



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades

unesp

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

**MAPEAMENTO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS DA
CIDADE DE BAURU-SP**

Bauru
2018

MARINA ALVES FERRAZ PEDRINI

**MAPEAMENTO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS DA
CIDADE DE BAURU-SP**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, área de concentração Geotecnia.

Orientadora: Profa. Dra. Anna Silvia Palcheco Peixoto

Co-orientadora: Profa. Dra. Ilza Machado Kaiser



Bauru
2018

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARINA ALVES FERRAZ PEDRINI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 01 dias do mês de fevereiro do ano de 2018, às 08:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ANNA SÍLVIA PALCHECO PEIXOTO - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. CLAUDIO JOSÉ FERREIRA do(a) Núcleo de Geologia de Engenharia Ambiental / CGMA/Instituto Geológico/São Paulo (SP), Prof. Dr. GUSTAVO GARCIA MANZATO do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARINA ALVES FERRAZ PEDRINI, intitulada **MAPEAMENTO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS DA CIDADE DE BAURU-SP**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. ANNA SÍLVIA PALCHECO PEIXOTO



Prof. Dr. CLAUDIO JOSÉ FERREIRA



Prof. Dr. GUSTAVO GARCIA MANZATO



Pedrini, Marina Alves Ferraz.
Mapeamento de eventos hidrológicos da cidade de
Bauru-SP / Marina Alves Ferraz Pedrini, 2018
135 f.: il.

Orientadora: Anna Silvia Palcheco Peixoto
Co-orientadora: Ilza Machado Kaiser

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2018

1. Desastres naturais. 2. Eventos hidrológicos. 3.
Mapeamento de risco. I. Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, meus pais, irmã e marido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às orientadoras desta pesquisa, Prof^a. Dra. Anna Silvia Palcheco Peixoto e Prof^a. Dra. Ilza Machado Kaiser, além do Prof. Dr. Gustavo Garcia Manzato, o qual me ajudou no desenvolvimento dos aspectos ligados aos *softwares* de geoprocessamento.

Agradeço também a todo o corpo docente da UNESP, altamente qualificado, o qual foi de suma importância para a formação da minha bagagem científica.

*“Devemos estar dispostos a nos livrar da vida que
planejamos para ter a vida que nos espera”*

(Joseph Campbell)

RESUMO

O debate sobre o aquecimento global nas últimas décadas e também o aumento da frequência e intensidade de acontecimentos extremos causados por eventos hidro-meteorológicos e climatológicos levou a uma maior ênfase em estudos de desastres naturais. No Brasil as secas e as enxurradas são as tipologias mais recorrentes, sendo que a chuva é o evento desencadeador com maior incidência de danos. A análise cruzada de danos e seus fatores geradores relacionados a eventos hidrológicos indica que a chuva intensa é o evento mais preponderante para a ocorrência de desastres naturais relacionados à drenagem. O objetivo do trabalho foi a elaboração do mapa de risco à inundação urbana (alagamento, enchente e enxurrada) da cidade de Bauru e também a comparação entre dados obtidos de pluviômetros automáticos e dados de radar. Os dados de precipitação foram obtidos de pluviômetros automáticos instalados na cidade de Bauru. A probabilidade de ocorrência dos eventos hidrológicos foi estimada pelas equações IDF (intensidade, duração, frequência). Os resultados desta pesquisa foram espacializados e classificados em função de sua severidade verificando-se que eventos com baixo período de retorno geram danos significativos. Foi elaborado um mapa de perigo atribuindo pesos aos fatores ambientais e sociais com o auxílio de SIG (Sistema de Informação Geográfica). O estudo de caso desta pesquisa pode auxiliar os órgãos competentes na implementação de sistemas de alerta precoce e políticas de prevenção.

Palavras chave: danos, eventos hidrológicos, equações IDF, precipitação, Bauru.

ABSTRACT

The current debate about global warming in recent decades and also the increase in the frequency and intensity of extreme events caused by hydro-meteorological and climatological events led to a greater emphasis on natural disasters studies. In Brazil, droughts and floods are the most recurrent typologies, with rain being the main event that causes the majority of the damages. Cross-analysis of damage triggering events related to rain indicates that heavy rain is the most significant event in the occurrence of natural disasters related to drainage. The objective of this research was the elaboration of an urban flooding risk map for Bauru and also the comparison between data of rain gauges and radar. Precipitation data was obtained from rain gauges installed in the city of Bauru. The probability of occurrence of hydrological events was estimated by the IDF (intensity, duration, frequency) equations. The results of this research were spatialized and classified according to its severity and they showed low return events cause significant damage. A map of hazard areas was developed with the help of GIS (Geographic Information System) software. The case study of this research can help the local governments with the implementation of early warning systems and prevention policies.

KEYWORDS: damages, hydrological events, IDF equations, precipitation, Bauru

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da produção científica sobre desastres no Brasil de 2000 a 2013.	1
Figura 2: Municípios que atualmente são monitorados pelo CEMADEN no estado de São Paulo.	2
Figura 3: Ocorrências de eventos em Bauru a partir de dados do IPMET.	4
Figura 4: Distribuição do fenômeno desencadeador dos eventos hidrológicos em Bauru de 2000 a 2015.	5
Figura 5: Desastres Naturais registrados de 1900 a 2011.	9
Figura 6: Desastres Naturais registrados de 1900 a 2014 e número de vítimas em milhões.	10
Figura 7: Porcentagem de Desastres Naturais registrados em 2014 dividido por subgrupo.	10
Figura 8: Frequência mensal de registros dos desastres naturais no Brasil.	11
Figura 9: Percentual dos desastres naturais mais recorrentes no Estado de São Paulo (1991-2012).	12
Figura 10: Municípios que apresentaram alagamentos e processos erosivos nas áreas urbanas nos últimos 5 anos – Brasil – 2013.	13
Figura 11: Quadro de planejamento para uma cidade resiliente.	16
Figura 12: Evolução do aumento do nível das águas do leito do rio.	19
Figura 13: Municípios que apresentaram inundações graduais e bruscas nas áreas urbanas no período de 2009 a 2013.	19
Figura 14: Número de inundações ocorridas no mundo de 1900 a 2015.	20
Figura 15: Número de registro de temporal ocorrido no mundo de 1900 a 2015.	21
Figura 16: Esquema de funcionamento do radar.	22
Figura 17: Formas de medidas – radar e pluviômetro automático.	23
Figura 18: Esquema ilustrado da confecção de um CAPPI.	23
Figura 19: Varredura do radar e composição dos CAPPI.	24
Figura 20: Relação entre os componentes de risco.	27
Figura 21: Página de acesso aos fenômenos.	36
Figura 22: Janela de acesso aos danos/ocorrências.	36
Figura 23: Tela com o resultado de busca do site do IPMet.	37
Figura 24: Distribuição dos fenômenos retiradas do banco de dados do IPMET para Bauru-SP.	37

Figura 25: Programa QGIS 2.16.2.....	40
Figura 26: Programa TerraView.....	40
Figura 27: Visualização do recorte da área de interesse e pontos de alagamento para esta pesquisa.	43
Figura 28: Mapa com pontos de alagamento após classificação.	44
Figura 29: Área verde considerada para análise de uso e ocupação do solo.....	46
Figura 30: Mapa da População por setor censitário segundo dados do IBGE.....	46
Figura 31: Visualização da camada contendo a Malha sobre a Área verde e identificação dos quadrantes no programa TerraView.	48
Figura 32: Imagem do mapa parcial do AutoCad com as curvas de nível e a malha (1km x 1 km).....	49
Figura 33: Visualização das curvas de nível do município de Bauru no programa TerraView.....	50
Figura 34: Visualização dos rios do município de Bauru no programa TerraView.	51
Figura 35: Visualização do Buffer criado em torno dos Rios a 100m, 200m e 300m.	51
Figura 36. Pluviômetro automático do IPMet.	53
Figura 37: Dados vetoriais referentes ao radar.....	59
Figura 38: Dados matriciais referentes ao radar.	60
Figura 39: Malha 1km x 1km com as coordenadas das extremidades.....	60
Figura 40: Imagem gerada a partir de informações matriciais.....	61
Figura 41: Visualização dos pontos de alagamento da cidade de Bauru gerada de acordo com as coordenadas da Tabela elaborada a partir do banco de dados do IPMet.	64
Figura 42 Visualização da área verde da cidade de Bauru no programa TerraView.	64
Figura 43: Mapa de declividade na área de estudo de Bauru.	65
Figura 44: Legenda utilizada nos mapas dos critérios antrópicos e ambientais com o perigo correspondente.....	66
Figura 45: Sobreposição dos mapas para elaboração dos critérios ambientais.	67
Figura 46: Mapa resultante dos critérios ambientais na cidade de Bauru.	68
Figura 47: Mapa dos critérios ambientais na cidade de Bauru com sobreposição dos rios.....	69
Figura 48 Mapa resultante dos critérios ambientais na cidade de Bauru com sobreposição dos rios.....	69
Figura 49: Localização da Bacia Córrego das Flores abaixo da Avenida Nações Unidas em Bauru-SP.....	70

Figura 50: Sobreposição dos mapas para elaboração dos critérios antrópicos.....	71
Figura 51: Mapa dos critérios antrópicos da cidade de Bauru.....	71
Figura 52: Mapa dos critérios antrópicos com os pontos críticos de eventos hidrológicos da cidade de Bauru.	72
Figura 53: Somatório dos critérios ambientais e antrópicos.	73
Figura 54: Aspectos considerados no mapa de risco.	74
Figura 55: Mapa de risco.....	76
Figura 56: Mapa de Risco e os pontos de registro de eventos hidrológicos.	76
Figura 57: Imagem Google Maps.	77
Figura 58: Representação gráfica dos horários de precipitação de acordo com os dados dos pluviômetros automáticos.....	80
Figura 59: Mapa de localização dos pluviômetros automáticos.	81
Figura 60: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 02:00h às 02:59.....	84
Figura 61: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 03:00h às 03:59.....	84
Figura 62 Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 04:00h às 04:59.....	84
Figura 63 Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 05:00h às 05:59.....	85
Figura 64: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 06:00h às 06:59.....	85
Figura 65: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 07:00h às 07:59.....	85
Figura 66: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 16:00h às 16:59.....	86
Figura 67: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 17:00h às 17:59.....	86
Figura 68: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 18:00h às 18:59.....	86
Figura 69: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 19:00h às 19:59.....	87
Figura 70: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 20:00h às 20:59.....	87

Figura 71: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 21:00h às 21:59.....	87
Figura 72: Mapa com a localização dos registros do dia 17/11/2015.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos desastres em relação à intensidade.....	8
Tabela 2: Classificação dos Subgrupos de Desastres Naturais.....	11
Tabela 3: Consequências ambientais e socioeconômicas dos desastres provocados por inundações/enxurradas/alagamentos e seca/estiagem.....	12
Tabela 4: Fases, marcos e providências do processo de planejamento.....	15
Tabela 5: Compilação das definições de enchente, alagamento, inundação e enxurrada.....	17
Tabela 6: Classificação da inundação de acordo com o volume de precipitação.....	31
Tabela 7: Correspondência entre o número de eventos passados e a classificação do perigo de inundação (de 1985 a 2005) segundo El Morjani (2011).	32
Tabela 8: Nome dos temas criados no software.....	41
Tabela 9: Informações dos arquivos importados para o programa TerraView.....	41
Tabela 10: Classificação das áreas de risco.....	43
Tabela 11: Numeração dos quadrantes (Malha 1 km x 1 km).	47
Tabela 12: Dados parciais analisados para o cálculo da declividade e da área drenada.	49
Tabela 13: Dados coletados dos pluviômetros automáticos.....	53
Tabela 14: Grupos dos fatores de perigo que compõem a equação de risco com os respectivos pesos.	56
Tabela 15: Normalização dos valores dos fatores de perigo.....	58
Tabela 16: Datas consideradas para comparação de imagem de radar e pluviômetros automáticos.	59
Tabela 17: Horário das chuvas nos pluviômetros automáticos do CEMADEN e do IPMet.....	62
Tabela 18: Área total do mapa em estudo para cada intervalo declividade.....	65
Tabela 19: Datas selecionadas com os horários de precipitação.....	78
Tabela 20: Dados de precipitação de acordo com cada pluviômetro automático.....	79

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa.....	5
1.2	Objetivos	6
2	REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1	Desastres naturais.....	7
2.1.1	Mudanças climáticas.....	7
2.1.2	Cidades Resilientes	14
2.2	Eventos Hidrológicos	16
2.2.1	Conceitos: enchente x inundação x alagamento	16
2.2.2	Eventos desencadeadores de inundação.....	20
2.2.3	Predicabilidade da chuva	21
2.2.4	Risco e Vulnerabilidade.....	26
2.2.5	Mapeamentos de áreas suscetíveis às inundações	32
3	METODOLOGIA	35
3.1	Coleta preliminar de dados	35
3.2	Período a ser considerado para análise dos dados	38
3.3	Preparação da base de dados	39
3.4	Crítérios antrópicos e ambientais	45
3.4.1	Uso e ocupação do solo.....	45
3.4.2	Declividade e área drenada	47
3.4.3	Distância do curso d'água	50
3.5	Coleta de dados de precipitação.....	52

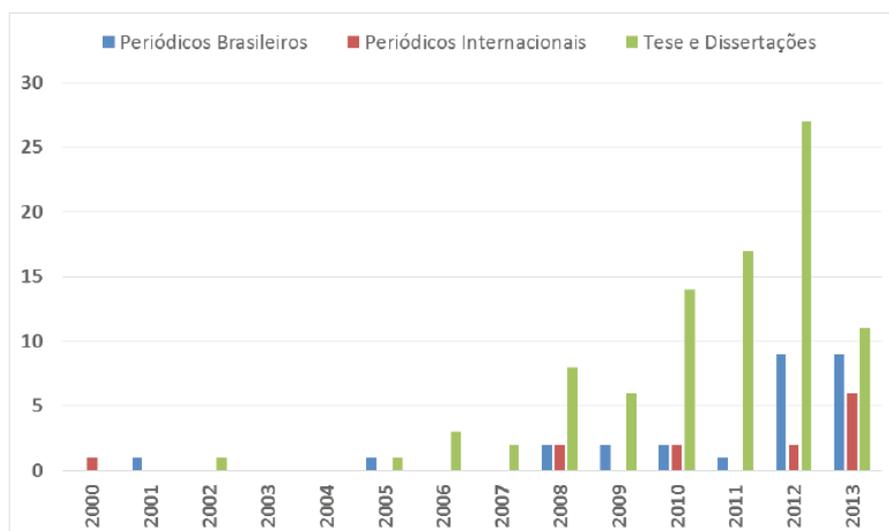
3.6 Período de retorno	54
3.7 Definição dos critérios ponderáveis para gerar mapa de perigo	55
3.8 Análise da intensidade da precipitação considerando as imagens de radar	58
4. ANÁLISES E RESULTADOS	63
4.1 Pontos de eventos hidrológicos x Mapas georreferenciados.....	63
4.2 Mapas temáticos dos fatores relacionados aos eventos hidrológicos	65
4.3 Intensidade de Precipitação através das imagens de radar	77
5. COMENTÁRIOS FINAIS	89
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
7.APÊNDICE	103

1. INTRODUÇÃO

No início do século XXI a sociedade brasileira presenciou grandes catástrofes, como inundações e escorregamentos, levando a uma mobilização que resultou tanto na Lei 12.608/2012 como na criação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (BRASIL, 2012, CEMADEN, 2017).

Pesquisas têm proposto estratégias a serem adotadas nas cidades a fim de minimizar a magnitude e duração das inundações (MUGUME *et al.*, 2016). Observa-se a importância do tema Desastres Naturais por meio da Figura 1, em que se verifica do ano de 2000 a 2013 o aumento do número de estudos que envolvem este tema (RODRIGUES *et al.*, 2015).

Figura 1: Distribuição da produção científica sobre desastres no Brasil de 2000 a 2013.



Fonte: Rodrigues *et al.* (2015).

Os Desastres Naturais são um assunto cada vez mais em destaque na vida das pessoas, independentemente destas viverem em áreas de risco. O assunto muitas vezes está associado a terremotos, tsunamis e furacões, mas há outros fenômenos mais corriqueiros como deslizamentos, inundações, subsidências e erosões que podem acontecer tanto como através da ocupação de área impróprias, tanto como devido aos eventos severos, e por intervenção do homem. Como exemplo de desastres naturais pode-se citar as inundações e as enchentes, que

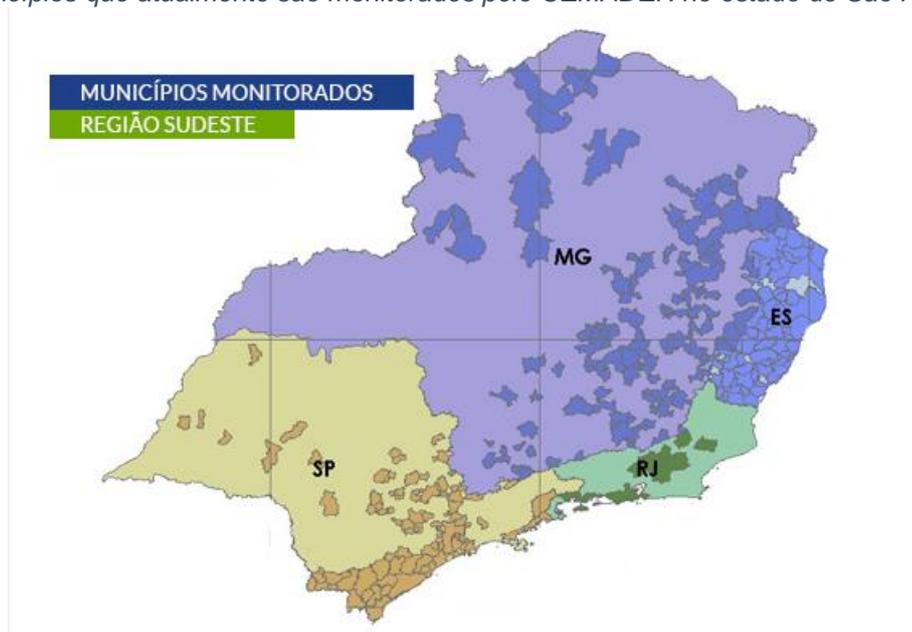
ocorrem com frequência devido às chuvas fortes e rápidas ou de longa duração, assunto abordado na presente pesquisa (TOMINAGA *et al.*, 2009; CEPED, 2014).

Quando a precipitação é intensa, a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, resultando nas inundações de áreas ribeirinhas. Os problemas resultantes da inundação dependem da ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem as inundações (CORDERO *et al.*, 1999).

Cordero *et al.* (1999) aponta a complexidade da tarefa dos sistemas de alerta, que pretendem vincular a previsão meteorológica com um possível desastre, em função do número de parâmetros e das incertezas tanto nas pressões atmosféricas, como em sua interação com o meio físico. Entretanto o desenvolvimento e aprimoramento de modelos torna o monitoramento uma atividade vital nas ações de prevenção, de acordo com o CEMADEN (2017).

O CEMADEN (2017) impõe como condição básica para um município ser monitorado a elaboração um mapeamento de suas áreas de risco de deslizamentos em encostas, de alagamentos e de enxurradas, solapamentos e terras caídas, além de estimativa da extensão dos prováveis danos decorrentes de um desastre natural. A Figura 2 apresenta os municípios que atualmente são monitorados pelo CEMADEN na região Sudeste do Brasil, em 2017.

Figura 2: Municípios que atualmente são monitorados pelo CEMADEN no estado de São Paulo.



Fonte: CEMADEN (2017).

Sendo assim, se faz necessário um estudo científico envolvendo não apenas análises estatísticas, mas também promovendo o entendimento de como as características do meio físico e o regime de chuvas interferem nas inundações para todos os municípios.

Existem dois bancos de dados nacionais para consulta de desastres naturais: o SÍDEC - Sistema Integrado de Defesa Civil do Estado de São Paulo, o S2ID - Atlas Brasileiro de Desastres Naturais. Há também o IPMet – Centro Meteorológico de Bauru da Faculdade de Ciências/UNESP, que tem abrangência regional.

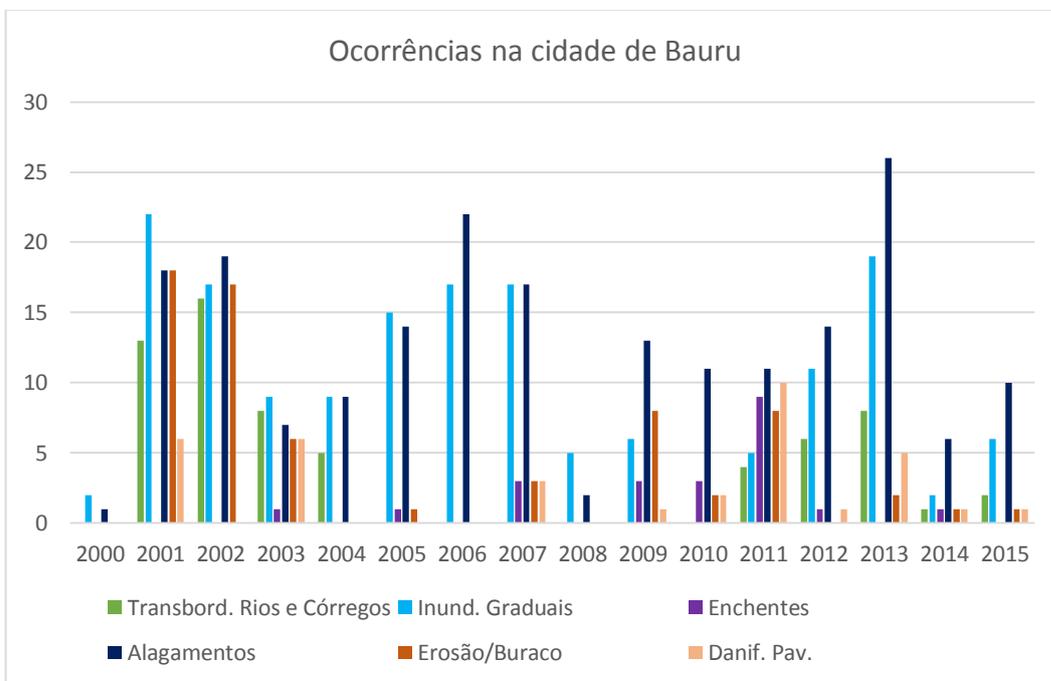
No estado de São Paulo, o Centro de Meteorologia de Bauru (IPMet) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizado no município de Bauru/SP, disponibiliza na página da *internet* um histórico de registro de desastres naturais dos municípios do Estado de São Paulo. Este banco de dados está disponível no site do IPMET (PELLEGRINA, 2011).

No caso específico dos eventos hidrológicos, é difícil a diferenciação dos termos (inundação, enxurrada, alagamento e enchente), pois há informações oriundas de fontes não técnicas para descrever os registros em diferentes pontos da cidade.

A partir da consulta ao Banco de Dados do IPMet no período de 2000 a 2015 foi levantada a distribuição de ocorrências. Na Figura 3 apresentam-se os eventos mais recorrentes que atingem a cidade de Bauru. Observou-se que há maior incidência de desastres hidrológicos quando comparado à ocorrência de erosões. Pôde-se avaliar que um dos problemas que ocorre em quase todos os anos e com o maior número de registros é o alagamento, seguido de inundações graduais e depois de erosões e buracos. Nos anos em análise, foram registrados 200 alagamentos na cidade de Bauru. O ano com o maior número de ocorrência de alagamento registrado foi 2013, totalizando 26 registros.

No período analisado foram observados 480 registros de um ou mais danos na cidade em diferentes locais. Foram considerados os registros dos seguintes danos de acordo com a nomenclatura do banco de desastres naturais do IPMet: alagamentos, inundações graduais, transbordamento de rios e córregos, enchentes, erosões/buracos e danificações do pavimento. O gráfico gerado foi baseado apenas nas quantidades de ocorrências registradas em cada ano.

Figura 3: Ocorrências de eventos em Bauru a partir de dados do IPMET.

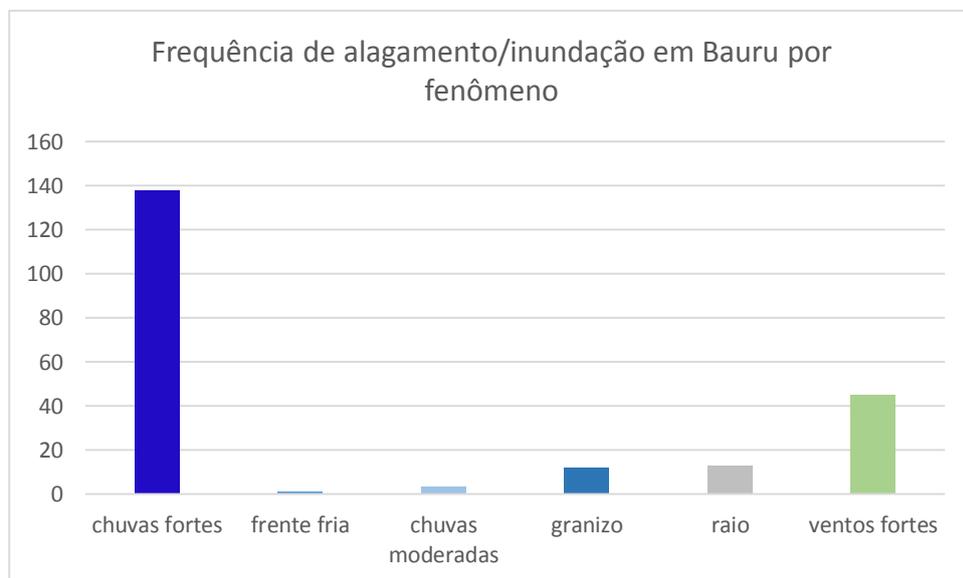


Fonte: Dados do IPMET.

Sendo assim essa pesquisa avaliou as ocorrências de causa hidrológica ocorridas de 2005 a 2015 através da espacialização da mesma e possibilitando o estudo conjunto dos aspectos físicos (fragilidade ambiental), com os eventos desencadeadores.

O gráfico da Figura 4 apresenta a distribuição dos agentes desencadeadores de acordo com o registro e nomenclatura do IPMET que resultaram nos eventos hidrológicos classificados como alagamentos/inundações. Observa-se no gráfico da Figura 4, a predominância das chuvas fortes como agente deflagrador mais recorrente.

Figura 4: Distribuição do fenômeno desencadeador dos eventos hidrológicos em Bauru de 2000 a 2015.



Fonte: Dados do IPMet

1.1 Justificativa

Faz-se necessária a redução de desastres para minimizar as perdas decorrentes destes eventos, promovendo um impacto positivo principalmente para a população mais vulnerável. Os danos repetitivos afetam a saúde da população exposta e setores econômicos das instalações atingidas.

A cidade objeto do estudo foi escolhida devido à alta incidência de inundações/alagamentos e à acessibilidade de informações referentes a dados pluviométricos e dados físicos da área urbanizada, além de dispor de imagens de radar, dentre outras informações relevantes para o desenvolvimento da análise. O uso de dados de radar agrega informações na distribuição espacial da precipitação, principalmente para a chuva convectiva. Outro fator relevante para a escolha da cidade foi a magnitude dos transtornos que a população vem enfrentando devido às inundações em decorrência das chuvas na região.

Utilizou-se o banco de dados de desastres naturais do site do IPMet de Bauru para auxiliar na análise de agentes desencadeadores de desastres naturais relacionados aos eventos hidrológicos.

O planejamento urbano depende de uma base de dados confiável que contenha a sistematização de dados de desastres naturais, o estudo de mapas de uso do solo, a degradação ambiental, a geologia e os dados hidrológicos, entre outros.

Para o desenvolvimento de tal pesquisa foi fundamental a colaboração do IPMet, pois a Instituição tem informações detalhadas sobre as áreas consideradas nesta pesquisa.

1.2 Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o risco do ambiente urbano aos eventos hidrológicos na cidade de Bauru.

Objetivos Específicos:

- ✓ Elaboração de mapas que descrevem o ambiente urbano segundo critérios ambientais e antrópicos.
- ✓ Avaliação do risco através da associação dos mapas de critérios ambientais e antrópicos com o mapa de perigo envolvido.
- ✓ Localização das ocorrências hidrológicas ponderados pela probabilidade de ocorrência da chuva deflagradora, medida através de pluviômetros automáticos
- ✓ Avaliação da viabilidade de agregar o uso das imagens de radar na elaboração dos mapas de perigo.

Nesse sentido, se pretendeu criar mecanismos como, por exemplo, o zoneamento das áreas de risco de inundação/alagamento na cidade, de forma a colaborar no processo de cadastro do município como resiliente, tornando a cidade de Bauru capaz de resistir, absorver e se recuperar de forma eficiente dos efeitos de um desastre e, de maneira organizada, e desta forma auxiliar na preservação bens e vidas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo de revisão está dividido em quatro partes. A primeira apresenta o tema de desastres naturais e cidades resilientes. A segunda e a terceira parte abordam assuntos relacionados a eventos desencadeadores de inundações, predicabilidade, risco e vulnerabilidade. Por último também foram abordados conceitos sobre mensuração de chuva por pluviômetro automático e por radar.

2.1 Desastres naturais

Nas últimas décadas vem se discutindo a razão do aumento de precipitação, de temperatura e do nível do mar que levaram a um acréscimo no número de desastres tais como inundações e deslizamentos, sendo que muitos cientistas atribuem a isso o fenômeno de mudanças climáticas. Porém, esses danos também são atribuídos ao intenso processo de urbanização causando mudanças regionais. Por esse fato, a abordagem do tema cidades resilientes está cada vez mais evidente.

2.1.1 *Mudanças climáticas*

O Planeta Terra está em constante modificação pela ocorrência dos fenômenos naturais. Esses fenômenos podem ser internos ou externos. Movimentação de placas tectônicas que geram atividades vulcânicas, terremotos e tsunamis são movimentos de origem interna da Terra. Os de origem externa tem como causa principal a dinâmica atmosférica, que pode causar furacões, tempestades, ressacas, vendavais, secas, inundações e estiagem, entre outros. As intervenções humanas também geram impactos. Cita-se a exploração dos recursos naturais, o uso e a ocupação dos espaços naturais. Parte deles pode ser absorvida, ou seja, os impactos ocorrem sem esgotar os recursos naturais; entretanto, outros acabam desencadeando um desequilíbrio ambiental (AMARAL e GUTJAHR, 2011).

Historicamente, as catástrofes ambientais eram consideradas inevitáveis, vistas como consequência direta da natureza. Porém, vêm sendo reconhecidas como consequências da maneira pela qual a sociedade moderna se desenvolve, contribuindo para o aumento crescente das catástrofes ambientais. A avaliação da intensidade dos desastres é importante pois facilita a resposta e a recuperação da

área atingida. As medidas adotadas necessárias para socorrer as vítimas dependem dos prejuízos e da potência dos danos conforme Tabela 1. O banco de dados do *Emergency Disasters Database (EM-DAT)* contém uma compilação de dados e informações sobre a ocorrência de desastres obtidos em todo o mundo, como as organizações não governamentais, as companhias de seguros, os institutos de pesquisa, as agências das Nações Unidas, e as agências de notícias (TOMINAGA *et al.*, 2009; PELLEGRINA, 2011; OLIVEIRA, 2012; EM-DAT, 2015).

