9,80
CABUCU DE BAIXO	14	60	0,78	10,92	81,5	0,94	13,16	96	0,98	13,72
BAIXO CABUCU	14	60	0,78	10,92	81,5	0,94	13,16	96	0,98	13,72
VERTENTE ESQUERDA TIETE	14	60	0,78	10,92	81,5	0,94	13,16	96	0,98	13,72
GUARAPIRANGA	19	60	0,78	14,82	81,5	0,94	17,86	96	0,98	18,62
PIRAJUSSARA	25	60	0,78	19,50	81,5	0,94	23,50	96	0,98	24,50
CONTRIB LATERAL TIETE	28	60	0,78	21,84	81,5	0,94	26,32	96	0,98	27,44

Anexo 6 - Vulnerabilidade a deslizamentos de terra - 12 horas

Vulnerabilidade a deslizamentos de terra - 24 horas										
BACIAS	Ocorrências	TR2	IV DC TR2	Vulnerabilidade	TR5	IV DC TR5	Vulnerabilidade	TR10	IV DC TR10	Vulnerabilidade
RIBEIRAO DO MENINOS	1	65	0,8	0,80	88	0,96	0,960	103,5	0,98	0,98
TAMANDUATEI INFERIOR	5	65	0,8	4,00	88	0,96	4,800	103,5	0,98	4,90
TAMANDUATE MEDIO	7	65	0,8	5,60	88	0,96	6,720	103,5	0,98	6,86
CABUCU MEDIO	7	65	0,8	5,60	88	0,96	6,720	103,5	0,98	6,86
BILLINGS	8	65	0,8	6,40	88	0,96	7,680	103,5	0,98	7,84
AGUAS ESPRAIADAS	9	65	0,8	7,20	88	0,96	8,640	103,5	0,98	8,82
ARICANDUVA	10	65	0,8	8,00	88	0,96	9,600	103,5	0,98	9,80
CABUCU DE BAIXO	14	65	0,8	11,20	88	0,96	13,440	103,5	0,98	13,72
BAIXO CABUCU	14	65	0,8	11,20	88	0,96	13,440	103,5	0,98	13,72
VERTENTE ESQUERDA TIETE	14	65	0,8	11,20	88	0,96	13,440	103,5	0,98	13,72
GUARAPIRANGA	19	65	0,8	15,20	88	0,96	18,240	103,5	0,98	18,62
PIRAJUSSARA	25	65	0,8	20,00	88	0,96	24,000	103,5	0,98	24,50
CONTRIB LATERAL TIETE	28	65	0,8	22,40	88	0,96	26,880	103,5	0,98	27,44

Anexo 7 - Vulnerabilidade a deslizamentos de terra - 24 horas

Vulnerabilidade a deslizamentos de terra - 48 horas										
BACIAS	Ocorrências	TR2	IV DC TR2	Vulnerabilidade	TR5	IV DC TR5	Vulnerabilidade	TR10	IV DC TR10	Vulnerabilidade
RIBEIRAO DO MENINOS	1	70	0,64	0,64	94	0,830	0,830	111	0,960	0,960
TAMANDUATEI INFERIOR	5	70	0,64	3,20	94	0,830	4,150	111	0,960	4,800
TAMANDUATE MEDIO	7	70	0,64	4,48	94	0,830	5,810	111	0,960	6,720
CABUCU MEDIO	7	70	0,64	4,48	94	0,830	5,810	111	0,960	6,720
BILLINGS	8	70	0,64	5,12	94	0,830	6,640	111	0,960	7,680
AGUAS ESPRAIADAS	9	70	0,64	5,76	94	0,830	7,470	111	0,960	8,640
ARICANDUVA	10	70	0,64	6,40	94	0,830	8,300	111	0,960	9,600
CABUCU DE BAIXO	14	70	0,64	8,96	94	0,830	11,620	111	0,960	13,440
BAIXO CABUCU	14	70	0,64	8,96	94	0,830	11,620	111	0,960	13,440
VERTENTE ESQUERDA TIETE	14	70	0,64	8,96	94	0,830	11,620	111	0,960	13,440
GUARAPIRANGA	19	70	0,64	12,16	94	0,830	15,770	111	0,960	18,240
PIRAJUSSARA	25	70	0,64	16,00	94	0,830	20,750	111	0,960	24,000
CONTRIB LATERAL TIETE	28	70	0,64	17,92	94	0,830	23,240	111	0,960	26,880

Anexo 8 - Vulnerabilidade a deslizamentos de terra - 48 horas