O EM-DAT define desastre como uma situação ou evento que ultrapassa a capacidade de resposta de um determinado local, necessitando de assistência externa para o retorno da normalidade, ou seja, é um evento que causa grandes danos e prejuízos às áreas afetadas.

Tabela 1: Classificação dos desastres em relação à intensidade.

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastre de pequeno porte, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. (Prejuízo < 5% PIB municipal)	Facilmente superável com os recursos do município.
II	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. (5% < Prejuízo <= 10% PIB).	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (10% < Prejuízo <= 30% PIB).	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência-SE).
IV	Com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. (Prejuízo >30% PIB).	Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional (Estado de Calamidade Pública-ECP).

Fonte: Kobiyama et al. (2006).

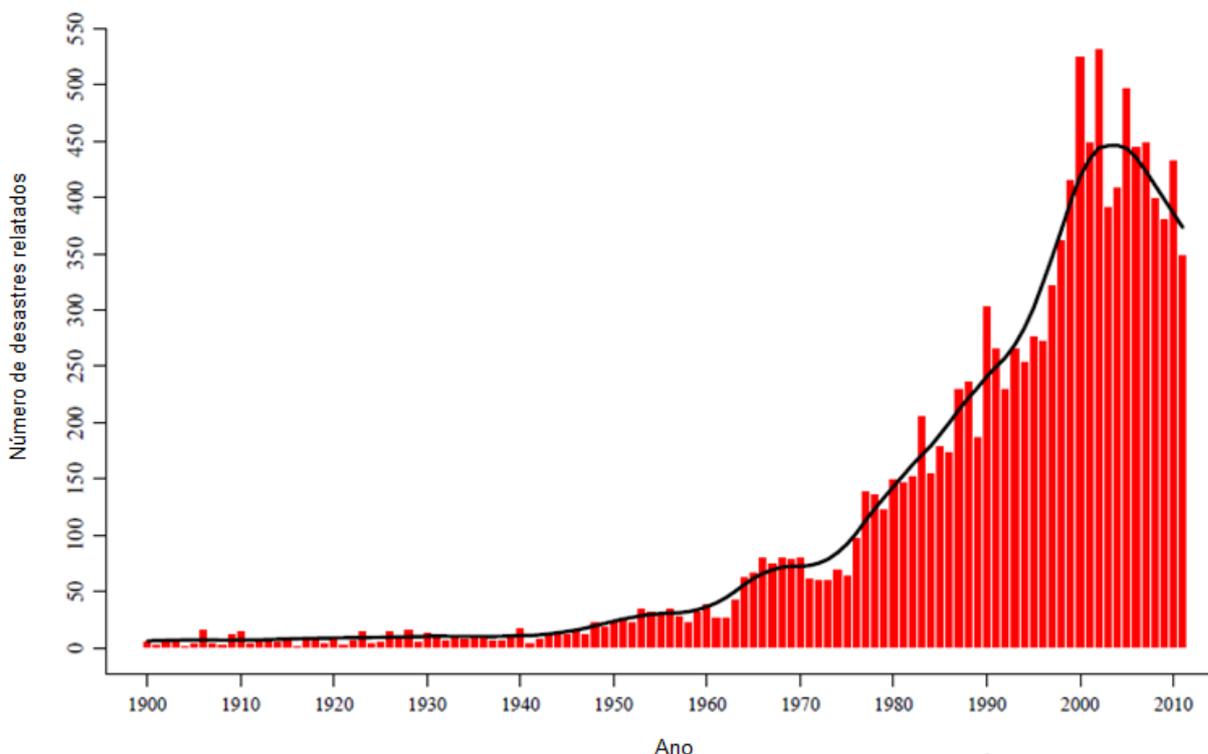
De acordo com a Figura 5, que abrange o período de 1900 até 2011, o número de registros de desastres naturais teve um aumento significativo, principalmente do ano de 2000 a 2010. Observa-se que os anos de 2000, 2002, 2005 e 2010 foram críticos, com os maiores números de registros (EM-DAT, 2015). O ano de 2002 registrou o maior número de vítimas, aproximadamente 423 milhões (Figura 6). Uma das explicações para o maior número de vítimas no ano de 2002 se

deve às inundações de verão na Europa Central, onde ocorreu aumento do nível dos rios Danúbio, Vltava e Elba (BERTZ *et al.*, 2003; GUHA-SAPIR *et al.*, 2015)

O mapa da Figura 7 mostra a distribuição dos desastres por subgrupo em cada continente. Nota-se que na América a maior incidência são os desastres climatológicos. De acordo com Guha-Sapir (2015), cada desastre é dividido por subgrupos, conforme a Tabela 2. De acordo com o COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastre, os desastres naturais são divididos em cinco grupos: geológico, hidrológico, meteorológico, climatológico e biológico. O outro grupo é o tecnológico, relacionado a substâncias radioativas, produtos perigosos, obras civis e cargas perigosas.

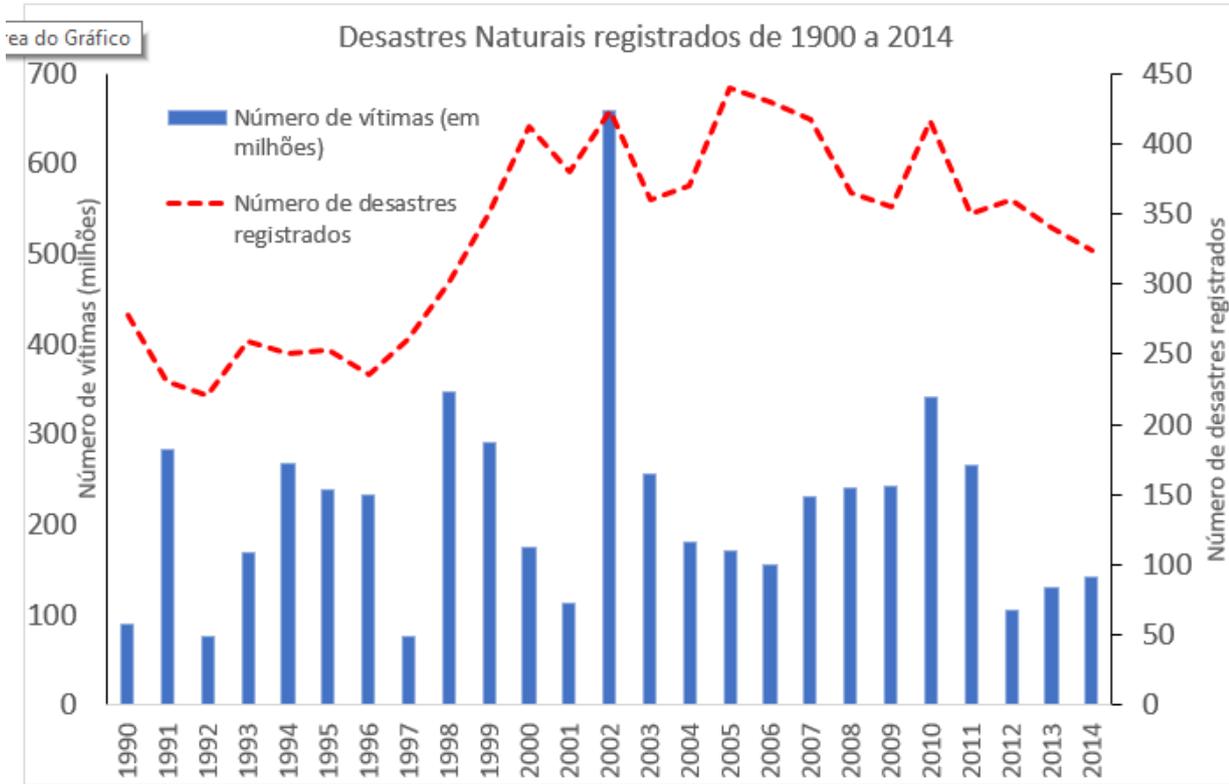
Figura 5: Desastres Naturais registrados de 1900 a 2011.

Número de desastres relatados 1900-2011



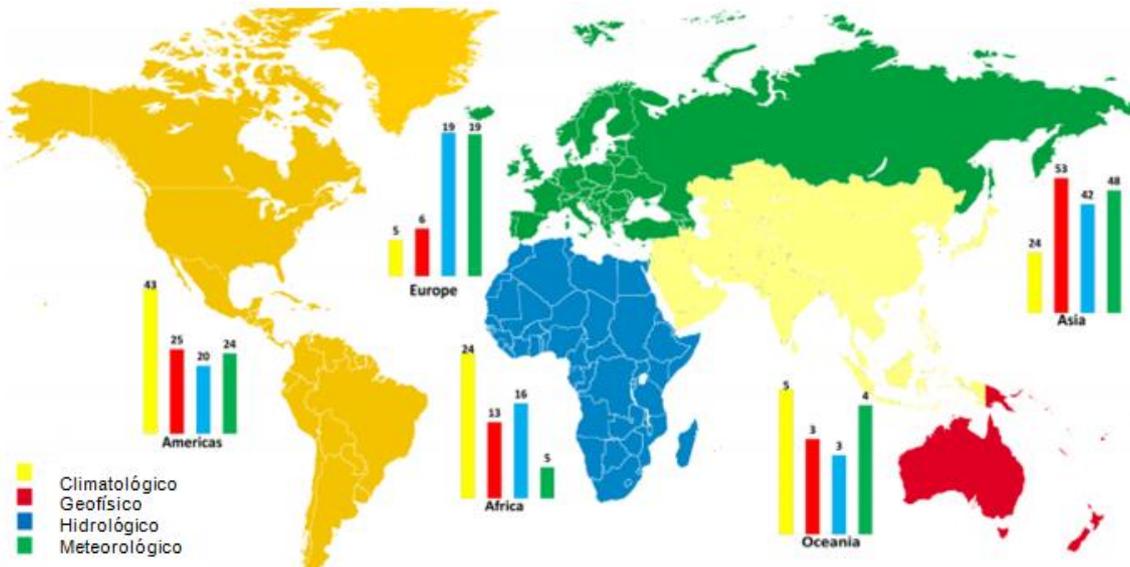
Fonte: EM-DAT (2015).

Figura 6: Desastres Naturais registrados de 1900 a 2014 e número de vítimas em milhões.



Fonte: GUHA-SAPIR et al. (2015).

Figura 7: Porcentagem de Desastres Naturais registrados em 2014 dividido por subgrupo.



Fonte: GUHA-SAPIR et al. (2015).

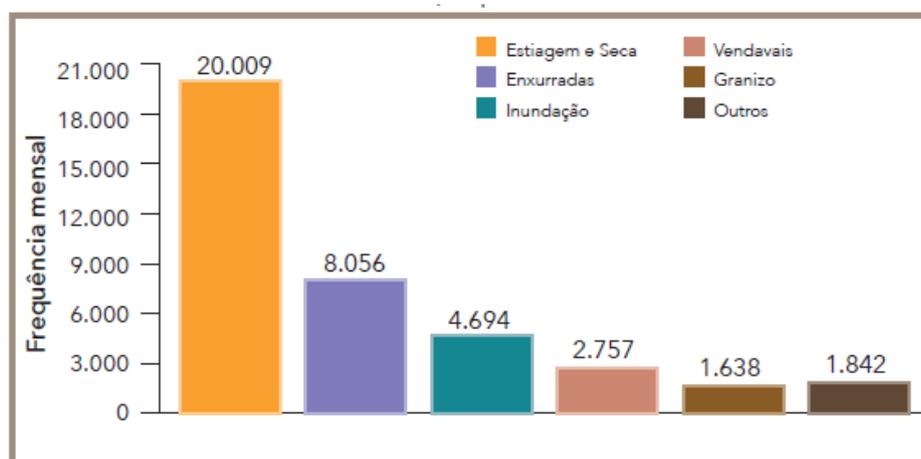
Tabela 2: Classificação dos Subgrupos de Desastres Naturais.

Geofísico	Hidrológico	Meteorológico	Climatológico	Biológico	Extra-terrestre
Terremoto	Inundação	Tempestade	Seca	Acidentes com animais	Impactos
Movimento de massa	Escorregamento de terra	Temperatura extrema	Rompimento de geleiras	Epidemias	Radiação espacial
Vulcão		Névoa	Queimadas	Infestações de insetos	

Fonte: GUHA-SAPIR et al. (2015).

De acordo com dados de registros dos desastres naturais fornecido pelo CEPED (2013b), conforme mostra a Figura 8, as estiagens, secas e as enxurradas são as tipologias mais recorrentes do Brasil. Ao analisar apenas o estado de São Paulo (Figura 9), 41% dos desastres naturais registrados representam as enxurradas e 17% as inundações, que estão diretamente associadas ao acréscimo de precipitações pluviométricas (CEPED, 2013a).

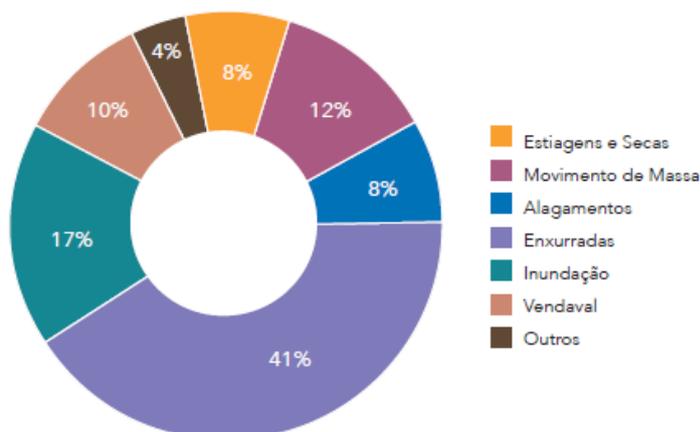
Figura 8: Frequência mensal de registros dos desastres naturais no Brasil.



Fonte: CEPED (2013b).

A Tabela 3, elaborada por Freitas et al. (2014), aborda as consequências dos desastres no ambiente e na infraestrutura de serviços, sociedade e local do território atingido. Estes tipos de fenômenos prejudicam: os serviços de saneamento ambiental, qualidade da água, o solo e oferta de alimentos, bem como propiciam o surgimento de algumas doenças.

Figura 9: Percentual dos desastres naturais mais recorrentes no Estado de São Paulo (1991-2012).



Fonte: CEPED (2013a).

Tabela 3: Consequências ambientais e socioeconômicas dos desastres provocados por inundações/enxurradas/alagamentos e seca/estiagem.

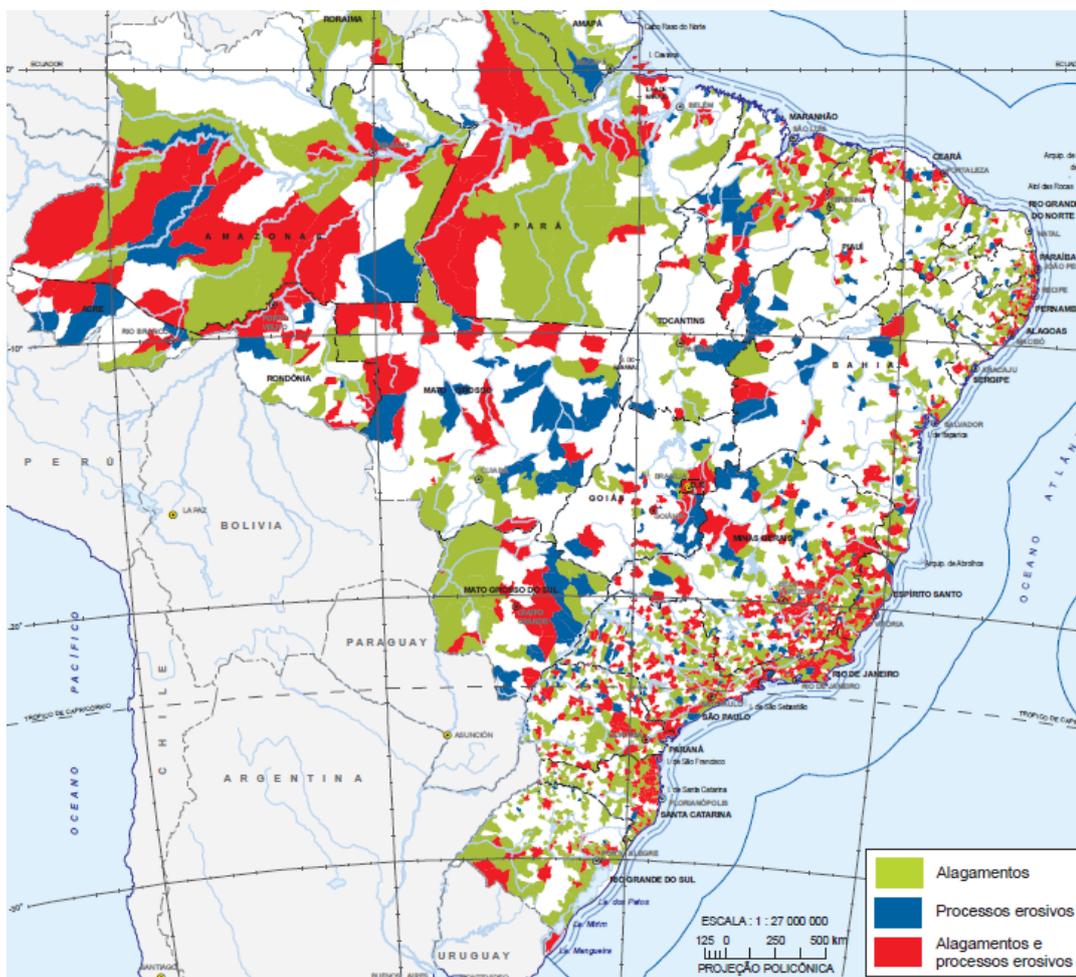
	Consequências ambientais	Consequências socioeconômicas
Inundações/enxurradas/alagamentos	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação biológica e química da água para consumo humano, alimentos e solo; Comprometimento da rede e fontes alternativas de abastecimento de água; Comprometimento da rede de serviços de coleta e tratamento de esgoto; Comprometimento dos serviços de coleta e disposição do lixo; Alteração nos ciclos dos vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças e nas formas de exposições ambientais dos humanos 	<ul style="list-style-type: none"> Interrupção total ou parcial de pontes, ruas e estradas por inundação ou destruição; Rompimento de diques de contenção; Rompimento de tanques de combustíveis; Interrupção total ou parcial do fornecimento de serviços de água, eletricidade, gás, transporte e comunicação; Interrupção total ou parcial do funcionamento de escolas, comércio, serviços funerários, serviços de saúde e outros, Comprometimento total ou parcial das atividades agrícolas e pecuárias; Prejuízos econômicos pela destruição total ou parcial de propriedades, casas e construções; Prejuízos econômicos pela destruição total ou parcial das fontes de renda e trabalho; Perdas de bens pessoais e de valor sentimental; Rompimento ou fortalecimento da amizade, cooperação e laços afetivos entre os membros de uma comunidade afetada.
Seca/estiagem	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação da água para consumo humano. Alimentos e solo; Comprometimento da rede e fontes alternativas de abastecimento de água; Intrusão de água salgada em suprimentos de água doce subterrânea; Contaminação do ar por poeira e partículas oriundas de incêndios, de florestas de cianobactérias e de toxinas acumuladas no solo; Alteração nos ciclos dos vetores hospedeiros e reservatórios de doenças e nas formas de exposições ambientais dos humanos 	<ul style="list-style-type: none"> Interrupção total ou parcial do fornecimento de água; Comprometimento da quantidade e qualidade de água para consumo humano; Comprometimento total ou parcial das atividades agrícolas, pecuárias e pesqueiras; Comprometimento da quantidade e qualidade de alimentos; Prejuízos econômicos pela destruição total ou parcial das fontes de renda e trabalho; Perdas de bens pessoais e de valor sentimental devido à necessidade de migrar e à incapacidade de suprir a família com elementos essenciais à vida

Fonte: FREITAS et al, 2014.

De acordo com dados do IBGE (2014), no período de 2009 a 2013, 2.065 municípios foram atingidos por alagamentos, o que representa 37,1% do total dos municípios brasileiros (Figura 10). A região com maior número de registros foi a Sudeste representado 45,2% do total de registros. Já os processos erosivos, ocorreram em 1.113 municípios no mesmo período. Os processos erosivos estão distribuídos espacialmente de forma mais homogênea quando comparados com os eventos de alagamentos.

As estratégias de políticas urbanas voltadas à adaptação às mudanças climáticas têm como objetivo aumentar a resiliência da área urbana e mitigar a vulnerabilidade aos desastres naturais. Os riscos ambientais urbanos ligados às mudanças climáticas estão associados principalmente ao aumento da pluviosidade e da temperatura, que consequentemente aumentam os riscos, por exemplo, de deslizamentos e enchentes (BRAGA, 2012).

Figura 10: Municípios que apresentaram alagamentos e processos erosivos nas áreas urbanas nos últimos 5 anos – Brasil – 2013.



Fonte: IBGE, 2014.

2.1.2 Cidades Resilientes

Os centros urbanos na sociedade moderna estão cada vez mais populosos, criando-se novos tipos de vulnerabilidade. Diante desta situação, a resiliência tornou-se prioridade. Porém, esta questão não é de fácil entendimento e resolução. Muitos autores utilizam diferentes definições para resiliência. Para melhorar a resiliência econômica, cultural, social e de saúde de pessoas é essencial o investimento público e privado na prevenção e na redução de riscos de desastres. Na prática, mesmo a cidade de Copenhague, classificada como a cidade mais resiliente ao clima, tem dificuldades na aplicação do marco de Sendai. Este marco surgiu em março de 2015 sucedendo o marco de Hyogo (que vigeu de 2005 a 2015). A principal diferença entre os marcos é que o marco de Hyogo tinha como foco a redução de perdas nos desastres e o marco de Sendai tem como objetivo a redução de riscos. O marco de Sendai surgiu na Terceira Conferência Mundial sobre a Redução do Risco de Desastres em 2015, em Sendai, Miyagi, no Japão. Foram aprovados sete metas, quatro prioridades e princípios orientadores por alguns Estados Membro da ONU. As sete metas globais são: reduzir a mortalidade; o número de pessoas afetadas, as perdas econômicas, os danos à infraestrutura, aumentar o número de países com estratégias nacionais, cooperação internacional e aumentar a disponibilidade de acesso a sistemas de alerta com informações sobre risco de desastres (KELMAN e GLANTAZ, 2015; MELKUNAITE e GUAY, 2016).

Em maio de 2011, em Genebra foram coletadas informações por meio de entrevistas com prefeitos e representantes de governos locais durante a Plataforma Global de Redução de Desastres, resultando na publicação de um Guia em 2012. De acordo com este guia da ONU (2012), para uma cidade tornar-se resiliente a desastres, deve-se seguir os 10 passos descritos, que incluem tarefas críticas e interdependentes que os governos locais devem cumprir:

1. Organização e coordenação para aplicar ferramentas de redução de riscos de desastres;
2. Fazer um orçamento para redução de riscos de desastres;
3. Preparar as avaliações de risco, mantendo os dados sobre os riscos e vulnerabilidade atualizados para tomadas de decisão;
4. Investir e manter uma infraestrutura para redução de risco;

5. Avaliar a segurança das escolas e demais locais, conforme necessidade;
6. Impor regulamentos realistas compatíveis com o risco de construção e princípios de planejamento do uso do solo;
7. Verificar nas escolas e comunidades se estão em vigor os programas de educação e treinamento sobre redução de riscos de desastres;
8. Mitigar as inundações, proteger os ecossistemas e barreiras naturais;
9. Instalar sistemas de alerta e alarme no município;
10. Após qualquer desastre, por meio do apoio direto e por suas organizações comunitárias, assegurar que as necessidades dos sobreviventes estejam no centro da reconstrução, de modo a implementar ações de resposta e recuperação

A implantação destes dez passos para a construção de cidades resilientes, é pautada pelo planejamento estratégico. Este processo de planejamento estratégico engloba: fases, marcos e providências (ONU, 2012), conforme Tabela 4.

Tabela 4: Fases, marcos e providências do processo de planejamento.

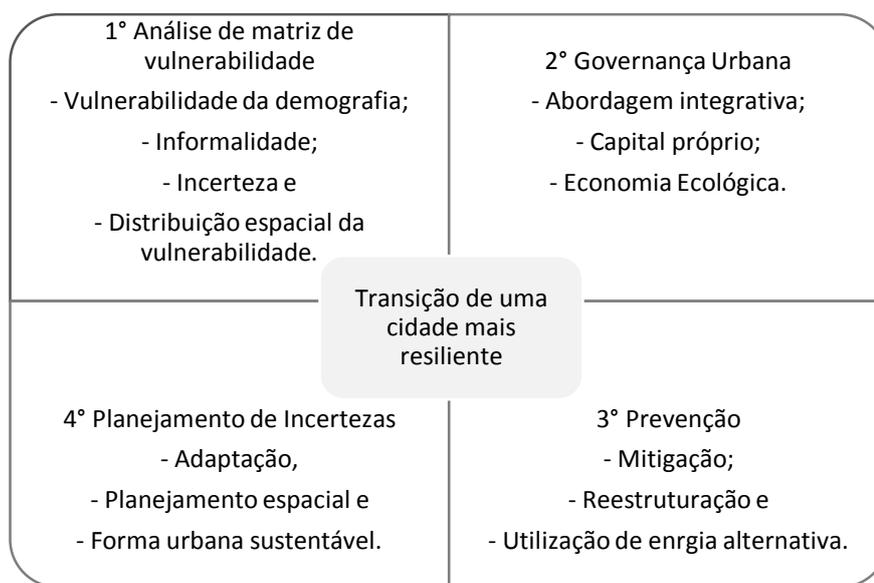
	Marcos de cada fase	Providências
Fase 1	Organização e preparação para aplicação dos dez passos	1.Preparação do cenário institucional, sensibilização. 2.Convencimento de atores, formalização do processo participativo. 3.Planejamento e execução do processo.
Fase 2	Diagnóstico e avaliação de risco do município	4.Familiarização com os riscos do município. 5.Condução de avaliação de risco. 6.Análise do ambiente e atores locais. 7.Preparação de relatório de avaliação.
Fase 3	Desenvolvimento de um plano de ação de segurança e resiliência para o município	8.Definição de visão, objetivos e ações principais. 9.Definição de programas e projetos. 10.Institucionalização e manutenção do plano de redução de desastres.
Fase 4	Implantação do plano	11.Implantação e mobilização de recursos. 12.Garantia de ampla participação e apropriação.
Fase 5	Monitoramento e acompanhamento	13.Monitoramento, acompanhamento e avaliação do plano. 14.Disseminação e promoção do plano.

Fonte: ONU, 2012.

Segundo Jabareen (2012), o conceito de cidade resiliente está baseada em uma rede que envolve conceitos interligados para uma compreensão abrangente

dos agentes envolvidos, voltada para lidar com as mudanças de clima e os riscos ambientais. A Figura 11 ilustra o papel de cada conceito, sendo que cada um tem seu número de componentes. A soma dos conceitos e seus componentes é a contribuição para resiliência urbana. Estes conceitos norteiam o que as cidades e suas comunidades urbanas devem fazer para se obter uma cidade mais resiliente no futuro.

Figura 11: Quadro de planejamento para uma cidade resiliente.



Fonte: adaptada de Jabareen (2012).

2.2 Eventos Hidrológicos

Este item encerra a parte referente à revisão bibliográfica. Será separado em nos seguintes subtítulos: enchente x inundações x alagamento, eventos desencadeadores de inundação, predicabilidade da chuva, risco e vulnerabilidade e mapeamento de áreas susceptíveis às inundações.

2.2.1 *Conceitos: enchente x inundação x alagamento*

O desenvolvimento urbano tem causado o aumento na frequência das inundações. Os eventos de inundação são os que ocorrem com maior frequência, representando 55% de todos os desastres registrados ao redor do mundo. O alagamento, a enchente e a inundação são eventos que ocorrem devido à precipitação. Porém, cada um deles tem a sua característica. No entanto, estas terminologias são de difícil diferenciação (Tabela 5). Cada ocorrência pode adquirir particularidades que variam em função do local e do evento desencadeador, como

por exemplo diferentes alturas e velocidades (FEW *et al.*, 2004; PELLEGRINA, 2011; SAUSEN e NARVAES, 2013).

Tabela 5: Compilação das definições de enchente, alagamento, inundação e enxurrada.

Autor	Definições			
	Enchente	Alagamento	Inundação	Enxurrada
Tucci (2007)	subdivididas em urbanas e ribeirinhas com relação a sua causa		podem ser provocadas por 3 fatores: estrangulamento da secção do rio; remanso devido a macrodrenagem ou erros de projetos e execução da drenagem de rodovias e avenidas	
Santos (2010)	elevação temporária ao longo de um canal de drenagem decorrente ao aumento da vazão ou descarga.	processos decorrentes ou não de problemas de natureza fluvial, ocorrendo o acúmulo de água momentâneo	transbordo da água cobrindo certa extensão do terreno	
Batista (2014)	também chamada de cheia, atinge a cota máxima do canal, porém sem transbordamento	acúmulo de água em uma superfície qualquer	a inundação ribeirinha ocorre o transbordamento das águas de um canal de drenagem	pode ser um escoamento concentrado ou não, geralmente associado a escorregamento de detritos
IPT (2014)		acúmulo momentâneo de água devido a dificuldade de escoamento superficial em terrenos com baixa declividade	atingimento e submersão da planície aluvial pelo transbordamento das águas do canal principal do rio	brusca e de curta duração, desenvolvida em bacias de drenagem no contexto de relevo serrano ou morros altos

Fonte: elaborada pela autora.

O alagamento ocorre devido ao sistema de drenagem deficitário, ou seja, é o acúmulo de água momentâneo na área urbana. Chuvas mais intensas podem ocasionar enchente, pois o rio recebe um grande volume d'água, ocorrendo elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão. O aumento do nível dos rios e seu transbordamento caracterizam a inundação, conforme Figura 12 (KOBAYAMA *et al.*, 2006; IPT, 2007; PELLEGRINA, 2011; JACOB, 2014,).

A enchente ocorre quando o rio recebe um grande volume d'água em um curto espaço de tempo, ocasionado pelas precipitações na sua cabeceira. A água do rio ganha velocidade e ao mesmo tempo a água que vem dos afluentes aumenta o volume do rio até transbordar. Por causa desse fenômeno hidrológico, o rio necessita de uma grande área de terra adjacente para absorver tal volume de água. Devido à redução de capacidade de escoamento pelo assoreamento dos condutos e canais, as enchentes aumentam de frequência. (TUCCI e COLLISCHONN, 2000; PELLEGRINA, 2011).

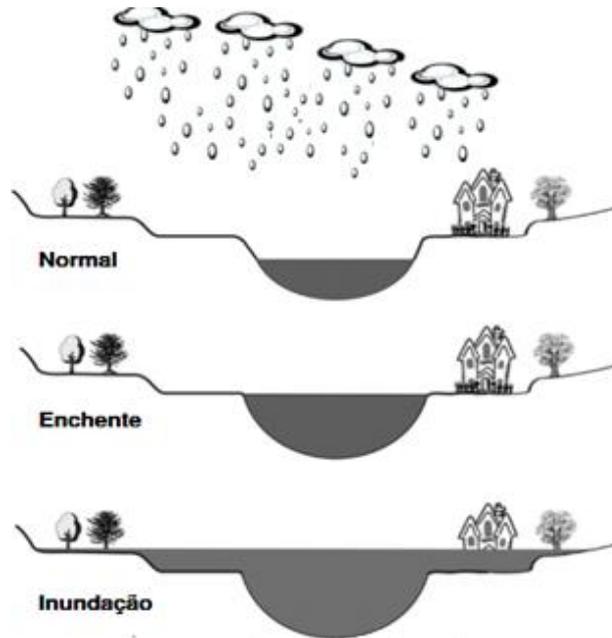
As inundações graduais são eventos com intensidade de precipitação maior que a capacidade de infiltração. Nos trabalhos internacionais que envolvem este tema, encontram-se os termos *flood* ou *flooding* (TUCCI e BERTONI, 2003; GOERL e KOBIYAMA, 2005).

As inundações bruscas ocorrem rapidamente, dificultando o tempo de alerta, atingindo áreas suscetíveis, deixando os moradores destas regiões sem tempo para se protegerem. Elas destroem as áreas atingidas em poucas horas (GOERL E KOBIYAMA, 2005). No Brasil também pode ser conhecida pelo termo enxurrada e na língua inglesa como *flash flood* (KRON, 2002; GOERL E KOBIYAMA, 2005).

A Figura 13 ilustra a distribuição dos municípios que tiveram inundações graduais e/ou bruscas no período de 2009 a 2013. Os municípios atingidos por enchentes ou inundações graduais foram 1.543, além de 1.574 municípios atingidos por enxurradas ou inundações bruscas, dentro do universo total de 5.570 municípios brasileiros (IBGE,2014).

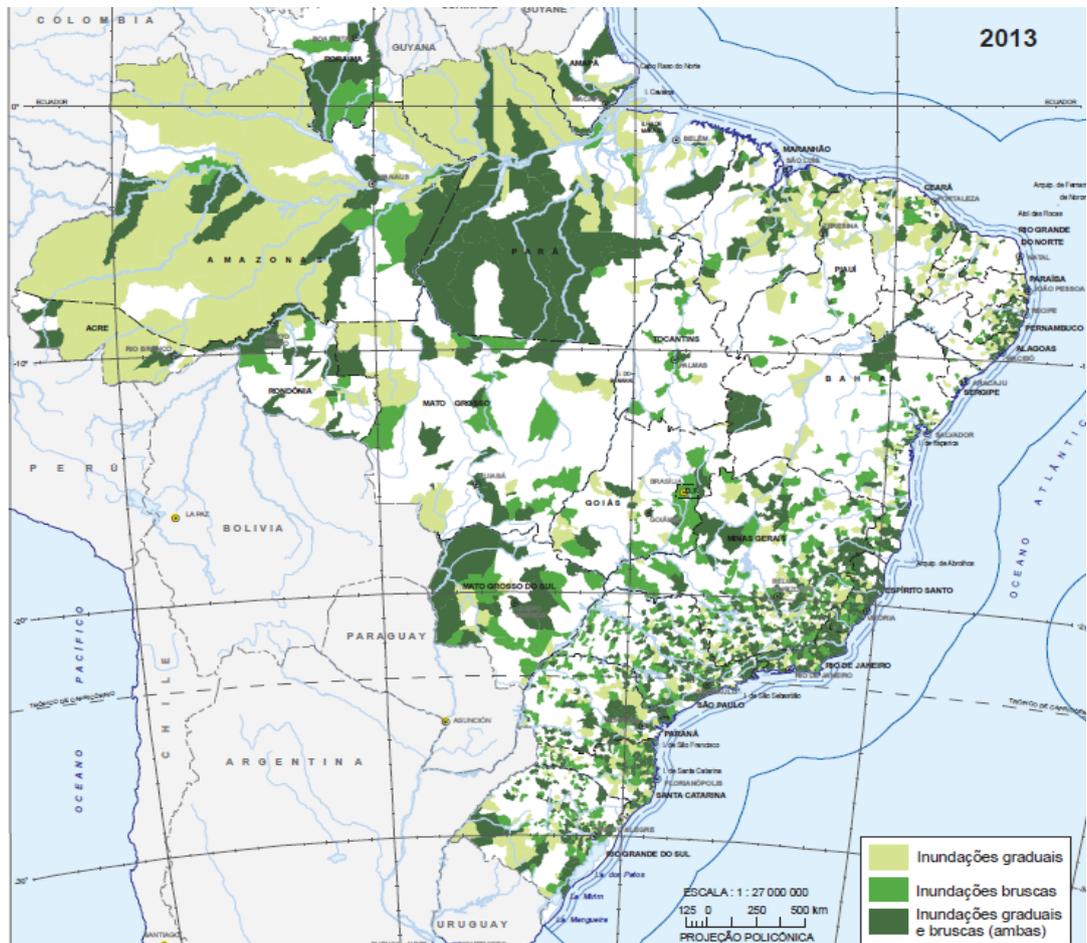
Segundo Kron *et al.* (2012), para prever quando pode ocorrer um desastre natural de acordo com as análises estatísticas, o conjunto de dados e seus componentes devem ser claramente compreendidos. A análise de dados referentes às inundações é a mais desafiadora dentre os outros desastres naturais, pois existem vários tipos de inundações, sendo de difícil diferenciação entre elas. Os dados estatísticos oriundos dos desastres ocorridos são indispensáveis para a avaliação de catástrofes futuras.

Figura 12: Evolução do aumento do nível das águas do leito do rio.



Fonte: Goerl e Kobiyama (2005).

Figura 13: Municípios que apresentaram inundações graduais e bruscas nas áreas urbanas no período de 2009 a 2013.



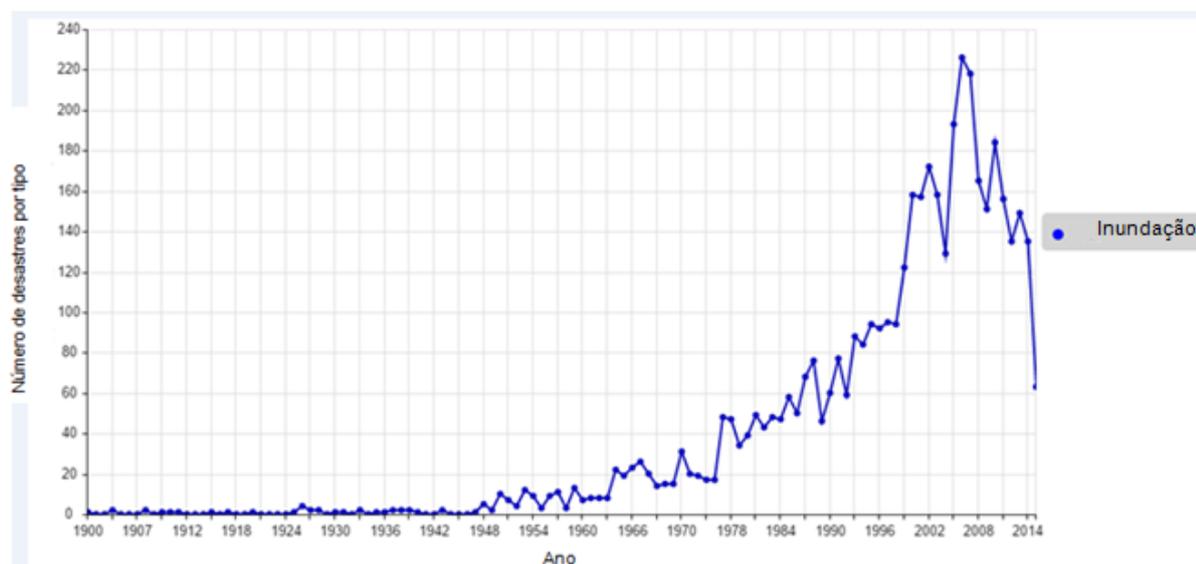
Fonte: IBGE (2014).

2.2.2 Eventos desencadeadores de inundação

Os desastres ocorrem devido aos desequilíbrios nos processos naturais. Para analisar a dimensão dos resultados negativos destes desastres nos municípios, deve-se observar: a declividade, o tipo de solo da região, o clima, o padrão de distribuição das chuvas e a existência de áreas impermeáveis. Os municípios que apresentam desequilíbrios naturais somados às chuvas concentradas, podem ser atingidos por alagamentos com acúmulos de água localizados. Observa-se que em regiões com chuvas menos concentradas ou com clima mais seco, ocorrem menos desastres (IBGE,2014).

A urbanização induz problemas de enchentes com o aumento de áreas impermeabilizadas, pois influencia diretamente nos cursos d'água urbanos, aumentando o escoamento superficial durante os eventos de temporal (SWAN *et al.*, 2010; LEAL *et al.*, 2012; ZHENG *et al.*, 2012). A Figura 14 ilustra o gráfico com o número de inundações no mundo e a Figura 15 o número de registro de temporal no mundo no período de 1900 a 2014, observando-se a sua intensificação.

Figura 14: Número de inundações ocorridas no mundo de 1900 a 2015.

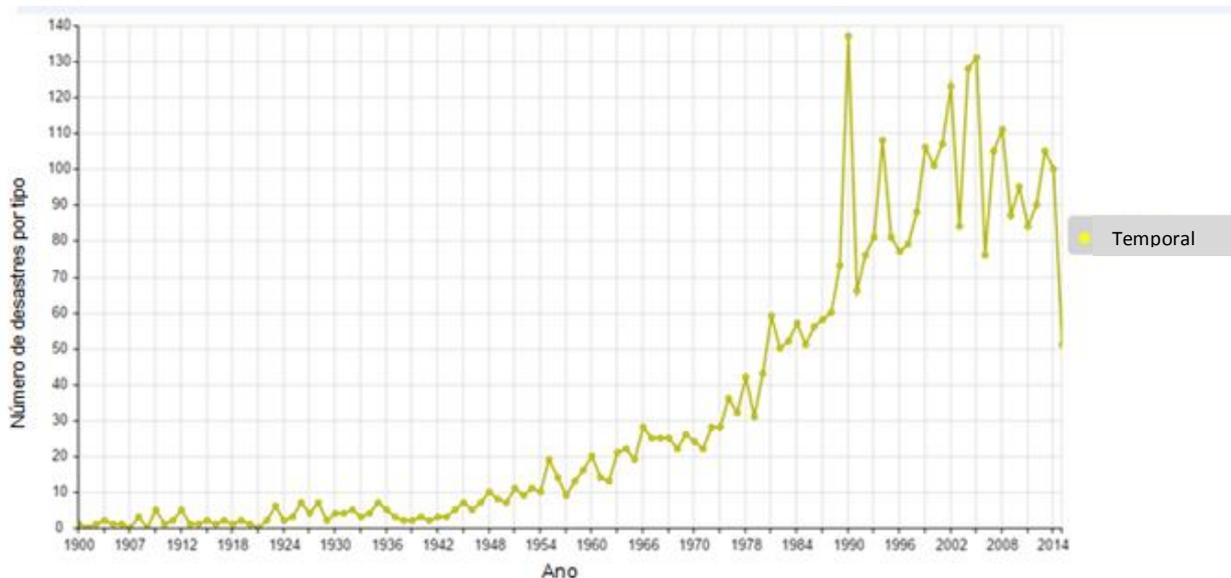


Fonte: EM-DAT (2015).

O número de ocorrência dos desastres naturais em áreas urbanizadas está diretamente ligado à intensidade das chuvas. Ou seja, nos dias com chuvas mais intensas, o número de ocorrências de danos para população aumenta. A vulnerabilidade do local e a distribuição da população nas áreas urbanas, além das

características pedológicas são indicadores de risco que influenciam a ocorrência de desastres (BARBERÍA *et al.*, 2013; PAPAGIANNAKI *et al.*, 2015).

Figura 15: Número de registro de temporal ocorrido no mundo de 1900 a 2015.



Fonte: EM-DAT (2015).

2.2.3 Predicabilidade da chuva

Nos tópicos a seguir foram abordados assuntos referentes aos instrumentos de medidas de precipitação: dados de pluviômetro automático, imagens obtidas através do radar. Esses temas auxiliam para a compreensão da equação das chuvas intensas que também é descrito nesta parte do trabalho.

2.2.3.1 Pluviômetro automático

O instrumento mais tradicional para medir a chuva é o pluviômetro automático. Sua principal característica é a leitura manual em intervalos fixos, ou leituras, existindo aparelhos automatizados que fazem o registro contínuo que permite a quantificação da chuva em intervalos de interesse. Este instrumento geralmente é instalado em estações meteorológicas a uma altura de 1,5 metros da superfície do solo, seguindo as normas de instalação recomendada pela Organização Meteorológica Mundial – O.M.M. A altura de chuva informada é em milímetros (EMÍDIO, 2008).

As informações referentes às chuvas coletadas dos pluviômetros automáticos são pontuais, podendo ter variações de dados de chuva em

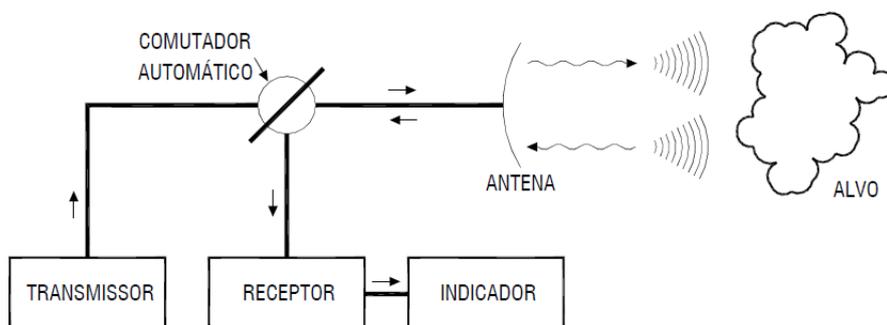
pluviômetros automáticos próximos. Para espacializar dados de chuva oriundos de pluviômetros automáticos pode-se utilizar a interpolação em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) ou o Método dos polígonos de Thiessen. Este último, é um método antigo para calcular a chuva média em bacias, através da ponderação por área de influência de cada posto (COLLISCHONN *et al.*, 2015).

2.2.3.2 Imagem de radar

O radar é uma das ferramentas utilizadas para obter dados sobre precipitações através do uso de sensoriamento remoto em grandes áreas. As informações oriundas do radar fornecem a espacialização da precipitação (KAISER, 2006).

O radar detecta alvos por uma antena através da emissão e recepção de ondas eletromagnéticas, Figura 16, portanto o radar pode detectar outros tipos de obstáculos como aviões, *drones* e insetos. Além disso, pode haver outras interferências: locais distantes podem ser afetados pela atenuação do sinal, e dependendo da elevação da antena, e da altura que se pretende mostrar, os ecos de terreno podem interferir na leitura (KAISER, 2006).

Figura 16: Esquema de funcionamento do radar.

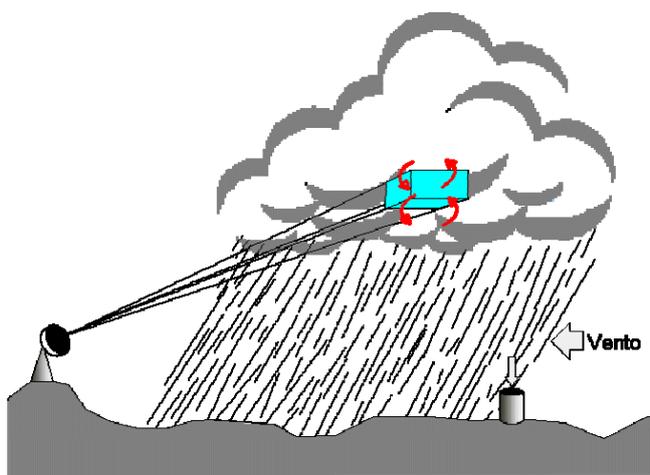


Fonte: CALHEIROS, 1982.

O uso combinado de pluviômetro automático e radar é pertinente para estudo de temporais que podem provocar inundações nas cidades. A precipitação registrada pelos pluviômetros automáticos pode deixar incertezas, especialmente para as chuvas de verão que tem grande variabilidade espacial. Os pluviômetros automáticos e os radares apresentam distorções nos resultados pois o pluviômetro automático mede um pequeno volume de precipitação que está atingindo o solo, ao passo que o radar mede um volume maior de precipitação que está em uma altura diferente do solo (Figura 17). Assim, incorporando a precipitação do radar nestas

análises pode-se melhorar significativamente a precisão da chuva medida, uma vez que ela é espacializada. Porém, é difícil de encontrar infraestrutura adequada para suportar a instalação de uma rede de radares devido ao custo e a sua operacionalidade que cubram áreas que incluam os centros urbanos de interesse, além de uma rede pluviométrica com densidade adequada para ajustar os dados. (KAISER, 2006; EMÍDIO, 2008; GARAMBOIS *et al.*, 2013; CHEN, 2015; ABANCÓ, 2016).

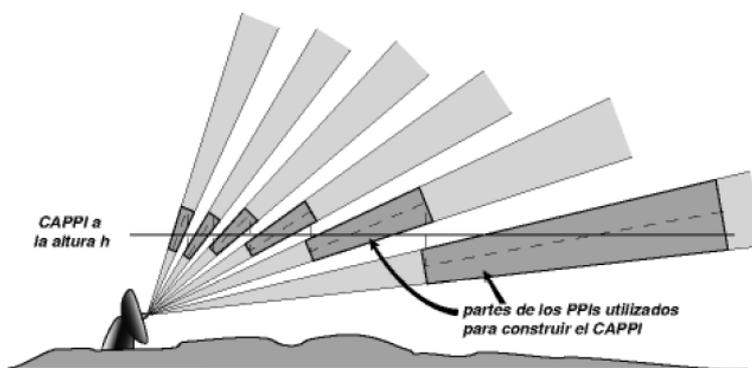
Figura 17: Formas de medidas – radar e pluviômetro automático.



Fonte: KAISER, 2006.

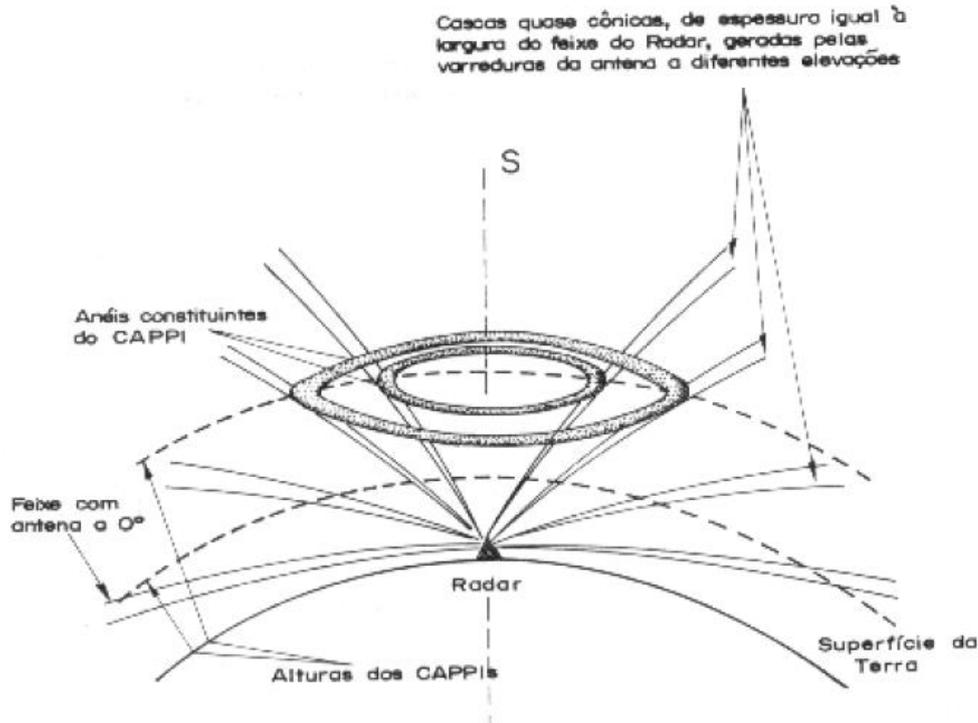
Os radares possuem uma antena que rotaciona em torno do mesmo obtendo informações para cada altura diferente da antena. Para a obtenção de dados são necessários fazer cortes no volume obtido, conforme Figura 18 e Figura 19. A denominação desses cortes é *Constant Altitude Position Indicator* (CAPPI) (KAISER, 2006).

Figura 18: Esquema ilustrado da confecção de um CAPPI.



Fonte: SANCHES-DIEZMA & CORRAL, 2006 apud KAISER, 2006.

Figura 19: Varredura do radar e composição dos CAPPI.



Fonte: PESSOA, 1983 apud KAISER, 2006.

2.2.3.3 Precipitação via satélite

O satélite meteorológico é uma ferramenta utilizada para fornecer dados referentes à movimentação de grandes massas. A estimativa de precipitação através de informações fornecidas via satélite pode ajudar a identificar possíveis pluviômetros automáticos deficitários na leitura ou mal localizados, constituindo-se uma ferramenta para consistência de dados (KAISER, 2006; LEIVAS *et al.*, 2009).

Segundo Yamamoto *et al.* (2011), quando comparados o volume de precipitação via satélite com o resultado do pluviômetro automático, nota-se que há diferenças entre os resultados. Há dois pontos que justificam esta diferença: o algoritmo utilizado para estimar chuvas torna-se difícil quando a mesma é fraca e superficial, outro ponto é a diferença na topografia que reflete no resultado do volume de precipitação obtido.

2.2.3.4 Equação de chuvas intensas

A quantificação da chuva que provocou um desastre natural é um parâmetro importante para detectar a probabilidade de reincidência de tal desastre. Na área da hidrologia, essa relação é descrita na Equação 1 de intensidade-duração-frequência (IDF). Um dos formatos mais comuns das equações de chuvas intensas é:

$$i = \frac{K * Tr^m}{(t + b)^n} \quad (1)$$

Em que:

i = intensidade da chuva máxima (mm/h);

Tr = período de retorno (anos);

t = tempo de duração da chuva (min);

K, b, m, n = parâmetros determinados para a estação pluviográfica

Esta equação estima o período de retorno da chuva, ou seja, período médio de tempo, expresso em anos, em que um evento igual ou de maior magnitude pode ocorrer. Nos casos de inundações e enchentes repentinas, esta ferramenta de avaliação é comumente utilizada em estudos hidrológicos (KAISER *et al.*, 2015).

A determinação de uma equação IDF para uma dada localidade demanda a existência de registros pluviométricos com resolução temporal de minutos, por períodos superiores a 10 anos, gerando grande quantidade de dados a serem interpretados na sua elaboração (GARCIA *et al.*, 2011; KAISER *et al.*, 2015).

As informações obtidas do pluviômetro automático do IPMet foram utilizadas para calcular o período de retorno do evento de inundação no município de Bauru, de acordo com IDF de Bauru, Equação 2 (MARTINEZ e MAGNI, 1999).

$$i, Tr = 35,4487(t + 20)^{-0,8894} + 5,9664(t + 20)^{-0,7749} * \left(-0,4772 - 0,9010 \ln \left(\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right) \quad (2)$$

Em que:

i = intensidade da chuva (mm/minutos)

t = duração da chuva (minutos)

Tr = período de retorno (anos)

Válido para $10 \leq t \leq 1440$

Para comparação dos dados de pluviômetros automáticos com dados obtidos através de imagens de radar, é necessário quantificar a chuva média em área com o radar. Há várias equações para quantificação de chuvas obtidas através de radar, por exemplo a Equação 3, de Marshall e Palmer (1948), e a Equação 4, de Calheiros (1982), para comparação de resultados com o intuito de determinar a equação que

melhor representa a distribuição das chuvas. Após análise preliminar, optou-se pela Equação 4, que resulta em maiores valores de precipitação, sendo estes mais próximos aos valores obtidos nos pluviômetros automáticos (Calheiros e Zawadzki, 1987).

$$z = 200R^{1,6} \quad (3)$$

$$z = 32R^{1,65} \quad (4)$$

Em que:

Z= refletividade (mm^6/m^3)

R= taxa de precipitação (mm/h)

2.2.4 Risco e Vulnerabilidade

A atividade humana pode alterar os processos de dinâmica superficial, como é o caso dos processos erosivos acelerados e das alterações no escoamento superficial, aumentando a ocorrência de processos causadores de risco. O risco é definido como o resultado de um sistema exposto a um perigo incerto. Assim, as áreas de risco surgem como uma interação do meio social com o meio natural. Ao ocupar as áreas naturalmente suscetíveis pode-se agravar o risco. No processo de análise do risco, é fundamental a avaliação tanto do perigo quanto da vulnerabilidade para obtenção de melhores resultados. Para tornar o sistema mais confiável, reduz-se a vulnerabilidade, conseqüentemente reduzindo as perdas potenciais resultantes de uma falha. Portanto, deve-se compreender que o risco não se realiza sem considerar as condições de vulnerabilidade, o que pode ser expresso através da Equação 5 (AYALA, 2002; RECKZIEGEL, 2005; BECK, 2007; AYYUB, 2014).

$$R = P * V \quad (5)$$

Em que:

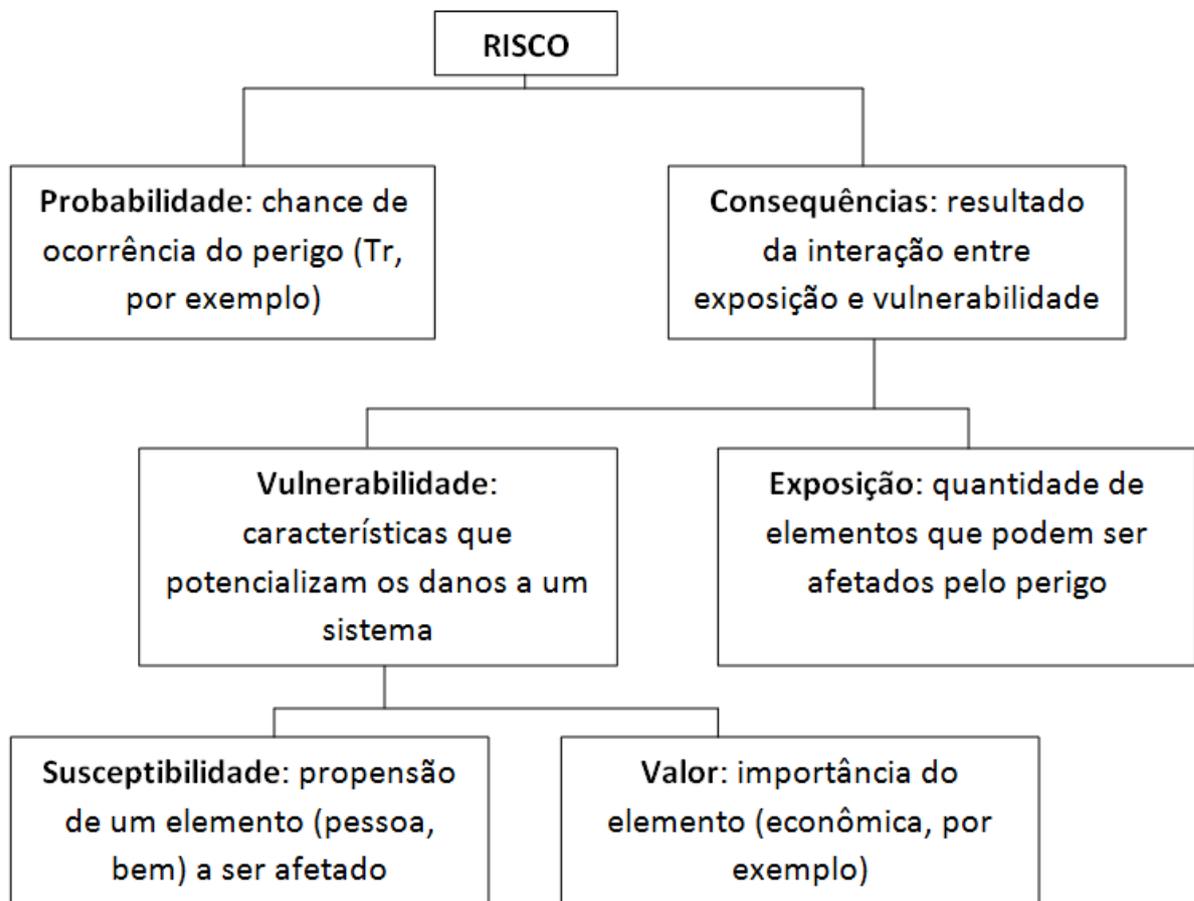
R = risco

P = perigo e

V = vulnerabilidade

O risco é definido como a probabilidade de ocorrer danos resultantes da interação entre os perigos naturais ou induzidos pelos homens e as condições de vulnerabilidade de um sistema social (Figura 20). Assim, também deve-se levar em consideração a habilidade de uma dada população em resistir e recuperar-se de um perigo natural, denominada como resposta ou resiliência. Dessa maneira, quanto maior for a capacidade de resposta de um sistema social, menores serão os prejuízos, o que diminuiria o risco. Portanto, a análise de risco pode ser expressa pela Equação 6 (ISDR, 2002).

Figura 20: Relação entre os componentes de risco.



Fonte: ZONENSEIN (2007).

$$R = \frac{P*V}{Re} \quad (6)$$

Em que:

R = risco;

P= perigo

V= vulnerabilidade

Re = resposta ou resiliência

Para o cálculo de risco, é possível utilizar diferentes pesos para as variáveis. A equação pode ser utilizada para analisar diversos tipos de desastres, entre eles o escorregamento. Por analogia, utiliza-se o mesmo raciocínio para elaborar a equação de risco para inundações, utilizando pesos para as variáveis da equação. Segundo Ferreira (2012), a análise de risco a escorregamentos é dada pela Equação 7:

$$R = P * V * D \quad (7)$$

Em que:

R= risco

P= perigo

V= vulnerabilidade

D= exposição (dano) do elemento risco.

Para Ferreira (2012), cada variável (P, V e D) é calculada considerando-se alguns parâmetros, com um peso variando de 0 a 1, conforme Equação 8 da vulnerabilidade.

$$V = 0,7 * V_{res} + 0,3 * V_{estr} \quad (8)$$

Em que:

V= vulnerabilidade

V_{res} = vulnerabilidade residências

V_{estr}= vulnerabilidade estradas

Em outro contexto, considerando a análise de risco de contaminação por acidentes de cargas perigosas em rodovias, Cordeiro (2014) calculou também a gravidade do dano ambiental como sendo o somatório das vulnerabilidades envolvidas e potencial de dano multiplicadas pelo fator de perigo. O perigo é um fator que tem potencial de causar danos. Para a determinação da gravidade do dano ambiental pode-se utilizar a Equação 9. Para equilibrar a influência dos elementos na determinação do risco foi necessário definir os fatores de ponderação para a determinação da gravidade, conforme Equação 10, em que os pesos devem ser determinados pela análise multicritério. Do resultado da gravidade do dano ambiental associado à probabilidade de acidente envolvido, pode-se determinar a equação de risco, apresentada de forma simplificada na Equação 11.

$$G = P_e (H_{hg} + V_e + V_h) \quad (9)$$

Em que:

G= gravidade do dano ambiental

Pe= perigo

H_{hg}= potencial de dano

V_e=vulnerabilidade ambiental

V_h= vulnerabilidade populacional

$$G = P_e (\alpha_1 H_{hg} + \alpha_2 V_e + \alpha_3 V_h) \quad (10)$$

Em que:

G= gravidade do dano ambiental

Pe= perigo

H_{hg}= potencial de dano

V_e=vulnerabilidade ambiental

V_h= vulnerabilidade populacional

α₁= peso de contribuição inerente para a determinação da gravidade

α₂= peso de contribuição da vulnerabilidade ambiental

α₃= peso de contribuição da vulnerabilidade social

$$R = P_{TRPP*} G \quad (11)$$

Em que:

R= risco

G= gravidade do dano ambiental

P_{TRPP} = probabilidade de um acidente com veículo que transporta produtos perigosos.

A gestão de risco visa preparar uma comunidade por meio de medidas para minimizar impactos e também agregar conhecimento para lidar com eles. Isso inclui bons planos de emergência e medidas para proteger a população. Quanto maior o aumento da exposição, maior o número de desastres naturais. A avaliação quantitativa do risco de fatores causadores de desastres é fundamental para o gerenciamento de desastres. Para diminuir o risco de desastres, é importante reduzir o nível de vulnerabilidade, como por exemplo, a equipe da defesa civil auxiliar as pessoas que moram em locais de risco a se realocarem em lugares mais seguros. Deve-se considerar que pessoas de diferentes idades, classe social em uma mesma cidade, possuem vulnerabilidade diferente (LICCO, 2013; LIAN *et al.*, 2017).

O risco está condicionado à existência de um perigo. No caso do risco de inundação, o perigo é representado pela chuva. No entanto, a simples ocorrência deste evento não determina a presença de risco, que também dependerá da avaliação quanto à vulnerabilidade de pessoas e/ou bens e locais a serem afetados, assim como do valor associado a estes (ZONENSEIN, 2007).

A vulnerabilidade é uma função da graduação da variação climática a que um sistema está exposto, a sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação. O efeito pode ser indireto (por exemplo, um aumento na frequência de inundações costeiras devido à subida do nível do mar). A capacidade de adaptação é a habilidade de um sistema lidar com essas mudanças climáticas e com as consequências. Torna-se importante analisar a qual perigo o sistema está vulnerável, pois só assim uma sociedade pode ser capaz de resistir e se recuperar a partir do impacto de um risco natural (BROOKS, 2003; BLAIKIE *et al.*, 2004; LIAN *et al.*, 2017).

Dentro de um sistema de vulnerabilidade são regularmente utilizados indicadores, que são medidas quantitativas para representar uma característica ou um parâmetro, afim de reproduzir um valor que representa a vulnerabilidade de um sistema. A produção de indicadores de vulnerabilidade é um desafio, pois estes índices dependem da disponibilidade de dados, qualidade e validação, havendo também a dificuldade em se quantificar as interações sociais e os conceitos destas medições. Analisar vulnerabilidade e capacidade de resposta é um processo difícil de ser aplicado no nível de uma região, pelas seguintes razões: disponibilidade de dados desagregados; incompatibilidade dos indicadores de um país para o outro e diferenças importantes em termos de contexto da saúde entre um país e outro (EL MORJANI, 2011; GARBUTT *et al.*, 2015).

O método utilizado por El Morjani (2011), para uma pesquisa realizada envolvendo os países da Europa Central e região Africana, foi executado utilizando-se dois softwares: Microsoft Office Excel e *ArcView*. Inicialmente, foi verificada a causa de inundação em cada local para então se elaborar a distribuição espacial. Os fatores de causa considerados foram: uso e ocupação do solo, elevação, tipo de solo, litologia e o volume de precipitação acumulado próximos aos córregos no período de 1985 à 2005. A classificação das inundações foi definida de acordo com o volume de chuva (Tabela 6). No período analisado (1985 a 2005) classificou-se o número de eventos de inundações, Tabela 7. Em seguida, estimou-se e padronizou-se as pontuações ponderadas para cada fator causal. Foi criado, no programa *ArcView*, uma camada (*layer*) representando o nível de intensidade e distribuição do perigo de inundação.

Tabela 6: Classificação da inundação de acordo com o volume de precipitação.

Volume de chuva acumulada (mm)	Classificação	Nível de acumulação correspondente
101-1000	1	Muito baixo
1000-10.000	2	Baixo
10.000-100.000	3	Médio
>100.000	4	Alto

Fonte: El Morjani (2011).

Tabela 7: Correspondência entre o número de eventos passados e a classificação do perigo de inundação (de 1985 a 2005) segundo El Morjani (2011).

Número de inundações passadas 1985-2009	Perigo de inundação
0	Sem perigo
1-4	Baixo
5-9	Médio
>9	Alto

Fonte: El Morjani (2011).

Importante ressaltar que os pesos de cada fator causal de risco representam a contribuição relativa de cada um e não dependem exclusivamente de conhecimento técnico, pois a importância de cada indicador é também resultado da percepção do risco do tomador de decisão, da população ou da política de gestão de risco adotada (ZONENSEIN, 2007).

2.2.5 Mapeamentos de áreas suscetíveis às inundações

Uma das principais ferramentas que podem ser utilizadas na gestão de riscos são as chamadas geotecnologias, representadas especialmente pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG), o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Posicionamento Global (GPS). O que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são aquelas funções que possibilitam a realização de análises espaciais. O SIG oferece informações sobre um determinado tema baseado em sua localização geográfica. Para usufruir desta ferramenta as informações devem ser georreferenciadas, utilizando-se preferencialmente o sistema de posicionamento global. A importância da utilização de um SIG pelas autoridades governamentais se mostra presente em algumas etapas da gestão ambiental, como: prevenção, preparação, resposta e reconstrução (SILVA, 2006; SILVA, 2009).

O gerenciamento local da água da chuva usando medidas de controle de águas pluviais é uma alternativa sustentável e complementar aos sistemas tradicionais de esgoto. Estudos da região de Copenhague, Dinamarca, sugerem que o uso de uma coleção de eventos históricos de chuva escolhidos a partir de uma série de dados de pluviometria e a frequência da mesma pode ser considerado para futuros estudos de prevenção e controle das inundações. Ferramentas simples para avaliar o desempenho da drenagem urbana podem auxiliar nas necessidades das empresas de serviços públicos. São analisados dois fatores: a quantidade de escoamento retido nas medidas de controle de águas pluviais com base nos

eventos; e a porcentagem de escoamento local anual. Foram criados métodos simples para avaliar esses dois indicadores para três tipos de medidas de controle de águas pluviais comumente usadas no planejamento de drenagem urbana, incluindo a conversão de superfícies impermeáveis em superfícies permeáveis, unidades de redução e unidades de detenção (LERER *et al.*, 2015; ANDERSEN *et al.*, 2017).

A fim de analisar a potencialidade do risco é necessário associar-se o conhecimento do perigo, da vulnerabilidade e da resposta aos desastres naturais, para a população enfrentar e recuperar-se de uma catástrofe, por meio de medidas preventivas com o objetivo de mitigar a quantidade de pessoas afetadas. Uma das ferramentas para análise de risco é o mapeamento de áreas de risco. Esses mapas podem auxiliar nas situações de emergência, como por exemplo, retirando a população de áreas suscetíveis aos desastres eminentes, contribuindo também no resgate da comunidade afetada (MARCELINO *et al.*, 2006).

O mapeamento de áreas de risco de inundações tem o objetivo de enquadrar o tipo de inundação em função dos diferentes definições e cenários. Pensando nisso, para cada componente desencadeador de inundação dá-se um peso de acordo com sua influência na magnitude das consequências. Da Hora e Gomes (2009) analisaram fatores naturais e antrópicos utilizando a Equação 12. De acordo com os dados do artigo analisado, foram estabelecidos os maiores pesos para densidade populacional e habitacional, pois a pesquisa enfatizou as áreas de ocupação consolidadas e subnormais. Os fatores naturais estão associados aos acontecimentos sem influência da atividade do homem, diferentemente dos fatores antrópicos que estão diretamente ligados com a intervenção humana. Os valores do período de retorno foram analisados em diferentes tempos de recorrência (2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos) para posteriormente cruzar os dados de TR das áreas atingidas por inundação características de uso e ocupação.

$$R = \sum TR * Vt * \left(\frac{(h*P1)+(D*P2)+(H*P3)}{\sum P} \right) \quad (12)$$

Em que:

TR = período de retorno

Vt = vulnerabilidade da tipologia (tipo de construção da residência: madeira, alvenaria, mista)

h = altura da lâmina d'água, atribuindo o peso P1 = 2

D = densidade populacional, atribuindo o peso P2 = 5

H = densidade habitacional, atribuindo o peso P3 = 3

3 METODOLOGIA

Após a revisão bibliográfica contendo os principais tópicos relacionados com o tema, verificou-se, nas pesquisas realizadas nos últimos dez anos, quais são as principais metodologias relacionadas a eventos hidrológicos e seu risco.

Este capítulo aborda a metodologia utilizada na coleta de dados e os fatores de perigo que estão sendo considerados neste trabalho, para posterior elaboração do mapeamento de risco de eventos hidrológico da cidade de Bauru.

3.1 Coleta preliminar de dados

Para gerar o gráfico com a quantificação dos eventos hidrológicos da cidade de Bauru, foi consultado o banco de dados no site do IPMET (Figura 21, Figura 22 e Figura 23).

Em seguida, selecionou-se primeiramente o período de 2000 a 2015 no município de Bauru para verificar o histórico de registros e definir o período de estudo. Considerou-se todos os fenômenos conforme nomenclatura do IPMet, como: granizo, ventos fortes/vendaval, chuvas fortes, raio, tornado, ciclone, frente fria/chuvas contínuas, chuvas moderadas, geadas e estiagem. Porém, ao concluir a busca no site, observaram-se somente os seguintes fenômenos: chuvas fortes, granizo, chuvas moderadas, raio, frente fria/chuvas contínuas e ventos fortes/vendaval.

Como resultado da pesquisa no banco de dados do IPMet foram gerados os gráficos apresentados na Figura 24, nos quais se nota que o fenômeno que vem ocorrendo com maior frequência ao longo dos anos na cidade de Bauru é o de chuvas fortes. O período de anterior a 2005 foi desconsiderado uma vez que foram observadas lacunas nas notificações/informações dos eventos.

Figura 21: Página de acesso aos fenômenos.

The screenshot shows the IPMet website interface. At the top left is the UNESP logo and the text "UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA 'JÚLIO DE MESQUITA FILHO' Câmpus de Bauru". At the top right are links for "Página Inicial", "Fale Conosco", and "Portal UNESP". Below the header is a blue navigation bar with "IPMet - Faculdade de Ciências". On the left is a vertical menu with items: "Instituição", "Cadastro", "Radar Cidades", "Imagem do Radar", "Radar PPI GIS", "Imagem do Satélite", "Boletim do Tempo", "Alertas no Twitter", "Previsão Numérica", "Estação Meteorológica", "Chuva Acumulada", "Chuva Diária", "Banco de Dados", and "Cooperação IPMet e". The main content area has the text "SIMPAT - SINAL - SOS / FINEP / IPMet" and "Sistema Integrado de Monitoramento, Previsão e Alerta de Tempestades para as Regiões Sul-Sudeste do Brasil". Below this is the heading "BANCO DE DADOS DE DESASTRES NATURAIS" and a search form titled "Busca no Banco de Dados". The form includes fields for "Data Início:" (01, 01, 2000), "Data Fim:" (31, 12, 2015), "Fenomeno:" (Todos), "Dano:" (Todos), "Estado:" (São Paulo), and "Cidade:" (Bauru), with a "Consultar" button.

Figura 22: Janela de acesso aos danos/ocorrências.

BANCO DE DADOS DE DESASTRES NATURAIS

This image shows a detailed view of the search form titled "Busca no Banco de Dados". It includes the same fields as Figure 21: "Data Início:" (01, 01, 2000), "Data Fim:" (31, 01, 2015), "Fenomeno:" (Todos), "Estado:" (São Paulo), and "Cidade:" (Bauru). The "Dano:" dropdown menu is expanded, showing a list of options: "Todos", "Sem informação", "Desabrigado(s)", "Desalojado(s)", "Ferido(s)", "Vítima(s) fatal(is)", "Queda de Barreira", "Queda de Árvores", "Transbordamento de Rios e Córregos", "Danos em Pontes", and "Inundações Graduais". A vertical scrollbar is visible on the right side of the dropdown menu.

Figura 23: Tela com o resultado de busca do site do IPMet

BANCO DE DADOS DE DESASTRES NATURAIS

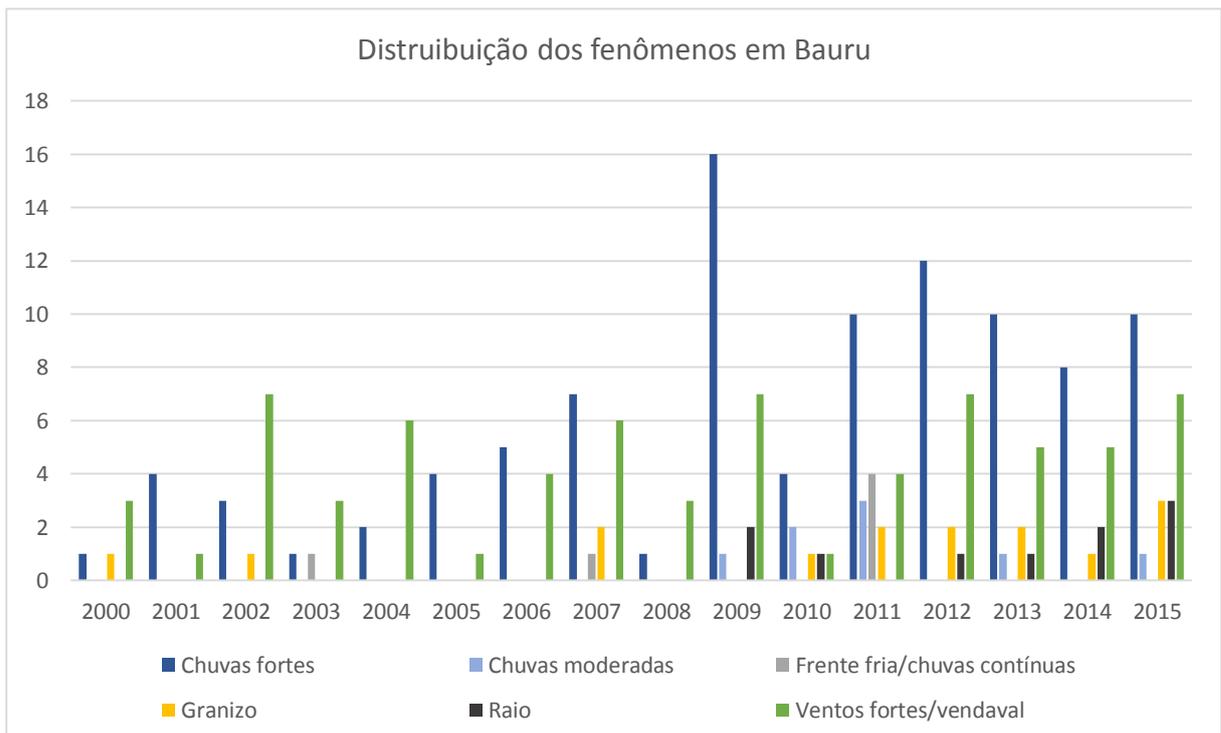
Busca no Banco de Dados

Data Início:	01 ▾	01 ▾	2000 ▾
Data Fim:	31 ▾	12 ▾	2015 ▾
Fenômeno:	Todos ▾		
Dano:	Todos ▾		
Estado:	São Paulo ▾		
Cidade:	Bauru		
<input type="button" value="Consultar"/>			

*Clique **Aqui** para fazer download destes dados no formato txt.*

Fonte: Defesa Civil
Data do evento: 26/03/2000
Hora: 18h30
Duração: 2h
Cidade: Bauru - SP
Endereço: Margens da Ferrovia no Jardim Prudência
Latitude: -22.3208
Longitude: -49.1099
Fenômeno(s): Chuvas fortes
Dano(s): 2 Víctima(s) fatal(is)
Total de Danos: 2
Total de Víctimas: 2

Figura 24: Distribuição dos fenômenos retiradas do banco de dados do IPMET para Bauru-SP



3.2 Período a ser considerado para análise dos dados

Em virtude do tema desastres naturais estar cada vez mais sendo discutido em trabalhos e na mídia, houve um amadurecimento nos últimos anos tanto na forma que os dados são coletados, como na maneira que são compilados. Nos anos anteriores a 2005, haviam desastres, porém estes não eram registrados de forma consistente. Desta forma, optou-se por desenvolver a pesquisa no período mais recente, usufruindo assim de uma metodologia de coleta mais consolidada.

Foram feitas buscas no site IPMet (<http://www.ipmet.unesp.br/>) - Banco de Dados Desastres Naturais, para o período de 2005 a 2015, na cidade de Bauru. Este banco de dados fornece informações referentes aos desastres naturais de todos os municípios do estado de São Paulo. Os fenômenos hidrológicos considerados de acordo com a nomenclatura do banco de dados do IPMet foram: transbordamento de rios e córregos, inundações graduais, enchentes, alagamentos, pessoa arrastada pela enxurrada e afogamento dentro da residência. Com este relatório foi gerada uma planilha com a data do dano, relacionado aos eventos hidrológicos e sua localização para a cidade de Bauru. Foi realizada uma consulta a fontes de informação (pluviômetros automáticos em diferentes pontos da cidade) para obtenção da precipitação referente às datas das ocorrências.

As informações obtidas no banco de dados do IPMet foram analisadas e complementadas com as informações faltantes ou inconsistentes para sua utilização no programa de SIG. Na planilha, por exemplo, haviam dias com eventos nos quais não constavam endereço e coordenadas (latitude, longitude). Portanto, foi necessária uma busca no jornal da cidade *on line* para verificar esses dias sem informação. Para o desenvolvimento deste trabalho, os locais foram separados por coordenadas onde ocorreram os eventos. Ou seja, os endereços que estavam agrupados em 1 dia, foram separados de acordo com sua localidade.

3.3 Preparação da base de dados

Para a análise cruzada dos dados na forma de tabelas e mapas, foram utilizados os *softwares* de SIG *TerraView* e QGIS pelo fato de serem gratuitos, cada um com sua particularidade. O mapa georreferenciado da cidade de Bauru na extensão dwg foi fornecido pela Prefeitura Municipal de Bauru.

A planilha resultante da consulta ao banco de dados do IPMet foi preenchida com as coordenadas faltantes em relação a alguns eventos hidrológicos registrados de forma incompleta, com o auxílio do Google Earth. No programa *TerraView* a planilha foi importada na extensão csv. A visualização no programa foi feita em uma camada com as coordenadas representadas por pontos juntamente com o mapa do município.

Para trabalhar com os mapas no *TerraView* foi necessário fazer a correção de cada mapa, conforme explicado a seguir. No desenho com extensão dwg, primeiramente foram salvos diferentes arquivos, cada um contendo uma camada (área verde, ruas, etc.). Em cada arquivo foi verificado, no AutoCad, se todos os polígonos existentes estavam fechados e se não havia nenhuma linha desenhada sobre outra linha. Após esta verificação do desenho, cada arquivo foi salvo na extensão dxf e aberto no programa QGIS (Figura 25), para ser salvo na extensão shp (shapefile), utilizada pelo *TerraView*.

No programa *TerraView* (Figura 26), foram importadas as várias camadas salvas para posteriormente se sobreponem as informações contidas em cada uma. Cada camada representa um assunto específico: os rios, a divisão de quadras da área urbana, a cobertura de terra, o limite do município, áreas verdes e as curvas de nível.

Foram necessárias algumas informações relevantes sobre cada um dos arquivos importados para o programa *TerraView*. Na Tabela 8, estão as definições de cada arquivo considerado e na Tabela 9 são apresentados os dados de entrada necessário para a transferência correta para o programa. Os *data* dos arquivos são diferentes devido à origem de cada um. Parte destes arquivos foram obtidos na Prefeitura Municipal de Bauru e outros elaborados pela autora. Este fato não interfere na pesquisa, pois as distorções de georreferenciamento são poucas, dado que a área analisada é relativamente pequena, uma vez que engloba apenas a cidade de Bauru. No programa *TerraView*, na vista criada e nomeada como Bauru,

foram criados os temas conforme Tabela 8, onde constam os nomes dados aos temas no *software* os quais não podem ter acentos, espaço e outros caracteres especiais.

Figura 25: Programa QGIS 2.16.2

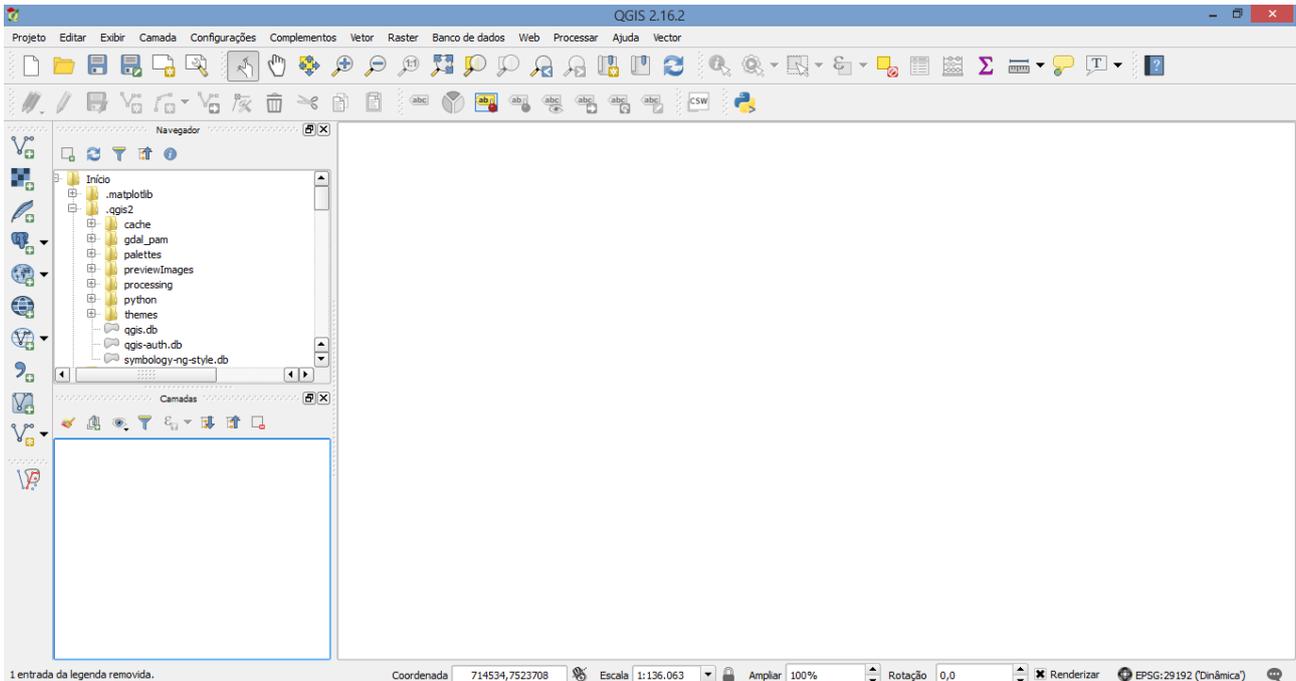


Figura 26: Programa TerraView

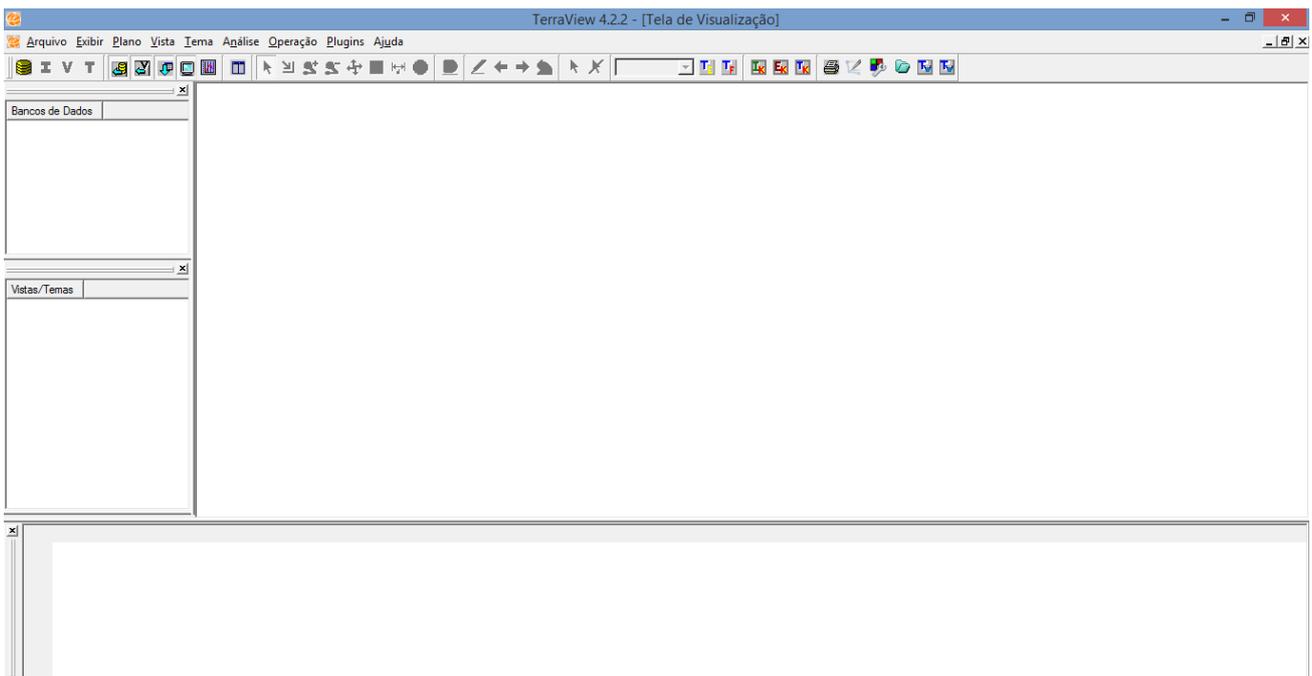


Tabela 8: Nome dos temas criados no software.

Nome do tema	Definição
Cnível	são as curvas de nível na área urbana;
PontosCota	são as cotas do terreno representada por pontos na área urbana e rural;
Bairros	divisão dos bairros do município;
Quadras	representam as divisões das quadras em Bauru;
Rios	representam os rios que atravessam o município;
Bacias	divisão das bacias
Verde	corresponde a área verde do município, incluindo praças, rotatórias com áreas permeáveis, área verde de condomínios...;
ZI_ambiental	é a zona de interesse ambiental, incluindo as Áreas de Preservação Ambiental;
Pontos_alag	é a representação na forma de pontos de alagamento na planilha gerada através do banco de dados do IPMet;
tipoB	representam os pontos com histórico de registro de inundações iguais a 1;
tipoC	representam os pontos com histórico de registro de inundações iguais a 2 ou 3;
tipoD	representam os pontos com histórico de registro de inundações iguais ou maiores que 4.
UsoSolo	representa a área urbanizada e a área rural

Tabela 9: Informações dos arquivos importados para o programa TerraView.

TEMA	TIPO DE REPRESENTAÇÃO	PROJEÇÃO	DATUM	FONTE	EXTENSÃO
Cnível	Linhas	latlong	WGS84	UNESP	.shp
PontosCota	Pontos	latlong	WGS84	UNESP	.shp
Bairros	Polígonos	UTM	SAD69/zona 22	PMB ¹	.shp
Quadras	Polígonos	UTM	SAD69/zona 22	PMB ¹	.shp
Rios	Linhas	UTM	SAD69/zona 22	PMB ¹	.shp
Bacias	Polígonos	UTM	SAD69/zona 22	PMB ¹	.shp
Verde	Polígonos	UTM	SAD69/zona 22	PMB ¹	.shp
ZI_ambiental	Polígonos	UTM	SAD69/zona 22	PMB ¹	.shp
UsoSolo	Polígonos	latlong	SIRGAS2000	Claudio José Ferreira ²	.shp
Pontos_alag	Pontos	latlong	WGS84	Autora	.csv
Tipo B	Pontos	latlong	WGS84	Autora	.csv
Tipo C	Pontos	latlong	WGS84	Autora	.csv
Tipo D	Pontos	latlong	WGS84	Autora	.csv
Quadrantes (1km ²)	Polígonos	UTM	SAD69/zona 22	Autora	.shp
Porcentagem de área verde	Tabela	UTM	SAD69/zona 22	Autora	.shp
Buffer Rios	Polígonos	UTM	SAD69/zona 22	Autora	.shp
Declividade	Tabela	latlong	WGS84	Autora	.csv

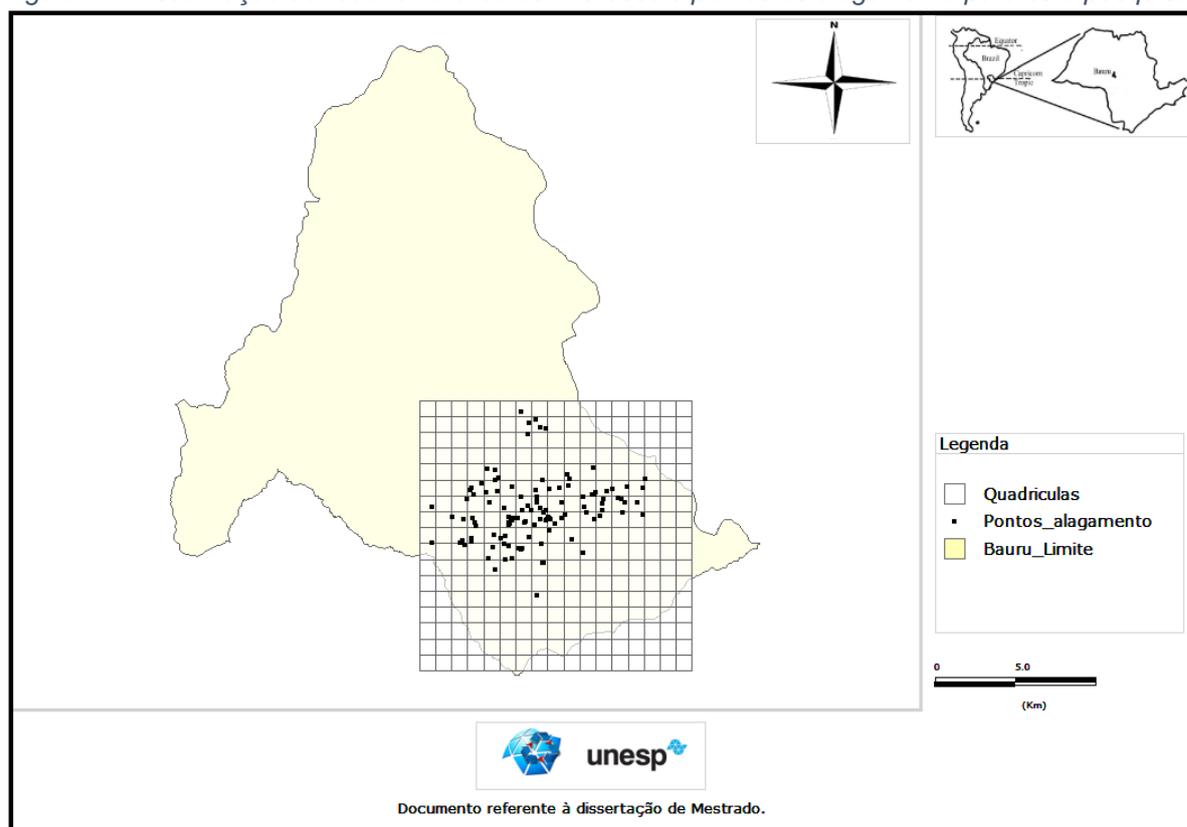
PMB¹: Prefeitura Municipal de Bauru.

Claudio José Ferreira²: pesquisador do Instituto Geológico de São Paulo.

A planilha completa com os dados de pontos de alagamentos foi agrupada por localização por meio da coluna endereços e o respectivo número de registros. A mesma planilha também foi agrupada de acordo com as coordenadas, latitude e longitude, para separar os pontos com maiores quantidades de registros no período de 2005 a 2015.

Os pontos de alagamento foram utilizados como parâmetro para a delimitação da área de estudo. No mapa foi criada uma malha quadriculada de 1km por 1km para sobrepor e avaliar as áreas que tiveram algum registro no período de evento relacionado à inundação (Figura 27). Os dados foram tabulados com o número de inundações por quadrícula e foram classificados pelo nível de risco, de inundação conforme o método adaptado de El Morjani (2011) e Ministério das Cidades (2007) – Tabela 10. A classificação teve como referência os intervalos utilizados pelo Ministério das Cidades, que utilizou os valores para um período de cinco anos. Da Hora e Gomes (2009) também utilizaram esta classificação em seus estudos na cidade de Itabuna (BA). Na presente pesquisa, o período de análise é de dez anos, ou seja, o dobro utilizado pelo Ministério das Cidades. Portanto, considerando que o valor máximo de histórico de inundações na tabela do ministério das cidades é igual a três, o máximo considerado para a presente pesquisa é igual a seis. El Morjani *et. al* (2007) e El Morjani (2011) fizeram pesquisas para períodos maiores que dez e, além disso, envolvendo vários países.

Figura 27: Visualização do recorte da área de interesse e pontos de alagamento para esta pesquisa.



El Morjani (2011), na Tabela 7 já reproduzida na revisão bibliográfica, classifica o número de inundações como “perigo de inundação”. Na presente pesquisa o número de inundações ocorridas de 2005 a 2015 foi utilizado como indicador de perigo de inundação naquela região. Dessa maneira, optou-se por nomear tal classificação como “Perigo de Inundação Histórica”.

Tabela 10: Classificação das áreas de risco.

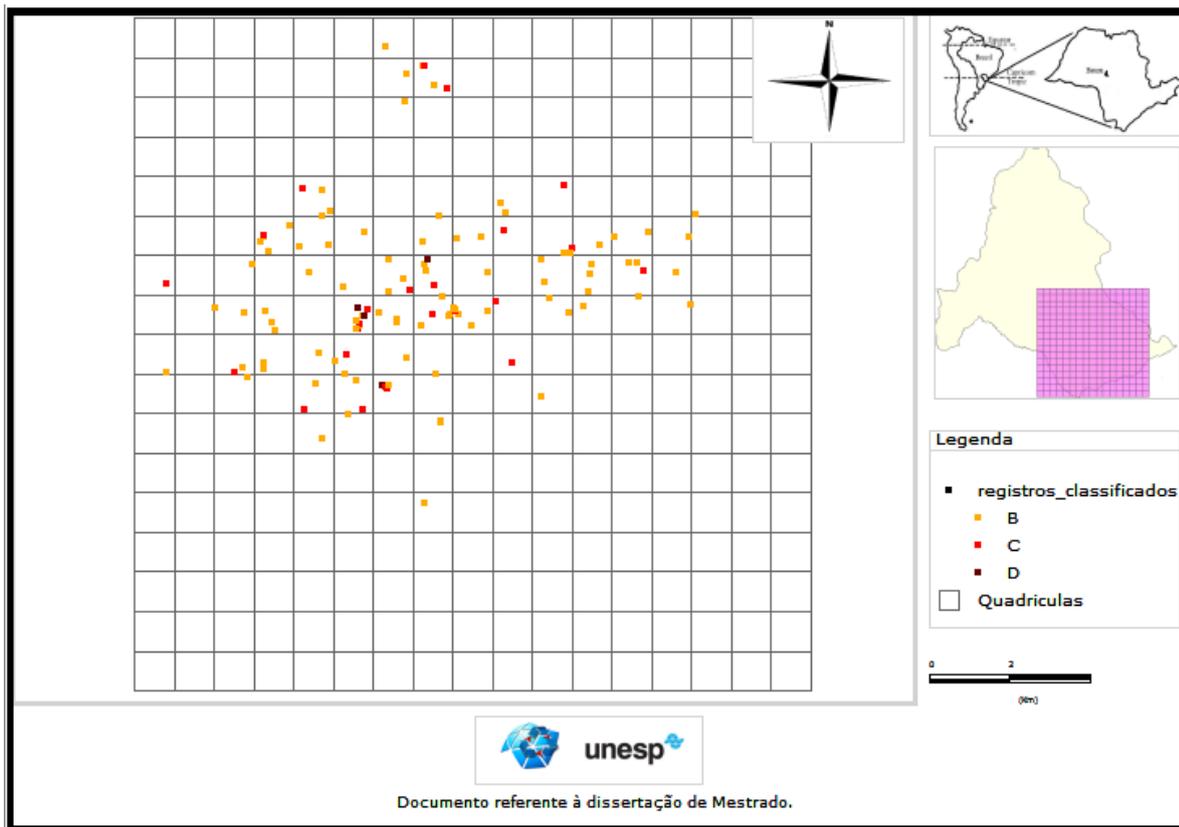
Número de inundações de 2005 a 2015	Perigo de Inundação Histórica	Nível de Perigo
0	Nenhum	A
1	Baixo	B
2 - 5	Médio	C
≥6	Alto	D

Fonte: adaptada de El Morjani (2011) e do Ministério das Cidades (2007)

Os pontos críticos relacionados ao número de ocorrências, Figura 28, foram marcados com uma letra. Cada letra com uma cor para identificar de maneira rápida

o nível de risco no mapa de cada área. Do total de 121 pontos de alagamento, apenas 4 foram classificados como de alto risco, letra “D”. A maioria dos pontos, 77% do total, foram classificados como “B”. 24 localidades foram classificadas como “C”, representando 20% do total de registros. Os pontos classificados como “A”, representa a área em branco do mapa, pois não tiveram registro de 2005 a 2015.

Figura 28: Mapa com pontos de alagamento após classificação.



3.4 Critérios antrópicos e ambientais

A partir da base de dados montada, o perigo foi analisado por meio dos seguintes fatores, de acordo com metodologia adaptada de El Morjani (2011) e Da Hora e Gomes (2009).

- Uso e ocupação do solo;
- Densidade populacional;
- Declividade;
- Área drenada;
- Distância do curso d'água;
- Número de ocorrência dos eventos relacionados à inundação e
- Período de retorno.

Importante ressaltar que a unidade geográfica de análise proposta é a quadrícula de 1 km².

3.4.1 Uso e ocupação do solo

A utilização de imagens de alta resolução disponibilizadas pelo Google Earth, além de serem gratuitas e de boa qualidade, são uma ferramenta que possibilita o acompanhamento do uso do solo no meio urbano em diferentes datas (FERNANDES *et al.*, 2014). O programa foi utilizado para atualizar o mapa de área verde fornecido pela Prefeitura Municipal de Bauru.

No programa *TerraView*, o mapa com as áreas verdes da cidade de Bauru, sobreposto à malha de 1 km por 1km feita sobre o mapa da cidade, foi utilizada para a verificação da delimitação da área urbana em estudo, conforme Figura 29. Calculou-se, em porcentagem, quanto há de área verde em cada quadrícula de 1km². Ou seja, a porcentagem de área verde contida em cada quadrícula do mapa da cidade foi calculada pelo programa *TerraView* sobrepondo as camadas. Outro fator considerado na análise de perigo foi a população ponderada por quadrícula, de acordo com os dados do IBGE do censo de 2010. As informações obtidas referentes à população estavam de acordo com a área censitária (Figura 30), por isso foi necessário o cálculo da área por quadrícula de 1km², executado novamente no *TerraView*.

Figura 29: Área verde considerada para análise de uso e ocupação do solo.

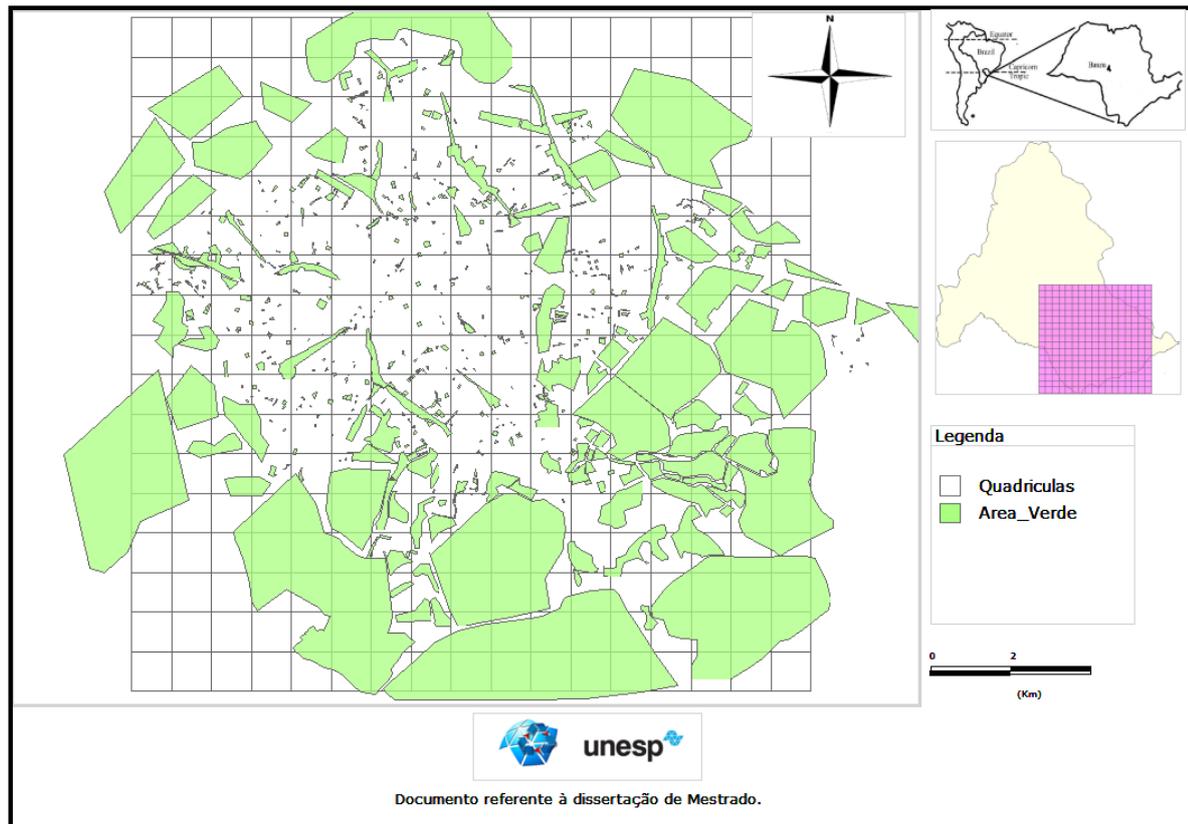
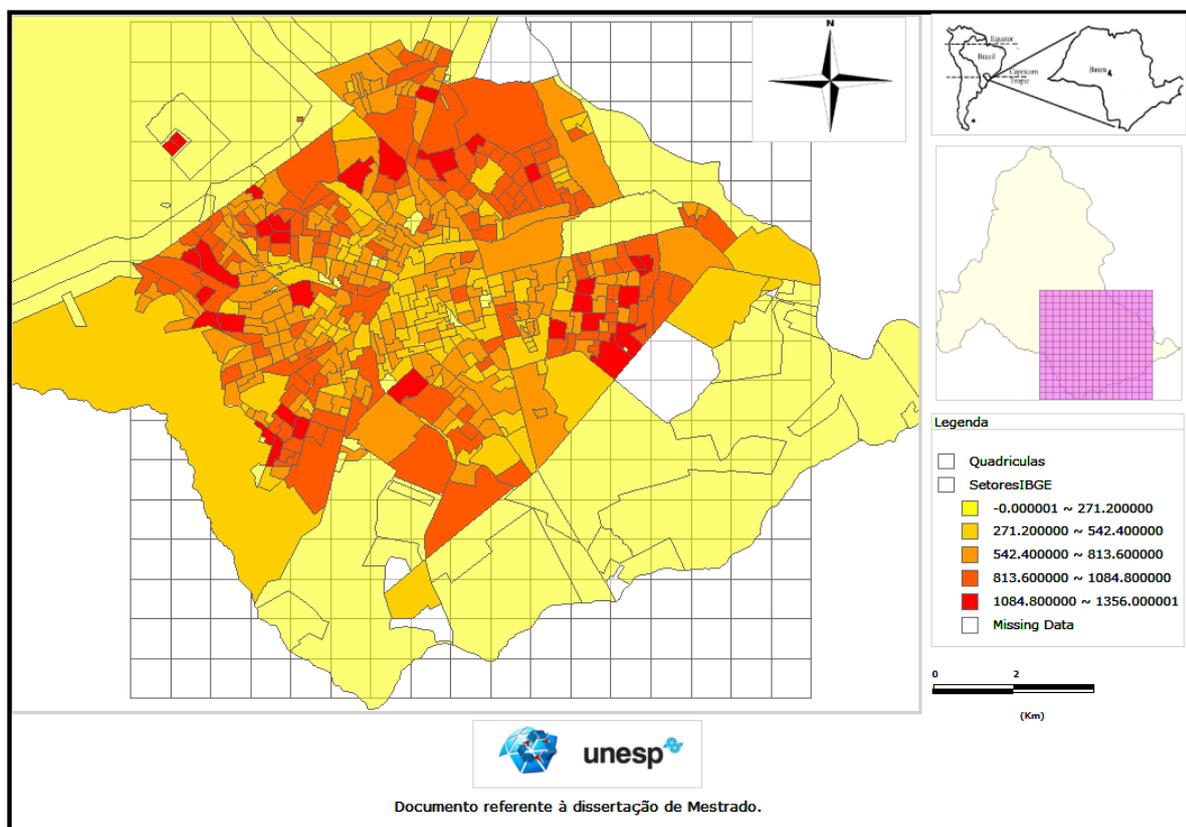


Figura 30: Mapa da População por setor censitário segundo dados do IBGE.



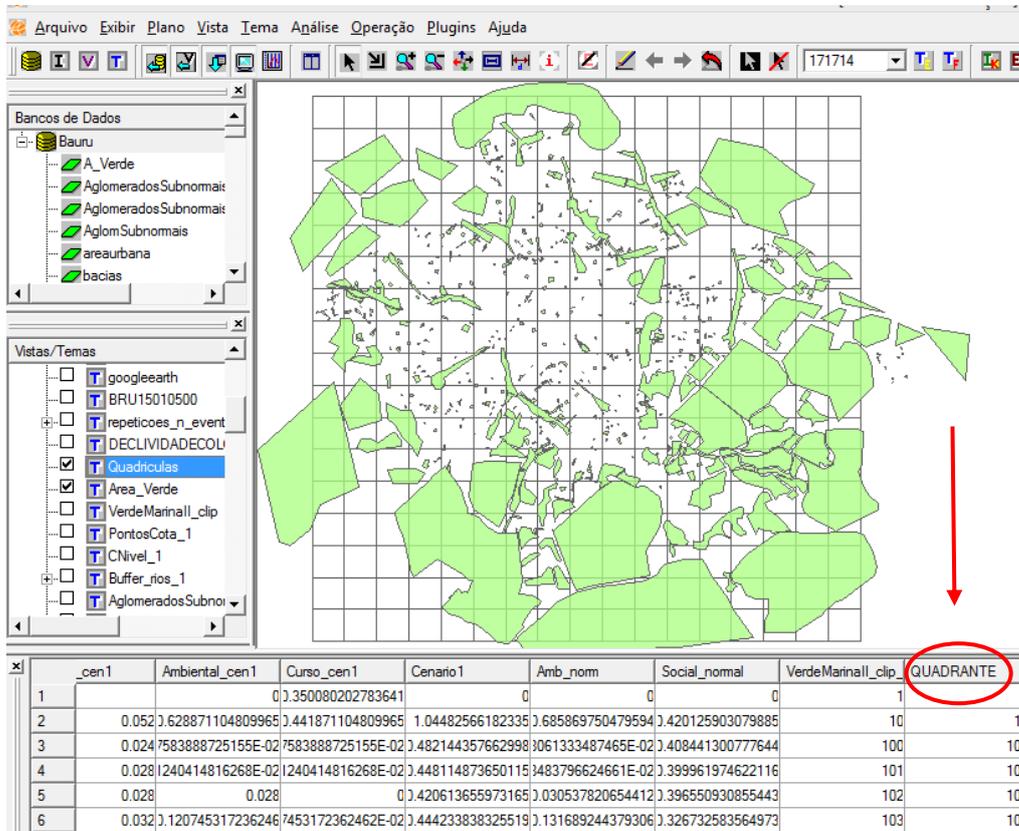
3.4.2 Declividade e área drenada

Com o auxílio do programa AutoCad e Excel, foi analisada cada quadrícula afim de se obter o valor da declividade por quadrícula. Primeiramente, as quadrículas foram renumeradas (Tabela 11 e Figura 31) porque o programa *TerraView* as numerou de forma aleatória, dificultando a rápida visualização. A numeração foi feita de baixo para cima, da esquerda para direita, deixando por último a primeira linha, apenas para manter algumas numerações feitas automaticamente pelo programa. O objetivo foi de facilitar a identificação de cada um para posterior lançamento dos resultados na planilha do programa *TerraView* (Figura 31).

Tabela 11: Numeração dos quadrantes (Malha 1 km x 1 km).

273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289
16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240	256	272
15	31	47	63	79	95	111	127	143	159	175	191	207	223	239	255	271
14	30	46	62	78	94	110	126	142	158	174	190	206	222	238	254	270
13	29	45	61	77	93	109	125	141	157	173	189	205	221	237	253	269
12	28	44	60	76	92	108	124	140	156	172	188	204	220	236	252	268
11	27	43	59	75	91	107	123	139	155	171	187	203	219	235	251	267
10	26	42	58	74	90	106	122	138	154	170	186	202	218	234	250	266
9	25	41	57	73	89	105	121	137	153	169	185	201	217	233	249	265
8	24	40	56	72	88	104	120	136	152	168	184	200	216	232	248	264
7	23	39	55	71	87	103	119	135	151	167	183	199	215	231	247	263
6	22	38	54	70	86	102	118	134	150	166	182	198	214	230	246	262
5	21	37	53	69	85	101	117	133	149	165	181	197	213	229	245	261
4	20	36	52	68	84	100	116	132	148	164	180	196	212	228	244	260
3	19	35	51	67	83	99	115	131	147	163	179	195	211	227	243	259
2	18	34	50	66	82	98	114	130	146	162	178	194	210	226	242	258
1	17	33	49	65	81	97	113	129	145	161	177	193	209	225	241	257

Figura 31: Visualização da camada contendo a malha sobre a área verde e identificação dos quadrantes no programa TerraView.



Para o cálculo da declividade, foi necessário adotar alguns parâmetros. Um deles foi considerar a diferença entre a maior e menor cota (AV) e a menor distância entre elas em cada quadrícula (Equação 13, Figura 32, APÊNDICE A). Além disso, foi analisado o fluxo de drenagem identificando-se as quadrículas de montante e jusante.

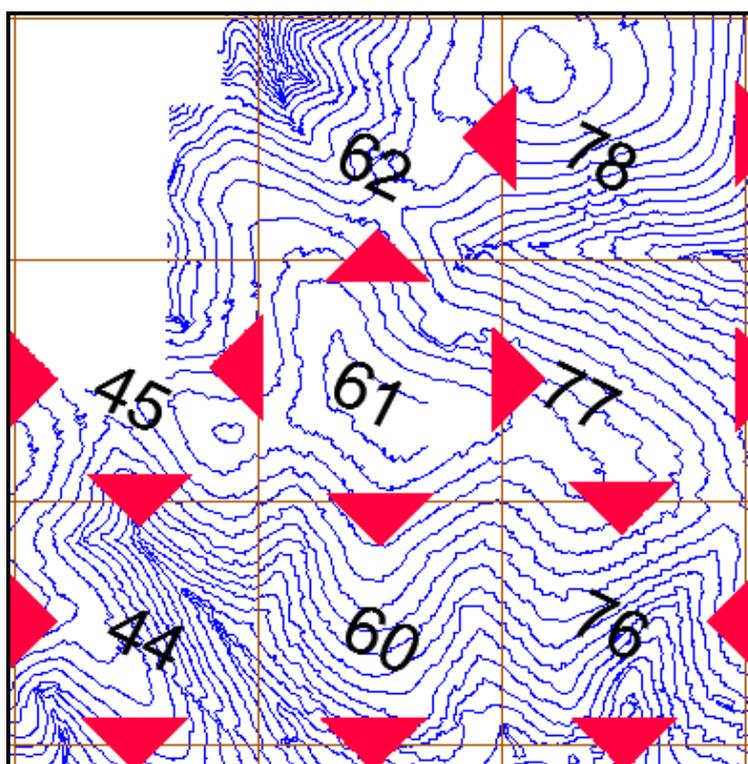
Para cada quadrícula analisou-se a quantidade de quadrículas drenadas. Uma quadrícula pode estar localizada em um ponto alto, ou divisor de água, e não receber água de nenhuma quadrícula. Já a água nela precipitada drenará para uma, ou mais quadrículas a jusante. Seguindo o caminhamento da água para cada quadrícula, anota-se o número da quadrícula de montante e de jusante, e os números das quadrículas que contribuem. Quanto mais elevado este número, maior será a área drenada e conseqüentemente a vulnerabilidade da quadrícula.

A Figura 32 mostra o mapa parcial com as curvas de nível e a malha (1km x 1km) que foi utilizado para calcular a declividade e a área drenada. A título de

exemplo, na Figura 32 e Tabela 12, a quadrícula número 61, por ter uma cota maior que as quadrículas vizinhas, tem um escoamento de água direcionado para as quadrículas: 62, 60, 77 e 45. Após esta análise o mapa com as curvas de nível e os resultados do cálculo de declividade e área drenada foram exportados para o software TerraView (Figura 33).

$$D = \frac{\text{Diferença de Cota}}{\text{Distância}} \quad (13)$$

Figura 32: Imagem do mapa parcial do AutoCad com as curvas de nível e a malha (1km x 1 km).

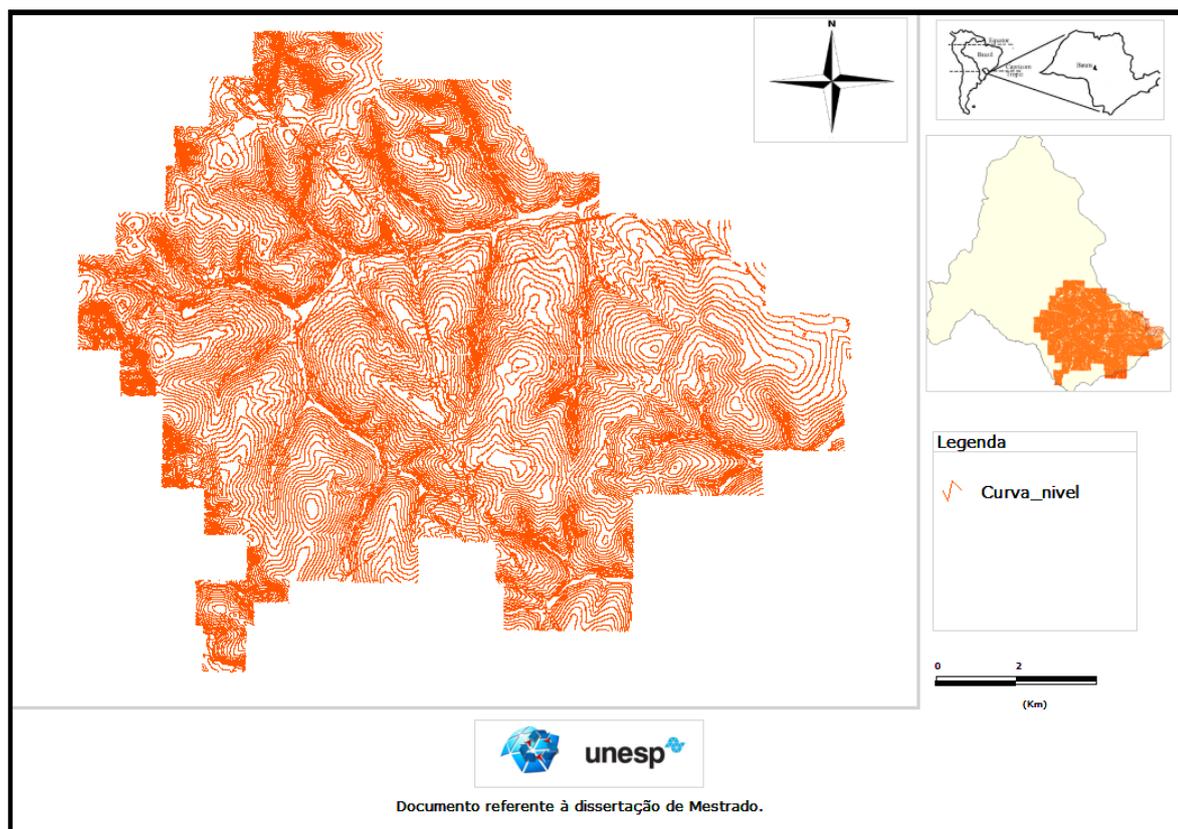


Fonte: Prefeitura Municipal de Bauru.

Tabela 12: Dados parciais analisados para o cálculo da declividade e da área drenada.

Q	maior cota (m)	menor cota (m)	AV	menor distância (m)	Declividade %	Q Jusante	Q Montante	A (km²)
60	600	535	65	876	7,42	59	61	2
61	600	575	25	676	3,70	62;60;77;45	na	1
62	600	525	75	878	8,54	na	61	2
63	600	520	80	915	8,74	na	47;79	2
70	605	555	50	933	5,36	54;86;71	na	1
71	600	565	35	698	5,01	72;87	70	2

Figura 33: Visualização das curvas de nível do município de Bauru no programa TerraView.



3.4.3 Distância do curso d'água

Para analisar zonas próximas aos cursos d'água, utilizou-se o mapa dos rios da cidade de Bauru (Figura 34). Por meio do programa *TerraView*, foram criados os “*buffers*” em torno dos rios (Figura 35). A zona de *buffer* foi definida como a área gerada em torno do rio com as seguintes distâncias pré-determinadas: de 0 a 100 metros; de 100 a 200 metros e de 200 a 300 metros.

Para cada quadrícula determinou-se qual a área contida em cada *buffer*.

Figura 34: Visualização dos rios do município de Bauru no programa TerraView.

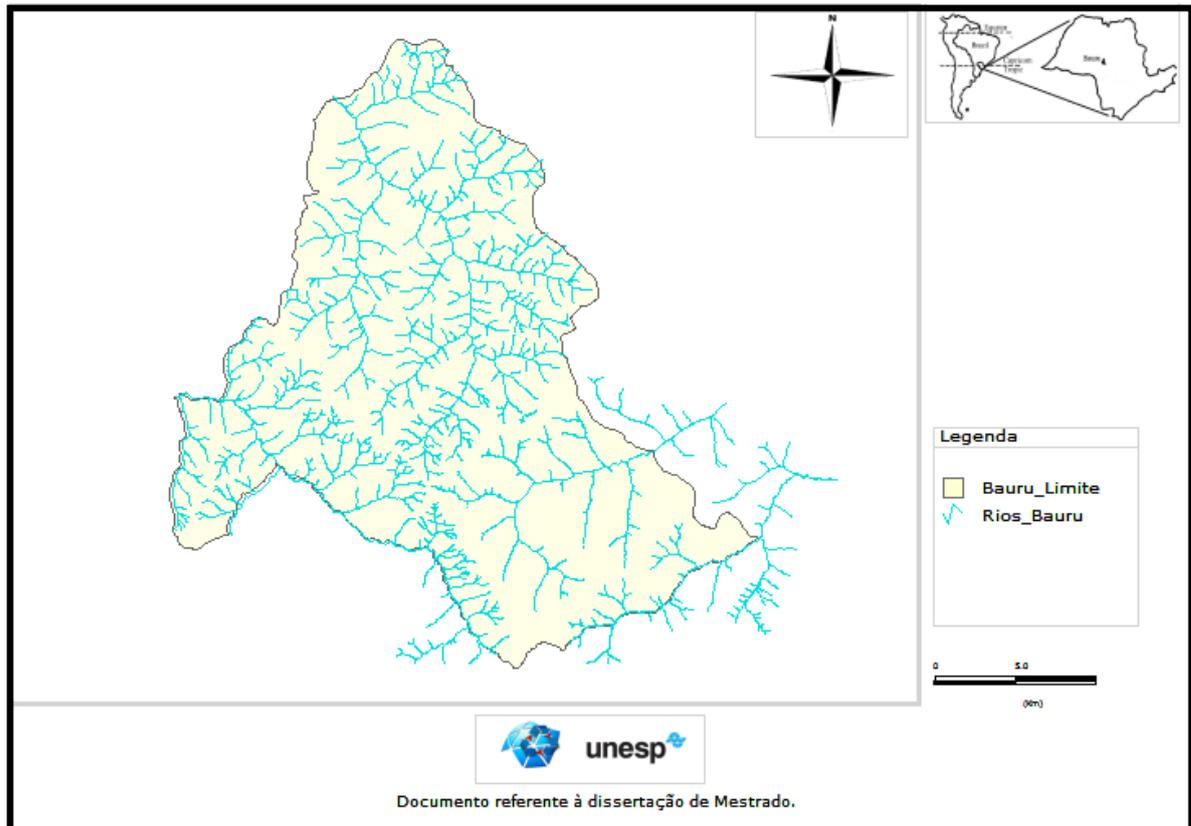
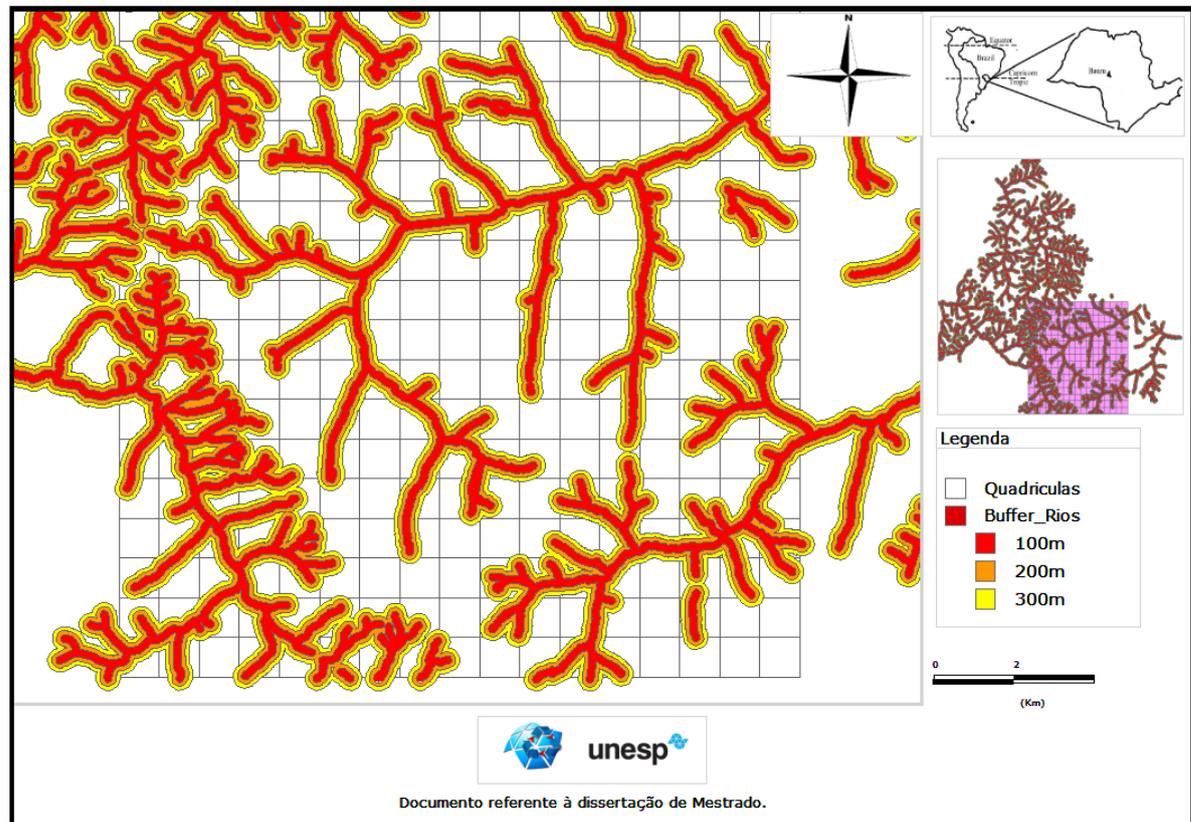


Figura 35: Visualização do Buffer criado em torno dos Rios a 100m, 200m e 300m.



3.5 Coleta de dados de precipitação

A coleta de dados de precipitação foi feita nos dias com registros de eventos no banco de dados de desastres do IPMet. Posteriormente, estes dados foram correlacionados aos outros fatores de perigo para elaboração do mapa final de risco. Portanto, foi necessário a coleta de dados de chuvas em todos pluviômetros automáticos disponíveis no município de Bauru exceto o do aeroporto, pois não era gratuito. As entidades relacionadas na Tabela 13 possuem no mínimo 1 pluviômetro automático para registro de precipitação.

A Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) da secretaria da agricultura, localizada na cidade de Bauru, possui em sua área descoberta da sede apenas 1 pluviômetro automático para registro. O Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet) possui 1 pluviômetro automático localizado no estacionamento próximo à entrada (Figura 36). Já a Emdurb (Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru) tem seu pluviômetro automático localizado no aterro sanitário de Bauru. A Duratex é uma empresa produtora de painéis de madeira e louças e metais sanitários localizada na cidade de Agudos na Fazenda Monte Alegre, a aproximadamente 15 km de Bauru, a qual também possui 1 pluviômetro automático. Por fim, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, possui 8 pluviômetros automáticos.

Em função dos dados disponíveis dos pluviômetros automáticos, conforme Tabela 13, foi determinado o período de estudo. De posse das datas fornecidas pelo banco de dados de danos do IPMET, foi consultado o volume de chuva informado no seu pluviômetro automático, na data dos eventos, para o cálculo do período de retorno desencadeador de cada um destes, resultando na Tabela do APÊNDICE C.

Os dados do pluviômetro automático fornecidos pela CATI não foram considerados para esta pesquisa porque, apesar de ter o período de interesse de análise desta pesquisa (de 2005 a 2015), seus dados não contemplavam os valores de chuva de 5 em 5 minutos, como do IPMet. Na planilha da CATI há apenas o total acumulado diário, não sendo assim possível o cálculo dos diferentes períodos de retorno. O pluviômetro automático da Duratex também foi desconsiderado por não ser este localizado em Bauru.

Tabela 13: Dados coletados dos pluviômetros automáticos

Pluviômetro quantidade	automático /	Período disponível	Cidade
CATI – 1		01/2000 a 12/2015	Bauru
IPMET – 1		01/1996 a 12/2015	Bauru
Emdurb – 1		09/2012 a 12/2015	Bauru
Duratex – 1		01/2004 a 12/2015	Agudos
CEMADEN - 8		01/2015 a 12/2015	Bauru

Figura 36. Pluviômetro automático do IPMet.



Fonte: arquivos pessoais.

3.6 Período de retorno

A planilha com as informações de precipitação do município de Bauru foi elaborada de acordo com as informações obtidas no IPMet, para o período de 2005 a 2015. As informações foram cruzadas com a planilha gerada do Banco de Dados da mesma instituição, relativa aos eventos hidrológicos ocorridos no mesmo período, contendo as datas que ocorreram algum dano devido à precipitação.

A partir de cada data com alguma ocorrência de danos devido à precipitação, foi consultada a planilha com os dados de volume de chuva coletado no pluviômetro automático do IPMet.

O volume acumulado de precipitação foi contabilizado para 10 minutos, 20 minutos e assim seguidamente até 60 minutos. Após este período, os valores foram sendo acumulados aos próximos 60 minutos, até um total de 480 minutos, ou seja, 8 horas, que corresponde a precipitação mais longa da série. Para cada um desses valores acumulados de chuva foi aplicada a Equação 2, que corresponde equação IDF para a cidade de Bauru. Após isso, gerou-se a tabela do APÊNDICE C, na qual constam todos os tempos de retornos calculados (TR), o tempo de retorno máximo para cada dia (TRMax) e a probabilidade de ocorrência do evento (1/TRMax), conforme a Equação 14:

$$P = 1/TR \quad (14)$$

Em que:

P= probabilidade de ocorrência do fenômeno

TR= período de retorno

A definição do “Perigo” associado à probabilidade de ocorrência do evento foi empregada por Da Hora e Gomes (2009) e foi adotado nessa pesquisa.

Dessa maneira, calculou-se o TRMax e a probabilidade de ocorrência do evento para (1/TRMax) para cada dia, resumidos no APÊNDICE C. Porém, os dados relativos aos períodos de retorno, para serem espacializados em forma de mapa a compor os fatores de risco, deveriam estar ligados a pontos georreferenciáveis (latitude e longitude) e não a dias. De tal sorte, foi confeccionado o APÊNDICE D, contendo o cálculo do TRMax acumulado e sua probabilidade. Para cada ponto e cada dia onde houve uma ocorrência, foi somado o TRMax daquele dia, e calculada sua probabilidade conforme a Equação 13. Exemplificando, se uma determinada

localidade apresentou ocorrências em 5 dias diversos, todos os TRMax destes dias foram somados e atribuídos ao ponto georreferenciado, bem como a sua probabilidade sobre essa soma de TRMax.

3.7 Definição dos critérios ponderáveis para gerar mapa de perigo

A determinação de locais críticos devido aos eventos hidrológicos na cidade de Bauru-SP foi realizada utilizando-se o banco de dados de desastres naturais do IPMet, combinados às técnicas de geoprocessamento. Na metodologia utilizada nesta pesquisa foram levados em consideração três grupos: o antrópico, o ambiental e o perigo envolvido, cada qual composto por seus devidos fatores. Cada fator enseja a utilização de um peso que determina sua relevância perante os demais. Para se utilizar o método proposto por Saaty (1977), relativamente à Análise Hierárquica de Processos (AHP), seria necessário o envolvimento de profissionais de cada área para a atribuição de pesos aos fatores. Essa análise, embora consolidada no meio científico, traz consigo ambiguidades, uma vez que a vantagem de se incorporar diferentes visões de um assunto complexo também acaba gerando alguns problemas tais como: dificuldade de se obter as respostas dos especialistas; a não garantia na compreensão do questionário por parte dos especialistas; e finalmente a incerteza se a ponderação das diferentes visões está contemplada no universo das respostas dos especialistas.

Dessa maneira, nessa pesquisa foi adotada uma metodologia um pouco diferente. Os parâmetros utilizados para análise foram agrupados em perigo envolvido, critérios ambientais e antrópicos. Da mesma forma que na análise multicritério, os pesos foram ponderados em escalas normalizadas. Os critérios antrópicos e ambientais foram considerados de maneira equânime.

Dessa maneira, a Tabela 14 resume os valores atribuídos aos critérios social e ambiental, e também ao fator de perigo envolvido, que é o número de eventos hidrológicos registrados no período de 2005 a 2015 associado aos diferentes períodos de retorno calculados para o mesmo período, conforme Tabela 14.

Tabela 14: Grupos dos fatores de perigo que compõem a equação de risco com os respectivos pesos.

Grupos	Fator de perigo	Pesos
Critério Antrópico	Uso e ocupação	0,5
	População ponderada	0,5
Critério Ambiental	Buffer Rio de 0 a 100m	1
	Buffer Rio de 100 a 200m	0,8
	Buffer Rio de 200 a 300m	0,6
	Buffer Rio > 300m	0
	Área Drenada	0,3
	Declividade	0,4
Perigo envolvido	Nº de Eventos Hidrológicos	1
	Período de Retorno	1

Conforme dados da Tabela 14, os critérios antrópicos e ambientais foram calculados seguindo os respectivos pesos (Equação 15 e Equação 16).

$$C_{ANT} = 0,5.U_O + 0,5.P_P \quad (15)$$

Em que:

C_{ANT} = critério antrópico

U_O = uso e ocupação

P_P = população ponderada

$$C_{AMB} = 0,3.R_B + 0,4.D + 0,3.A_D \quad (16)$$

Em que:

C_{AMB} = critério ambiental

R_B = Buffer dos rios

D = Declividade

A_D = Área drenada

Os resultados dos critérios: social e ambiental, foram somados e multiplicados pelo número de eventos hidrológicos totais por quadrícula e também pelo valor de probabilidade do período de retorno. A probabilidade foi considerada

conforme metodologia utilizada por Da Hora e Gomes, 2009. A equação de risco foi uma adaptação da metodologia de Cordeiro (2014), (Equações 17 e 18), pois o número de eventos registrados associados à probabilidade do período de retorno, foi considerado o perigo envolvido.

$$R = (Pe) * (C_{ANT} + C_{AMB}) \quad (17)$$

Em que:

R= risco

Pe= perigo envolvido

C_{ANT}= critério antrópico

C_{AMB}= critério ambiental

$$Pe = N * \sum_{i=1}^n P_{tr} \quad (18)$$

Em que:

Pe= perigo envolvido

N= número de eventos hidrológicos totais por quadrícula

P_{tr}=probabilidade do período de retorno de uma localidade dentro da quadrícula

i=número de localidades com ocorrência dentro de cada quadrícula

N= número de pontos com ocorrência dentro da quadrícula

Para fazer as comparações dos critérios, foi necessário a realização da normalização para uma mesma escala conforme a Tabela 15. A normalização citada foi realizada através de uma interpolação linear entre os valores máximos e mínimos dos fatores de perigo indicados na Tabela 15. Com tais valores foi formado um sistema, com duas equações, relativas ao ponto de máximo e mínimo de cada variável. Considerou-se que para o ponto onde x=0, o valor de y é igual ao valor mínimo dos fatores de perigo, ao passo que no ponto onde x=1, tem-se que o valor dos fatores seria o máximo. A solução de tal sistema de equações resulta nas constantes “a” e “b” da equação geral da reta (Equação 19). De tal modo é possível

isolar x, fazendo com que a variabilidade dos fatores de perigo normalizados permaneça entre 0 e 1.

Tabela 15: Normalização dos valores dos fatores de perigo

Fator de perigo	unidade	Mínimo	Máximo	Normalização/Função
Uso e ocupação	m ²	0	1.000.000	$x=(1.000.000-y)/1.000.000$
População ponderada	unid.	0	6.923,745759277728	$x=y/6.923,745759277728$
Buffer Rio de 0 a 100m	m ²	0	627.719,3	$x=y/627.719,3$
Buffer Rio de 100 a 200m	m ²	0	396.404,7	$x=y/396.404,7$
Buffer Rio de 200 a 300m	m ²	0	329.908,5	$x=y/329.908,5$
Área Drenada	km ²	1	6	$x=(1/5)*y-(1/5)$
Declividade	%	3,38	40,93	$x=(1/37,55)*y-(3,38/37,55)$
Nº de Eventos Hidrológicos	unid.	0	38	$x=y/38$
Probabilidade de Período de Retorno	anos	0	17,61	$x=y/17,61$

$$y = ax + b \quad (19)$$

A partir destes critérios foram elaborados, usando as ferramentas SIG, dois mapas com os respectivos fatores de perigo, que foram mesclados usando a Equação 17, após normalização do resultado de cada critério.

3.8 Análise da intensidade da precipitação considerando as imagens de radar

A análise conjunta dos fatores de influência e as respectivas informações do banco de dados, pluviômetros automáticos e imagens de radar foram elaborados para comparação dos dados obtidos, avaliando a possibilidade da utilização do radar para o cálculo do perigo.

Na planilha gerada com os dados de 2005 a 2015, foi considerado apenas o ano de 2015, nos dias em que ocorreu algum registro. A escolha do ano de 2015 deve-se pela disponibilidade dos dados dos pluviômetros automáticos do CEMADEN, e do IPMet.

Na Tabela 16 estão as datas que foram consideradas inicialmente para possíveis comparações entre imagens de radar e pluviômetros automáticos, porém observa-se que não são todas as datas que possuem dados dos 8 pluviômetros automáticos do CEMADEN (Tabela 17 no final do capítulo). Os pluviômetros

automáticos foram implantados em 2015, cada qual em uma data. Portanto muitos eventos do início do ano não foram registrados por todos os instrumentos.

Dessa forma, no capítulo de resultados, será apresentada a análise que foi cabível, para a data escolhida de 17/11/2015.

Solicitou-se também ao IPMet as imagens de radar obtidas para Bauru/SP (lat 22°21'28" e lon 49°01'36"), com o CAPPI de 3,5 Km, que é a altura considerada como padrão. Após receber as informações do IPMet em forma de vetor (Figura 37), os dados foram transpostos para uma matriz (Figura 38). A matriz foi recortada, pois utilizou-se apenas a área que cobre a cidade de Bauru. Para fazer este recorte, foram consideradas as coordenadas do pluviômetro automático e as coordenadas das extremidades da malha de 1km x 1km, conforme esquema da Figura 39.

Tabela 16: Datas consideradas para comparação de imagem de radar e pluviômetros automáticos.

BAURU

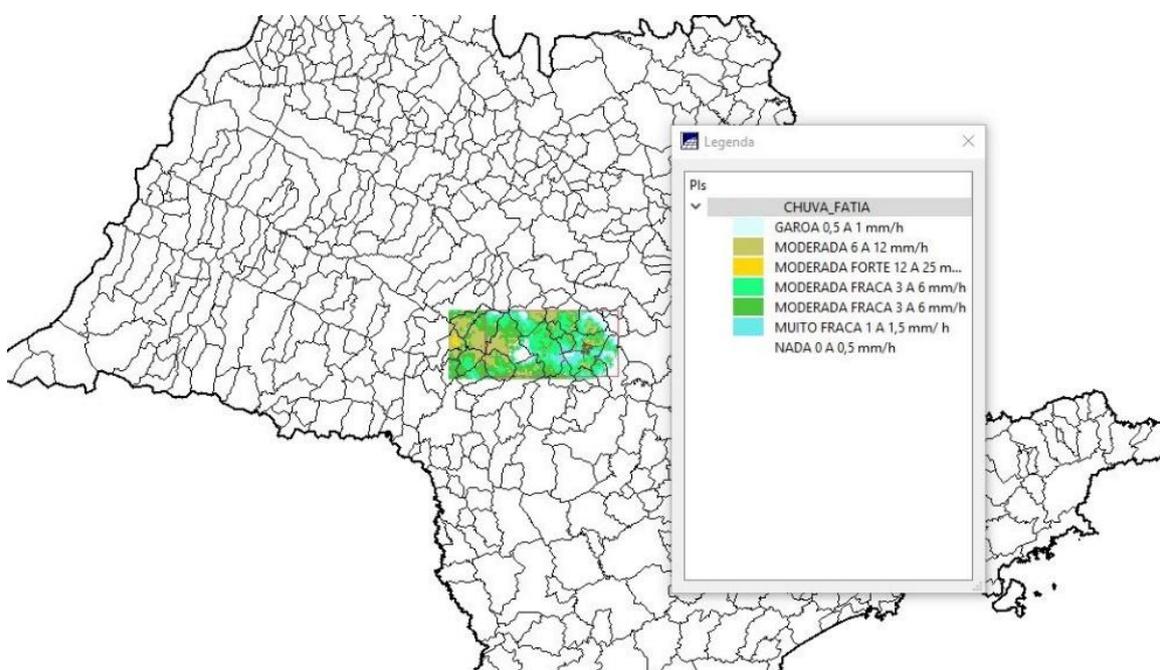
05/01/2015	10/05/2015
07/01/2015	25/09/2015
14/01/2015	17/11/2015
21/01/2015	23/11/2015
21/01/2015	24/11/2015
09/02/2015	10/12/2015
07/03/2015	25/12/2015
21/04/2015	28/12/2015

Figura 37: Dados vetoriais referentes ao radar.

Nome	Tarefa	
1HR_SRI32_16	VOL_SCAN	
Ponto (1,1) -> canto inferior esquerdo		
Linha (lat)	Coluna (lon)	milímetros
2	225	0.5340
2	226	0.5900
2	227	0.9820
2	228	1.0480
2	229	1.0480
2	230	1.0430
2	231	0.9840
2	232	0.8220
2	233	0.7980
2	234	0.7980
2	235	0.8250
2	236	0.9930
2	237	0.9970
2	238	0.9930
2	239	0.9020
2	240	0.3550
2	241	0.2630
2	242	0.2710
2	243	0.4770
2	244	1.4670
2	245	1.8040
2	246	1.8180
2	247	1.6940
2	248	1.4860

De posse dos pontos com os dados de chuva em dbz na matriz, foram geradas tabelas com a intensidade de precipitação com as equações 3 e 4 de Marshall-Palmer e Calheiros, respectivamente. Na Figura 40 observa-se a imagem gerada com os dados da matriz.

Figura 40: Imagem gerada a partir de informações matriciais.



O ano de 2015 foi escolhido para fazer a comparação de dados de precipitação de pluviômetros automáticos pois no site do CEMADEN só estão disponíveis os dados de pluviômetro automático do ano de 2015. Dentre os dias que tiveram algum registro no banco de dados do IPMet, foram selecionados os dias nos quais havia dados disponíveis nos 8 pluviômetros automáticos do CEMADEN. Conforme apresentado na Tabela 17, foram analisados os horários da precipitação registrada em cada pluviômetro automático, para posteriormente selecionar a data crítica para elaborar mapas temáticos oriundos de dados coletados de imagem de radar.

Tabela 17: Horário das chuvas nos pluviômetros automáticos do CEMADEN e do IPMet.

DATA-Bauru	IPMet (pluv)	CEMADEN 1	CEMADEN 2	CEMADEN 3	CEMADEN 4	CEMADEN 5	CEMADEN 6	CEMADEN 7	CEMADEN 8
		<i>Jd Eldorado</i>	<i>Jd Ferraz</i>	<i>Tibiriça</i>	<i>Regional Adm. São Geraldo</i>	<i>Rio Batalha</i>	<i>Vila Maracy</i>	<i>Vila Pacífico</i>	<i>Bauru</i>
05/01/2015	17:10 às 19:55	20:20 às 23:50	14:40 às 23:50	20:40 às 22:40	0	0	0	0	0
07/01/2015	21:05 às 21:30	19:40 às 22:30	20:10 às 22:50	21:10 às 22:30	0	0	0	0	0
14/01/2015	0	0	18:00 às 18:10	0	0	0	0	0	0
21/01/2015	19:50 às 20:20	22:40 às 23:10	22:30 às 23:00	0	0	0	0	0	0
09/02/2015	20:00 às 22:15	22:10 às 23:50	22:20 às 23:50	23:20 às 23:50	0	0	0	0	0
07/03/2015	12:20 às 15:50	16:20 às 18:40	16:20 às 18:40	16:10 às 18:20	0	0	0	0	0
21/04/2015	20:50 às 21:50	23:30 às 23:50	0	23:40 às 23:50	23:40 às 23:50	0	0	0	0
10/05/2015	17:45 às 19:50	0	0	18:40 às 23:10	18:40 às 23:00	0	0	0	0
25/09/2015	21:40 às 22:40	0	0	0	0	0	23:20 às 23:50	0	0
17/11/2015	2:10 às 4:35 e 16:00 às 18:00	19:40 às 21:50	19:40 às 22:00	04:30 às 07:10	05:00 às 07:30	19:20 às 21:50	19:30 às 21:40	19:20 às 21:40	05:10 às 07:30
23/11/2015	12:45 às 17:15	16:10 às 21:00	15:50 às 20:50	16:30 às 20:50	16:10 às 20:50	15:40 às 21:00	15:50 às 21:00	16:00 às 20:50	16:00 às 20:40
24/11/2015	9:05 às 11:25	07:30 às 17:50	08:20 às 14:40	07:50 às 20:10	08:20 às 14:40	08:20 às 14:40	08:30 às 14:40	08:20 às 14:30	08:30 às 14:50
10/12/2015	5:55 às 7:05	09:00 às 11:20	09:00 às 11:20	09:10 às 11:10	09:10 às 11:20	08:50 às 11:30	09:00 às 11:40	08:50 às 11:10	09:10 às 11:20
25/12/2015	11:20 às 12:15	0	0:00 às 01:00	00:10 às 02:00	14:50 às 16:40	00:20 às 01:30	14:20 às 15:20	00:00 às 00:10	14:40 às 15:10
28/12/2015	16:55 às 19:00	18:50 às 22:10	19:00 às 22:10	19:40 às 21:20	19:50 às 22:30	19:00 às 21:50	19:10 às 22:30	19:00 às 22:00	19:00 às 23:20

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Após a coleta de dados e sua preparação para análise utilizando-se as ferramentas descritas no capítulo anterior, chegou-se aos resultados ora analisados.

4.1 Pontos de eventos hidrológicos x Mapas georreferenciados

No APÊNDICE B apresenta-se a compilação de ocorrência de eventos, seu endereço, número de repetições já associados ao nível de risco conforme Tabela 10.

De acordo com os dados apresentados nos APÊNDICE B e D, os 209 registros do banco de dados de eventos hidrológicos do IPMet, no período de 2005 a 2015, ocorreram em apenas 121 localidades, ou seja, existem endereços com mais de uma ocorrência. A maioria delas, totalizando 93, são os pontos classificados como de baixo perigo com relação ao histórico de desastres de eventos hidrológicos, pois tiveram apenas 1 registro em 10 anos. 24 localidades do município são classificadas como nível de perigo médio, pois apresentaram entre 2 e 5 registros em 10 anos. Já os pontos que apresentaram mais de 6 registros no período, são classificados como nível de perigo alto.

Após classificar esses registros, a Tabela do APÊNDICE B foi transferida para o programa *TerraView* para visualização desses pontos no mapa de Bauru. Observa-se no mapa que os pontos críticos concentram-se no centro da cidade, onde há maior densidade populacional e também mais áreas pavimentadas, dificultando a infiltração da precipitação no solo (Figura 41 e Figura 42).

Figura 41: Visualização dos pontos de alagamento da cidade de Bauru gerada de acordo com as coordenadas da Tabela elaborada a partir do banco de dados do IPMet.

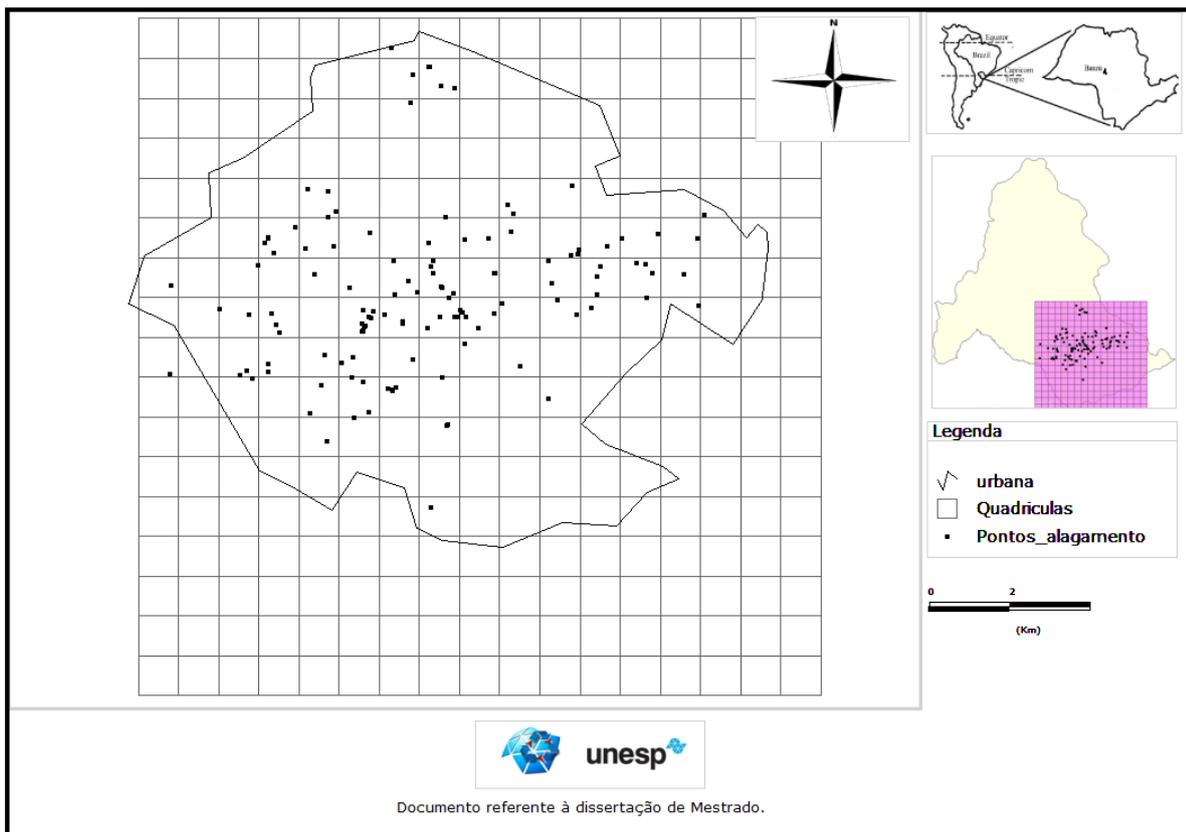
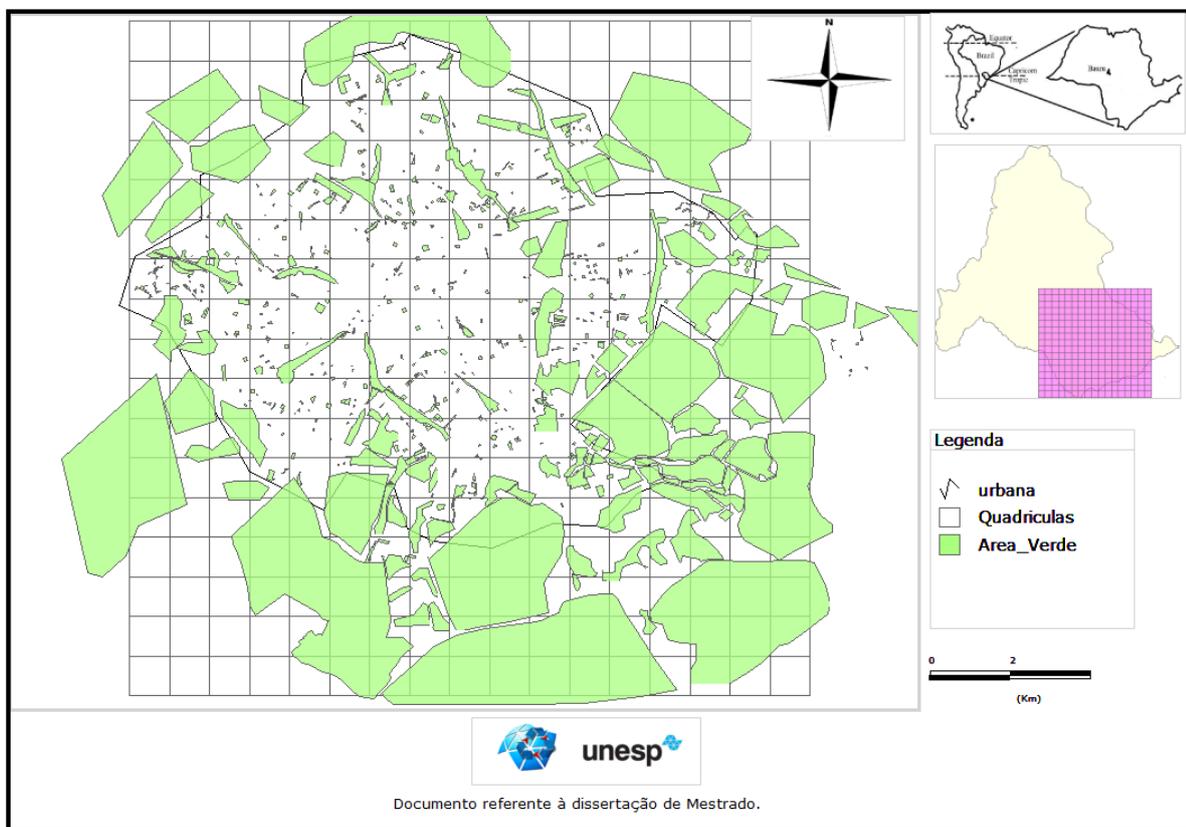


Figura 42 Visualização da área verde da cidade de Bauru no programa TerraView.



4.2 Mapas temáticos dos fatores relacionados aos eventos hidrológicos

Neste tópico, apresenta-se em forma de tabelas, esquemas e mapas os dados envolvidos para a elaboração dos mapas de critérios ambientais e antrópicos e o mapa resultante do somatório destes últimos itens associado ao perigo envolvido.

Conforme Tabela 14, os fatores considerados para critérios ambientais foram a declividade do terreno, a área drenada nas quadriculas e as áreas próximas a cursos de água. Para a declividade foi utilizado o maior peso dentro do grupo, 0,4, mas este fato não influenciou tanto, pois o terreno da área em estudo tem 92,3% de área no intervalo de 0-8, considerado plano (Figura 43 e Tabela 18).

Figura 43: Mapa de declividade na área de estudo de Bauru.

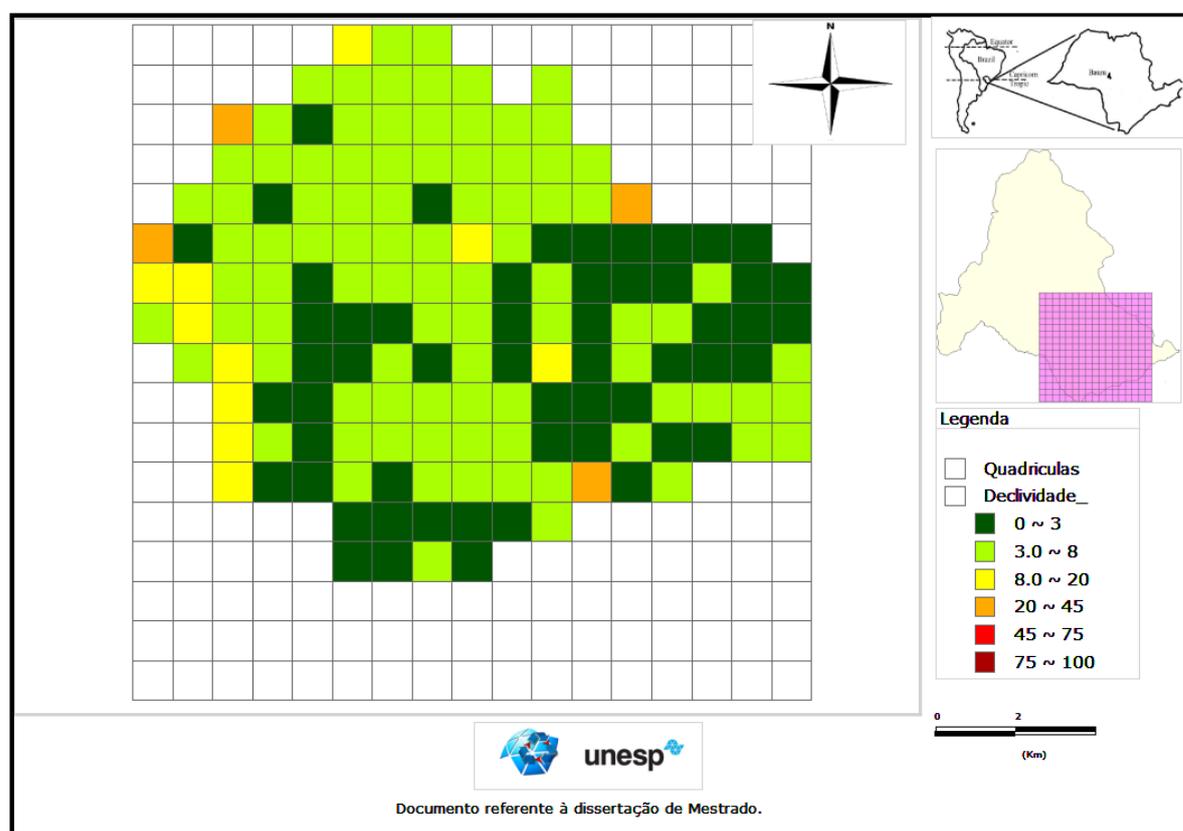


Tabela 18: Área total do mapa em estudo para cada intervalo declividade.

Declividade (%)	Área (%)
0 -3	35,25
3-8	57,05
8-20	5,12
20-45	2,56
45-75	0
≥75	0

Os resultados apresentados na Figura 45, representam em forma de mapas os dados cruzados para obtenção do resultado dos critérios ambientais.

Os critérios ambientais, como visto, contemplam os seguintes fatores: distância do curso d'água, declividade do terreno e área drenada. De acordo com o mapa da Figura 46, locais que estão em vermelho representam um valor maior de vulnerabilidade em relação aos demais.

O mapa dos critérios ambientais é composto por uma malha dividida em quadrículas de 1km x 1km que foi sobreposta à cidade de Bauru. A dimensão das quadrículas foi definida pensando-se em uma solução cabível para análise individual de cada uma destas. Esta malha foi elaborada baseando-se nos pontos da cidade onde houve algum registro de desastre devido a eventos hidrológicos.

Nos mapas de perigo que foram elaborados nesta pesquisa, utilizou-se cinco intervalos de perigo, conforme Figura 44

Figura 44: Legenda utilizada nos mapas dos critérios antrópicos e ambientais com o perigo correspondente.



Figura 45: Sobreposição dos mapas para elaboração dos critérios ambientais.

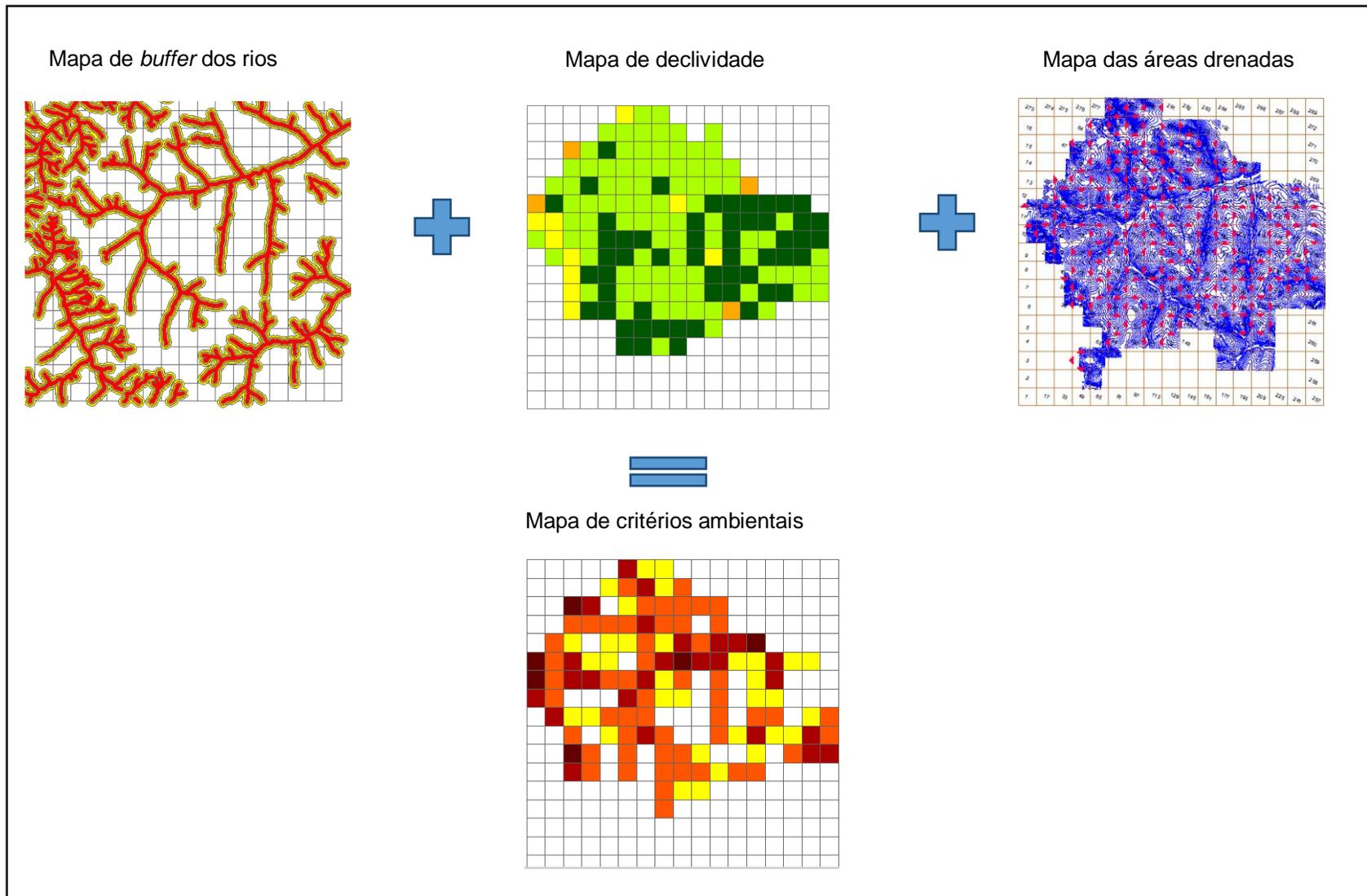
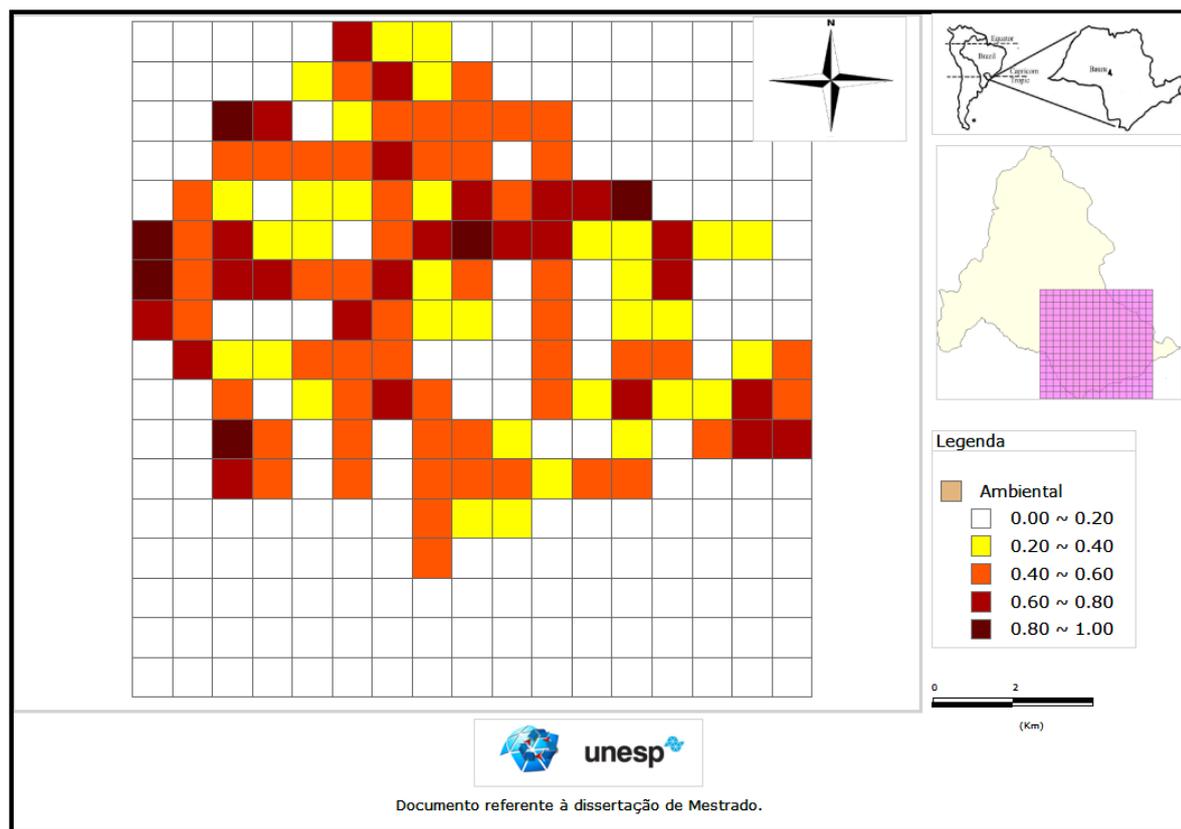


Figura 46: Mapa resultante dos critérios ambientais na cidade de Bauru.



Percebe-se que os locais mais críticos são os mais próximos ao curso d'água, com maior probabilidade de ocorrência de eventos hidrológicos. E isso se confirma quando fazemos a sobreposição de imagens dos rios sobre este mapa (Figura 47).

A análise do curso d'água com os intervalos de 0 à 100m, de 100m à 200m e de 200m à 300m contribuíram para o resultado, pois os locais próximos aos rios são as quadrículas com os maiores valores de perigo. No entanto, há uma região, circulada no mapa da Figura 48, que não tem o curso do rio indicado no mapa. Ocorre, porém, que há um rio que corre canalizado abaixo de uma das principais avenidas da cidade de Bauru, a Nações Unidas (Figura 49), o que justifica as ocorrências de desastres ali verificadas.

Figura 47: Mapa dos critérios ambientais na cidade de Bauru com sobreposição dos rios.

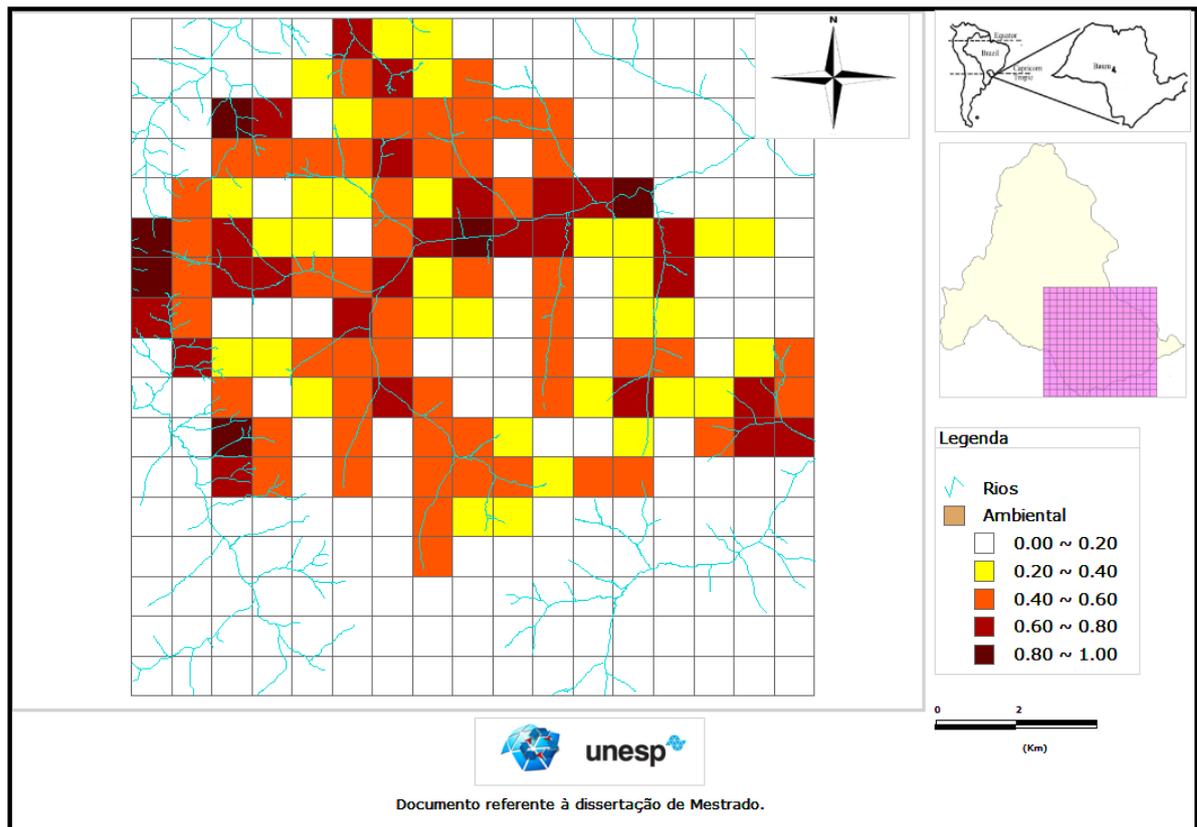


Figura 48 Mapa resultante dos critérios ambientais na cidade de Bauru com sobreposição dos rios.

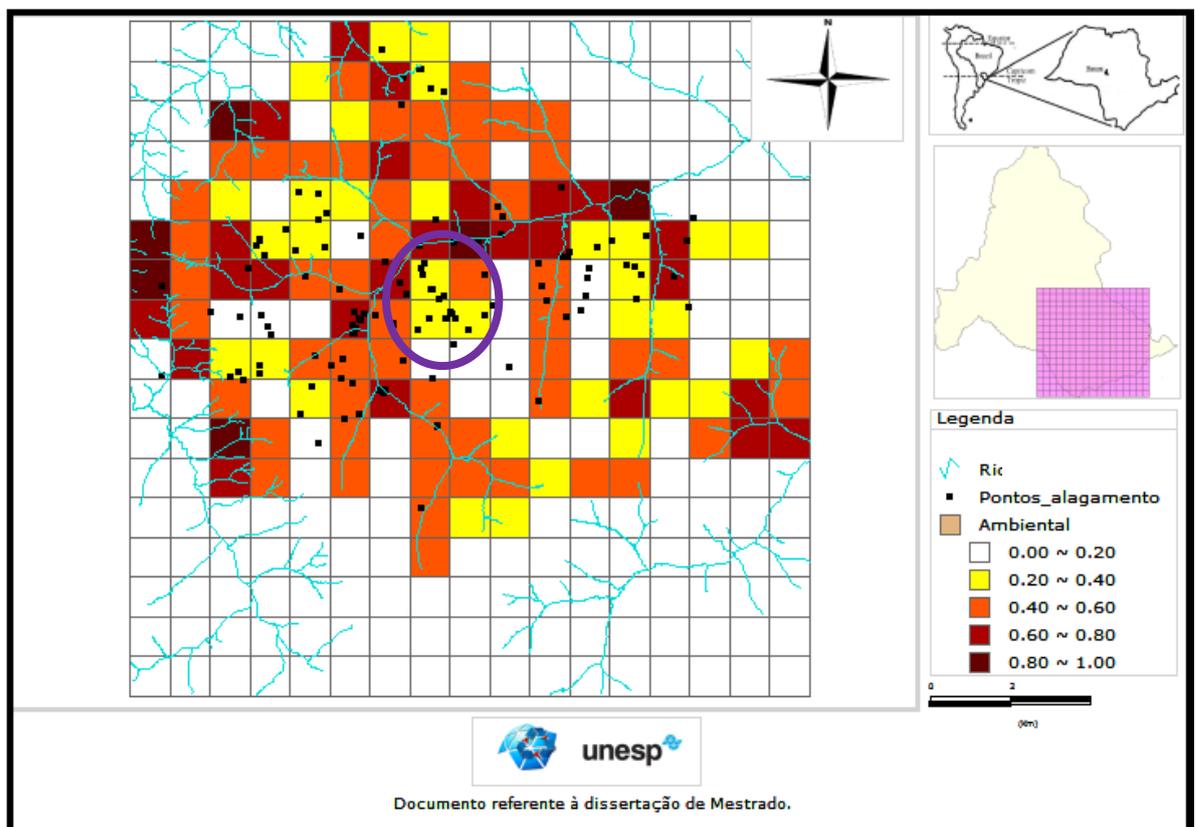


Figura 49: Localização da Bacia Córrego das Flores abaixo da Avenida Nações Unidas em Bauru-SP.



Fonte: Prefeitura Municipal de Bauru.

Para a elaboração do mapa dos critérios antrópicos foram considerados a densidade populacional e o mapa de área verde (Figura 50). Ambos com o mesmo peso, de 0,5 cada um dos fatores. O resultado desta análise encontra-se no mapa da Figura 51, onde os piores casos encontram-se nas regiões em vermelho, corroborando os locais com maior número de população, conseqüentemente, menor área verde, dado que quanto mais urbanizada a área, maior sua impermeabilização.

O mapa dos critérios antrópicos com a sobreposição dos pontos críticos mostra que os locais que tiveram maior registro de eventos hidrológicos na cidade de Bauru estão localizados nas quadrículas com as manchas mais escuras (vermelho e laranja).

No entanto, há quadrículas em vermelho mais escuro nas quais não há indicação de ocorrências, fato que pode ser devido à omissão de registros por parte da municipalidade e da mídia local (os quais são as fontes de dados para o posterior registro no banco de dados do IPMet - Figura 52), à implantação de rede de drenagem suficiente nestas poucas localidades ou mesmo ao baixo risco relativo aos fatores ambientais, por exemplo.

Figura 50: Sobreposição dos mapas para elaboração dos critérios antrópicos.

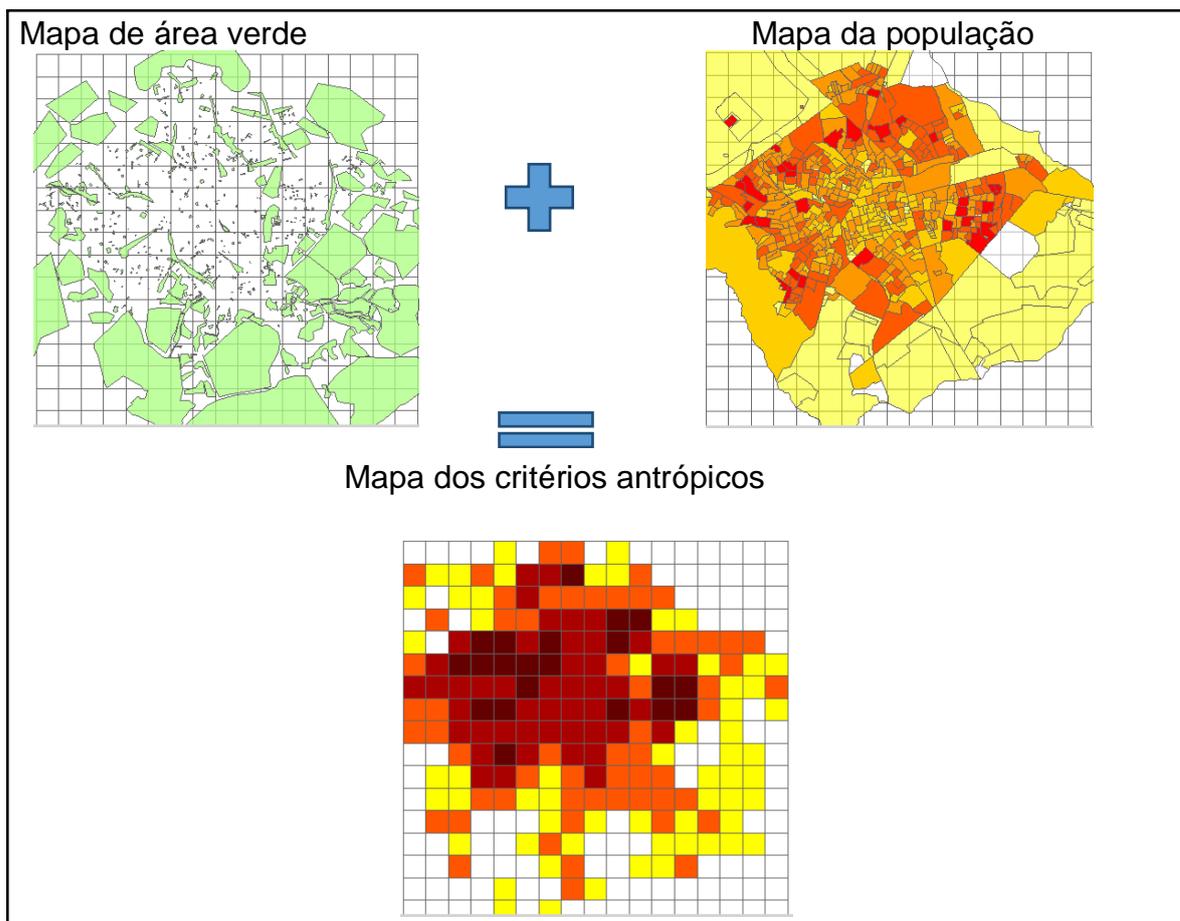


Figura 51: Mapa dos critérios antrópicos da cidade de Bauru.

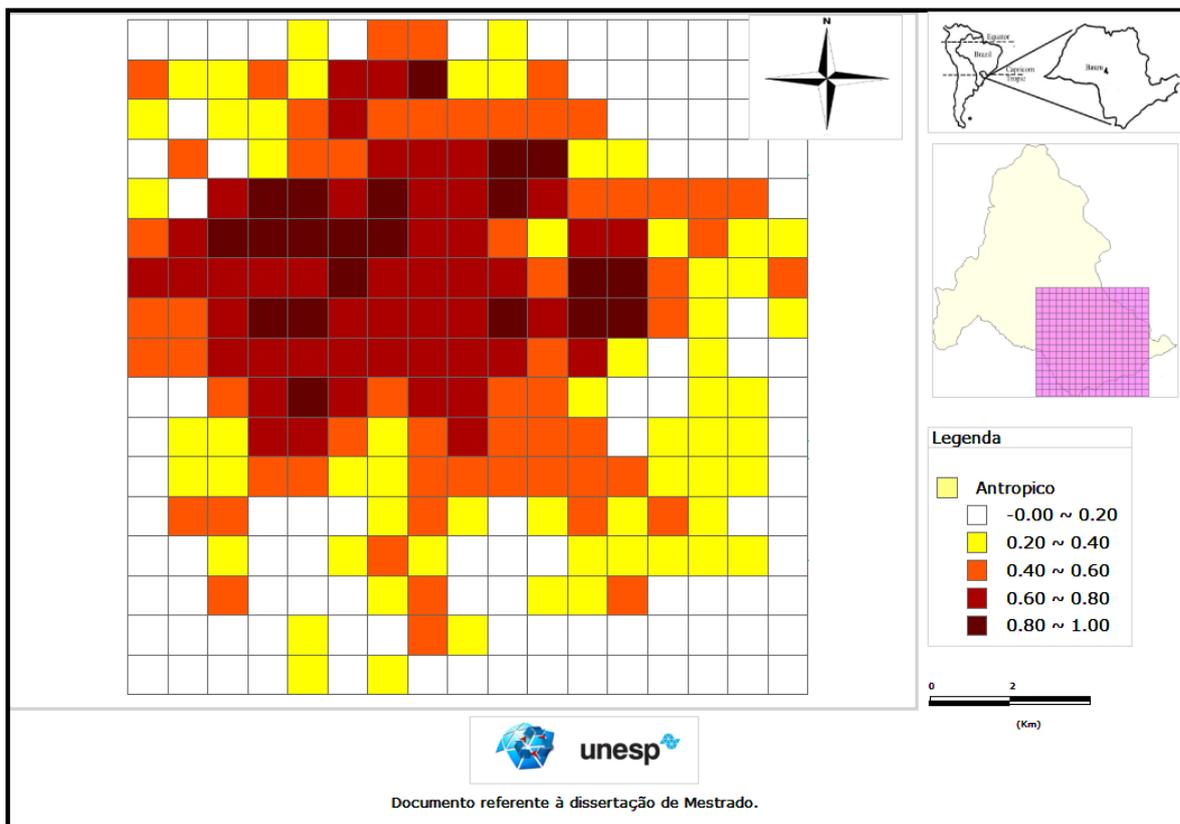
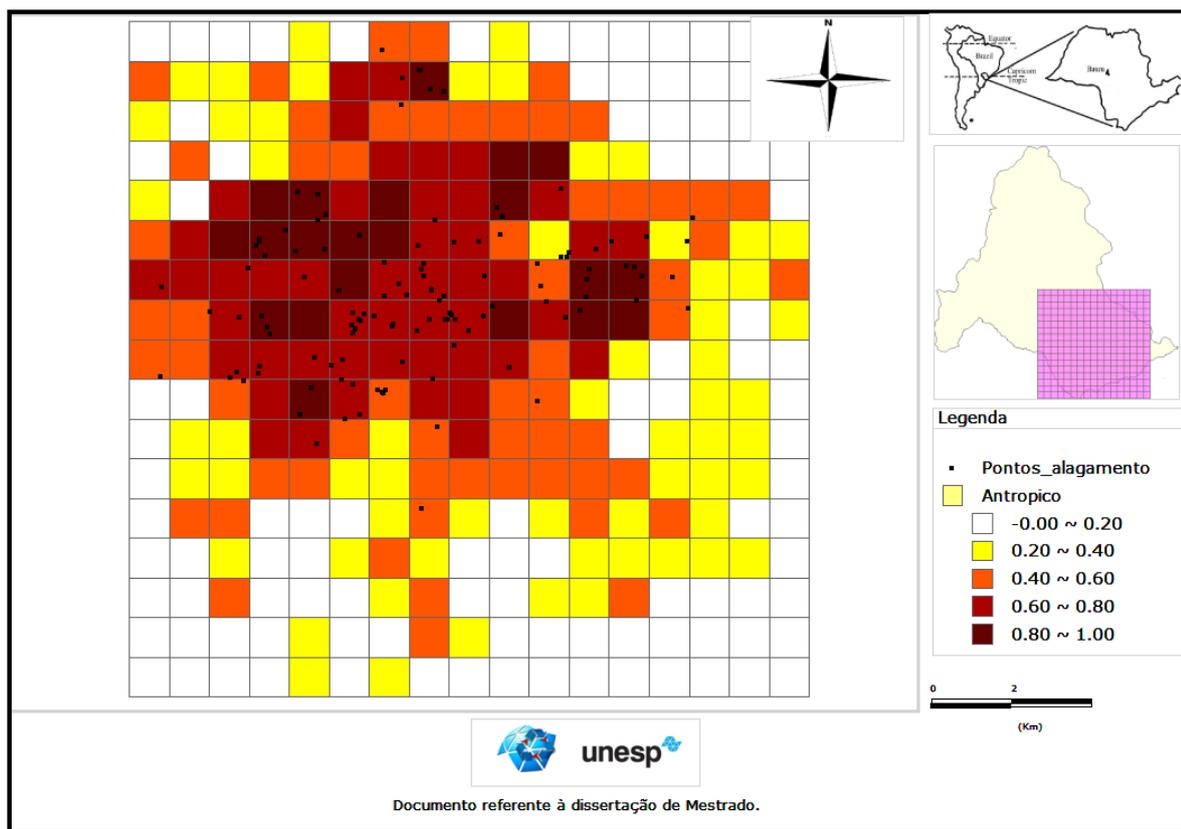


Figura 52: Mapa dos critérios antrópicos com os pontos críticos de eventos hidrológicos da cidade de Bauru.



Associou-se, além dos critérios antrópicos e ambientais (Figura 53), o número de registros de ocorrências de 2005 a 2015 e o período de retorno correspondendo ao perigo envolvido nos eventos registrados. O perigo envolvido associado ao somatório dos critérios, resultou no mapa de risco (Figura 54).

A Tabela do APÊNDICE C, representa o resultado do cálculo do período de retorno (TR) para a cidade de Bauru de 2005 a 2015, com o resultado para diferentes intervalos de tempo (de 10 minutos a 480 minutos). Nota-se um grande número de ocorrências com período de retorno igual a 1, o que indica que eventos anuais geram danos em vários locais da cidade.

Porém, o ano de 2015 foi crítico, pois seus valores de diferentes períodos destacam-se como um dos maiores entre os demais anos analisados, pois apresenta o maior número de dias com ocorrências, 15 dias, além de eventos com valores altos de período de retorno (conforme APÊNDICE C). O maior valor de período de retorno foi de 101,07 no dia 15/03/2012 considerando a duração da chuva de 20 minutos.

Para a elaboração do mapa final de risco (Figura 55), foi considerada a soma da probabilidade do TR máximo em cada ponto dentro de cada quadrícula, além do número de repetições de ocorrências, conforme tabela do APÊNDICE D. Com o cruzamento de dados dos critérios ambientais, critérios antrópicos, número de registros ocorrências de 2005 a 2015 por quadrícula e o período de retorno, obteve-se o mapa de risco.

Figura 53: Somatório dos critérios ambientais e antrópicos.

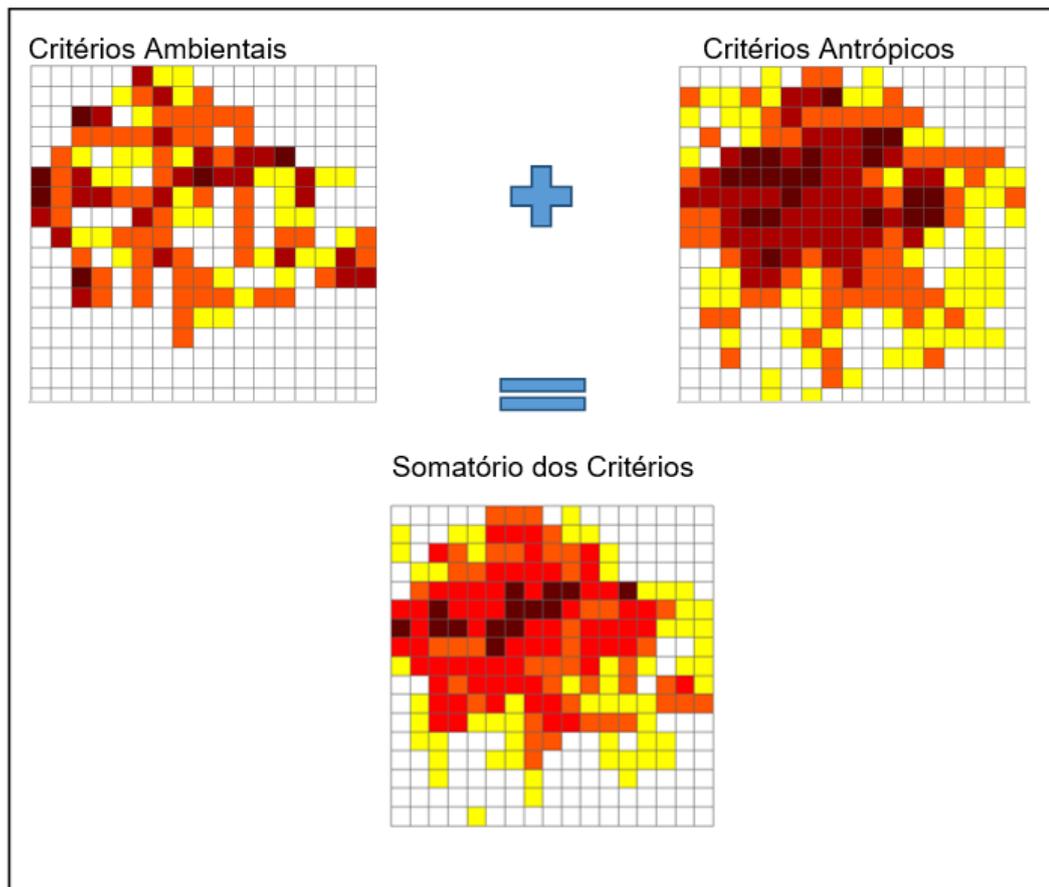
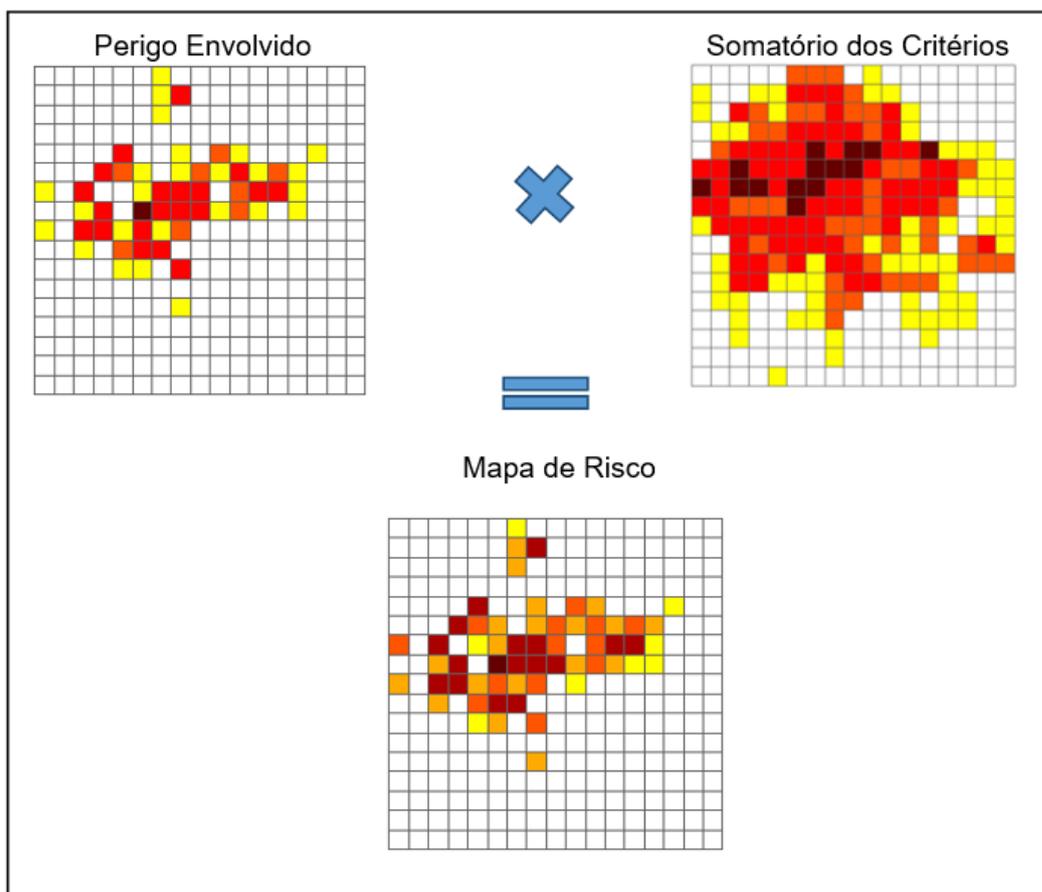


Figura 54: Aspectos considerados no mapa de risco.



Observou-se no mapa de risco, na Figura 55, que os locais mais suscetíveis se encontraram na parte central da cidade, onde há maior densidade populacional, menor área verde e presença de cursos d'água. De forma complementar, na periferia, onde a concentração populacional é menor, as áreas apresentam menor risco aos eventos hidrológicos. Até existem regiões com altos valores de critérios ambientais, porém a sua associação com os critérios antrópicos e com o perigo envolvido resultam em áreas de baixo e médio risco.

Para validar o mapa final de risco, foram sobrepostos os pontos de ocorrências que se referem aos registros de 2005 a 2015 por quadrícula (Figura 56). A área em branco representa lugares que não tiveram registro de ocorrência, nos quais, conseqüentemente, não há período de retorno, o que faz com que o risco calculado pela Equação 17 seja nulo, podendo ser considerada com área de baixo risco. Uma única quadrícula (em destaque na Figura 56) que, apesar de ter registrado um ponto de alagamento, teve seu resultado foi zerado. Isto ocorreu porque o local teve a soma dos critérios antrópicos e ambientais muito baixa, bem

como baixos valores de período de retorno, contribuindo para que o resultado final fosse muito próximo de zero, anulado pela aproximação numérica do software

A maioria das quadrículas ficou no intervalo de 0,001 a 0,20. O único valor igual a 1 foi o da quadrícula com maior número de registro de eventos hidrológicos, 38 ocorrências, destacando-se em relação às demais. Esta quadrícula é a única que está representada pela cor mais escura para fácil visualização. Por este motivo, optou-se por intervalos diferentes na legenda. Na Figura 57 há uma imagem do Google Maps demonstrando a quadrícula crítica, local com o maior risco. O local onde se encontra os pontos 8, 9, 10 e 11 é conhecido como a Praça do Relógio, no cruzamento da Avenida Alfredo Maia com a Rua Vereador Gomes dos Santos, sendo esta última continuação da Avenida Duque de Caxias.

Figura 55: Mapa de risco

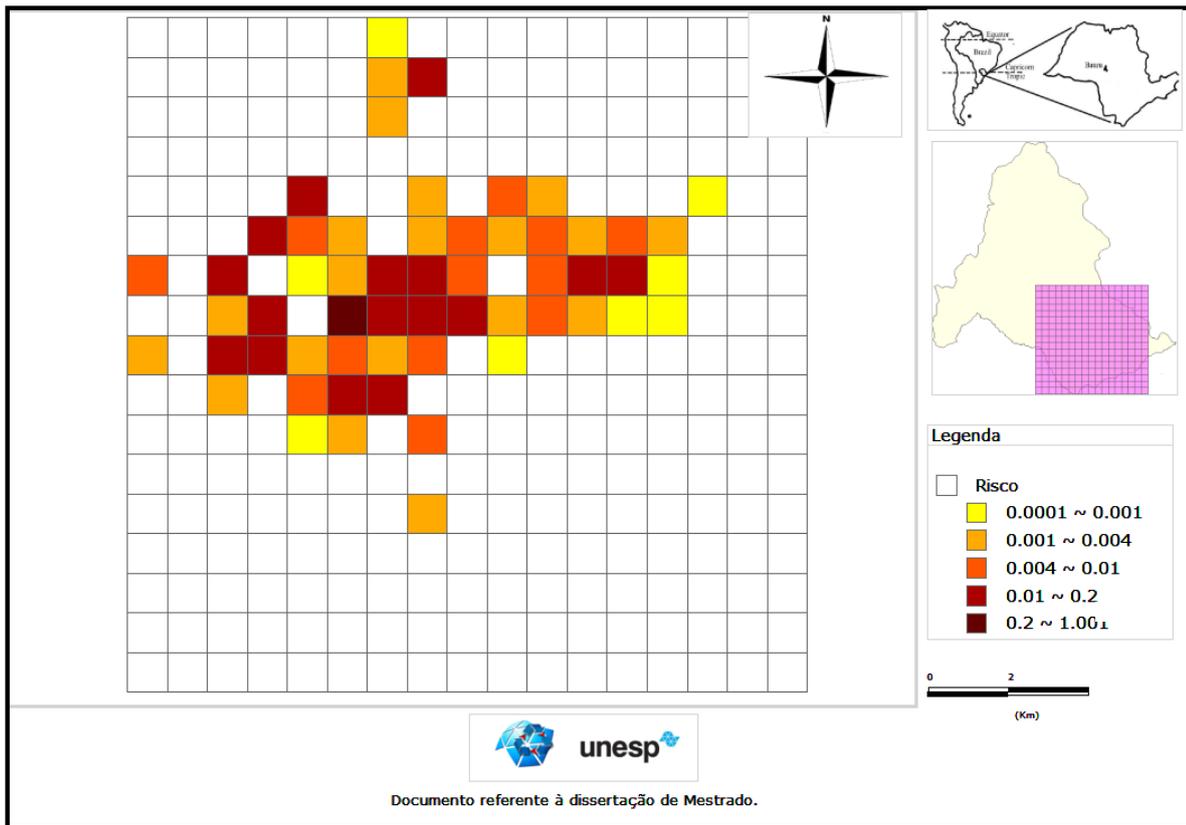


Figura 56: Mapa de Risco e os pontos de registro de eventos hidrológicos.

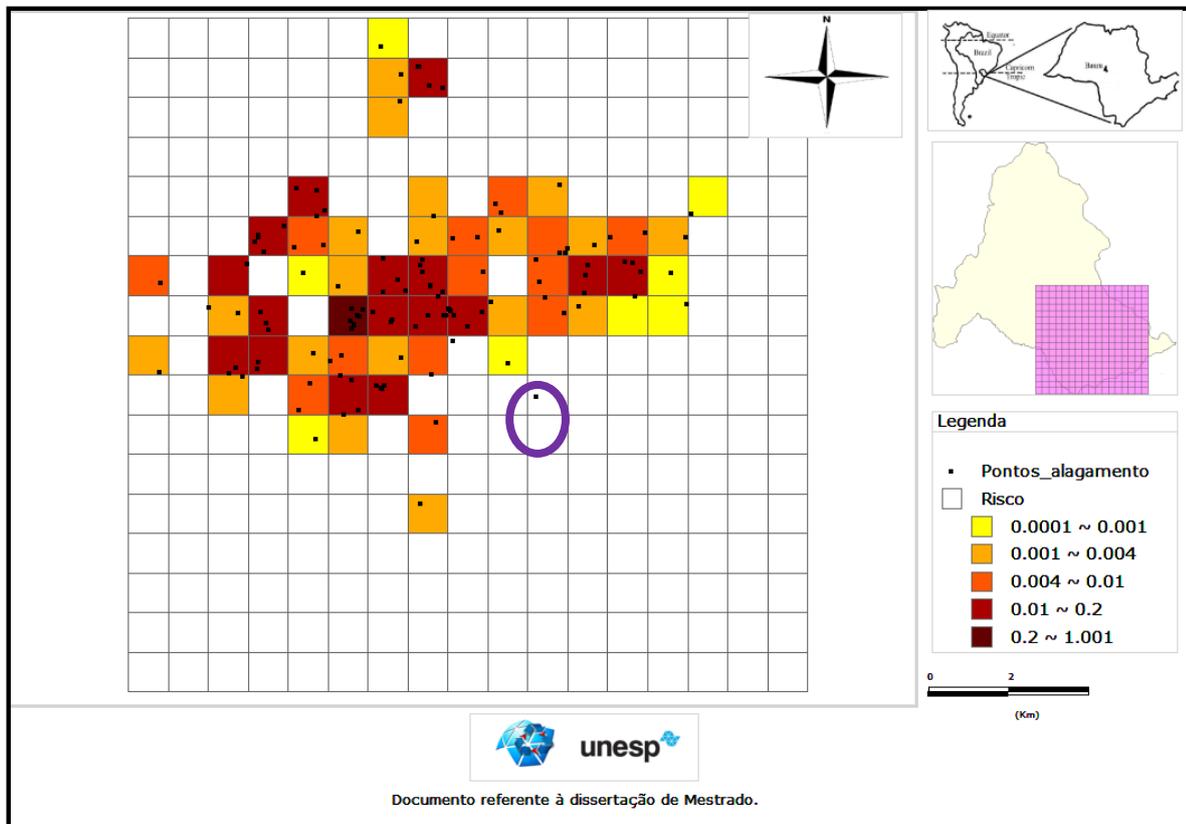


Tabela 19: Datas selecionadas com os horários de precipitação.

DATA-Bauru	17/11/15	23/11/15	24/11/15	10/12/15	25/12/15	28/12/15
Horários						
00:00					x	
01:00					x	
02:00	x				x	
03:00	x					
04:00	x					
05:00	x					
06:00	x			x		
07:00	x		x	x		
08:00			x	x		
09:00			x	x		
10:00			x	x		
11:00			x	x	x	
12:00		x	x	x	x	
13:00		x	x		x	
14:00		x	x		x	
15:00		x	x		x	
16:00	x	x			x	x
17:00	x	x			x	x
18:00	x	x				x
19:00	x	x				x
20:00	x	x				x
21:00	x	x				x
22:00						x
23:00						x
00:00						x

Para melhor entendimento, foi gerada uma planilha com os valores de precipitação obtidos nos pluviômetros automáticos, conforme observado na Tabela 20 e Figura 58. A precipitação começa no pluviômetro automático do IPMet e em seguida se distribui uniformemente nos demais pluviômetros automáticos do CEMADEN. Conforme observado na Figura 59, os oito pluviômetros automáticos do CEMADEN estão distribuídos em diferentes pontos da cidade de Bauru. O pluviômetro automático mais distante localiza-se no distrito de Tibiriçá. O pluviômetro automático do IPMET é o único, dentre os nove em estudo, em que a chuva não está registrada no mesmo horário dos outros pluviômetros automáticos do CEMADEN. A precipitação ocorre em diferentes localidades da cidade, porém nos mesmos horários. Ou seja, a chuva surge no sudeste e se desloca no sentido noroeste na cidade de Bauru.

Tabela 20: Dados de precipitação de acordo com cada pluviômetro automático.

17/11/2015	IPMet (pluv)	CEMADEN 1	CEMADEN 2	CEMADEN 3	CEMADEN 4	CEMADEN 5	CEMADEN 6	CEMADEN 7	CEMADEN 8
		<i>Jd Eldorado</i>	<i>Jd Ferraz</i>	<i>Tibiriça</i>	<i>S. Geraldo</i>	<i>Rio Batalha</i>	<i>Vila Maracy</i>	<i>Vila Pacífico</i>	<i>Bauru</i>
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	6,096	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00	2,286	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00	2,032	0,6	0	20,6	0	0	0	0	0
05:00	0	16,6	7	17,4	14,6	8,2	5,2	12,4	21,2
06:00	0	4,2	2,8	4,4	4,4	1,6	3,2	4,4	4
07:00	0	1,6	1,4	0,4	2,4	1,4	2,8	1,8	2,2
08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2	0
13:00	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2
15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00	7,62	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	9,144	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	1,27	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	4,2	13,8	3,4	0,8	12,4	2,4	7	1,2
20:00	0	5,2	5,2	5,8	9,8	4	10,4	5,4	12,4
21:00	0	2	1,2	1,2	1,6	1	1,6	1,6	1,8
22:00	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 58: Representação gráfica dos horários de precipitação de acordo com os dados dos pluviômetros automáticos.

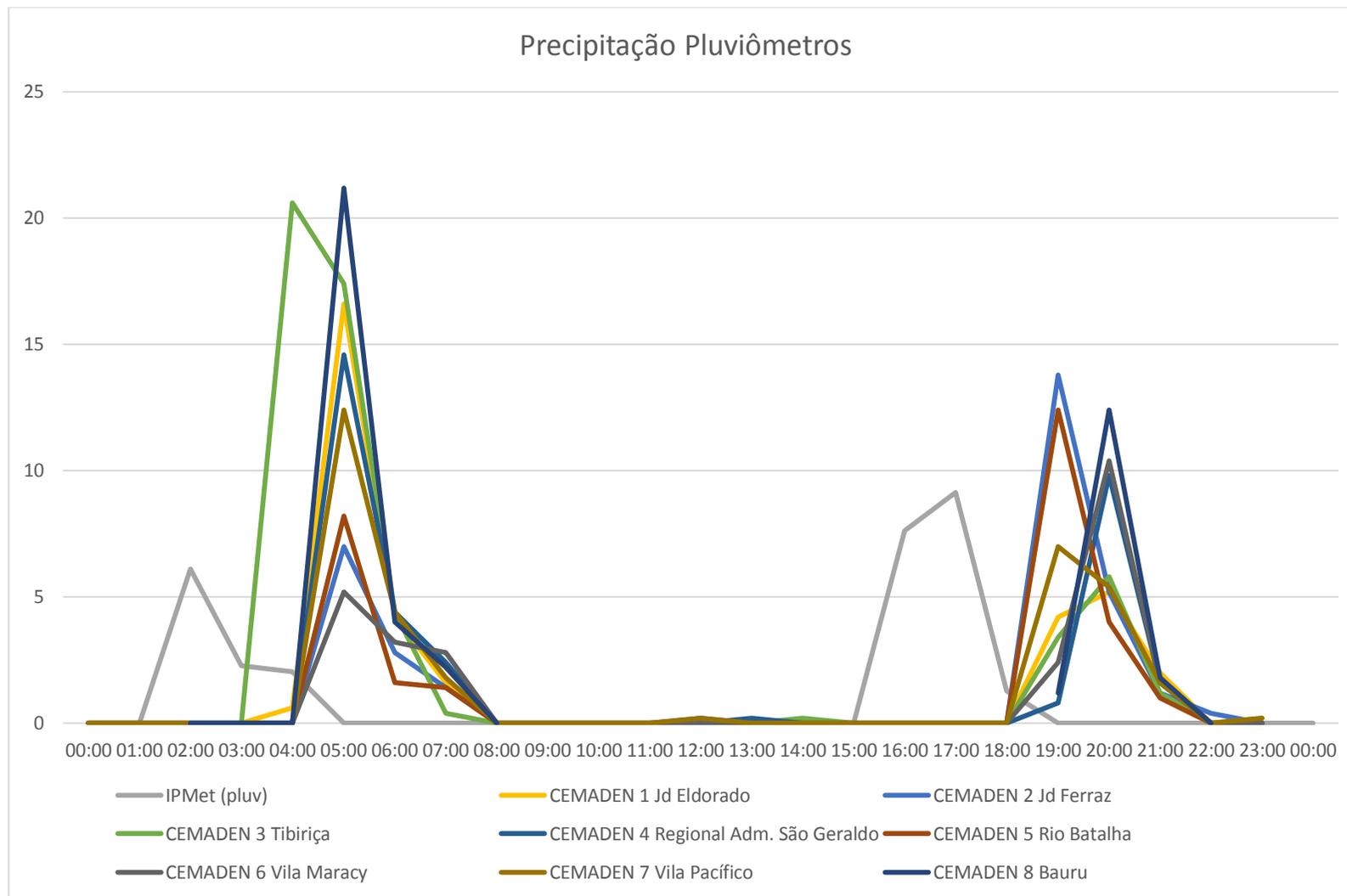
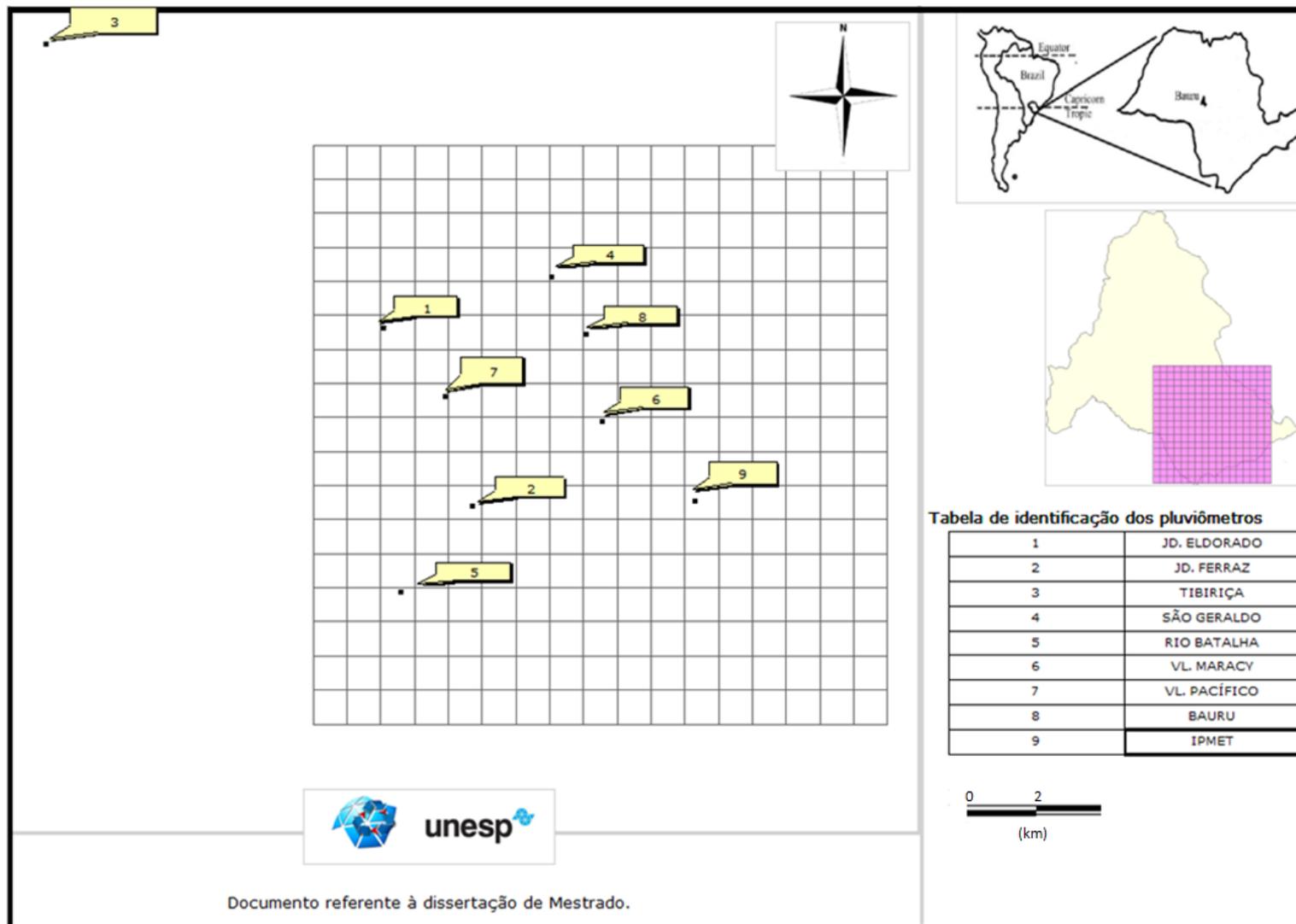


Figura 59: Mapa de localização dos pluviômetros automáticos.



Para a análise da comparação dos dados horários medidos por radar e pluviômetro automático foram elaborados mapas em todos os horários que tiveram algum registro de precipitação.

Para a elaboração dos mapas foi utilizada a Tabela do APÊNDICE E. Os dados da Tabela do APÊNDICE E contêm a quantidade de chuva medida nos oito pluviômetros automáticos posicionados na cidade de Bauru. Os dados dos pluviômetros automáticos tiveram valores pontuais, por outro lado, os dados do radar foram melhores distribuídos espacialmente, utilizando-se a equação de Calheiros (1982), Equação 4. Tanto esta equação quanto a Equação 3, de Marshall e Palmer (1948), resultam em valores inferiores ao dos pluviômetros automáticos. Porém, a de Calheiros (1982) fornece valores um pouco maiores. O IPMet utiliza a esta última equação por foi desenvolvida para a região de Bauru.

O mapa com os dados do pluviômetro automático foi colocado ao lado do mapa referente as imagens de radar com as respectivas legendas com os valores de chuva em mm/m² para facilitar a comparação (Figura 60 a Figura 71). Os mapas com os dados do pluviômetro automático foram gerados por meio da interpolação de apenas oito valores. Ou seja, gerados com os dados dos oito pluviômetros automáticos, pois um dos pluviômetros automáticos foi desconsiderado devido à localização fora da área de estudo de interesse para esta pesquisa. A localização de cada pluviômetro automático está representada por pontos na cor preta sobre o mapa referente aos dados dos pluviômetros automáticos. As imagens de radar geradas no programa *TerraView* representam a precipitação em cada quadrícula de 1km x 1km, ou seja, 289 valores interpolados.

Na Figura 72 está representada a localização dos pontos da cidade que tiveram registro de ocorrência no dia 17/11/2015, correspondendo a mesma data da representação dos mapas com os dados do pluviômetro automático e do radar.

Nota-se que os dados de precipitação não são iguais aos dados de radar. Uma das justificavas deve-se ao fato de que o pluviômetro automático mede a água precipitada próxima ao solo, enquanto o radar mede a água em uma altura maior com relação a superfície da Terra, por isso há distorções nos resultados. Além disso, o universo de valores para interpolação é distinto. Nos pluviômetros automáticos, apesar de números precisos, estes estão dispostos em poucos postos de medição na cidade. Já o radar possui um universo muito maior de pontos, porém sem a precisão do pluviômetro automático, pois mede a água potencialmente precipitável.

É importante atentar-se para o fato de que a escala das Figuras 60 a 71 são diferentes entre si (pluviômetros automáticos e radares). Assim, é necessária a observação das legendas que as acompanham.

Figura 60: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 02:00h às 02:59

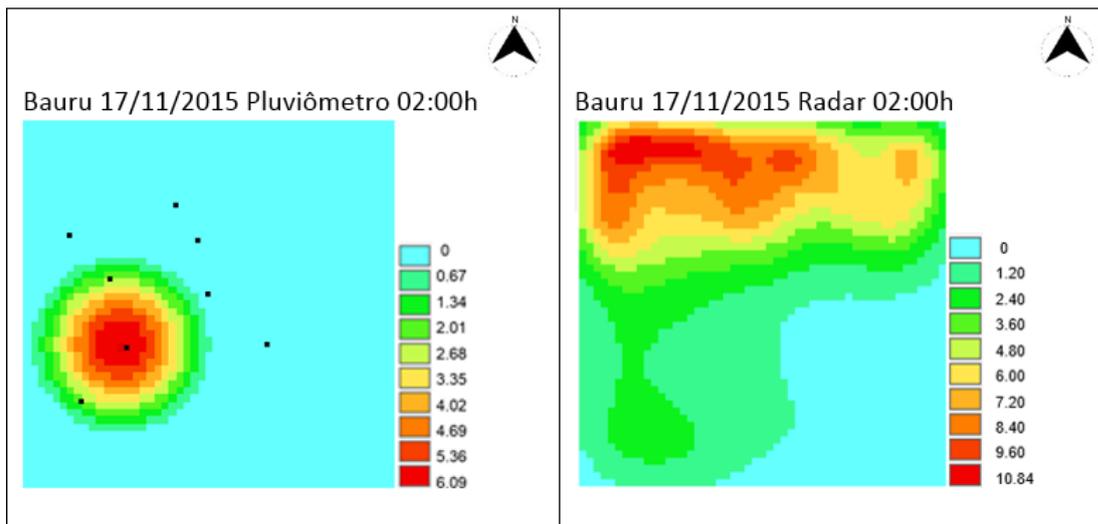


Figura 61: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 03:00h às 03:59

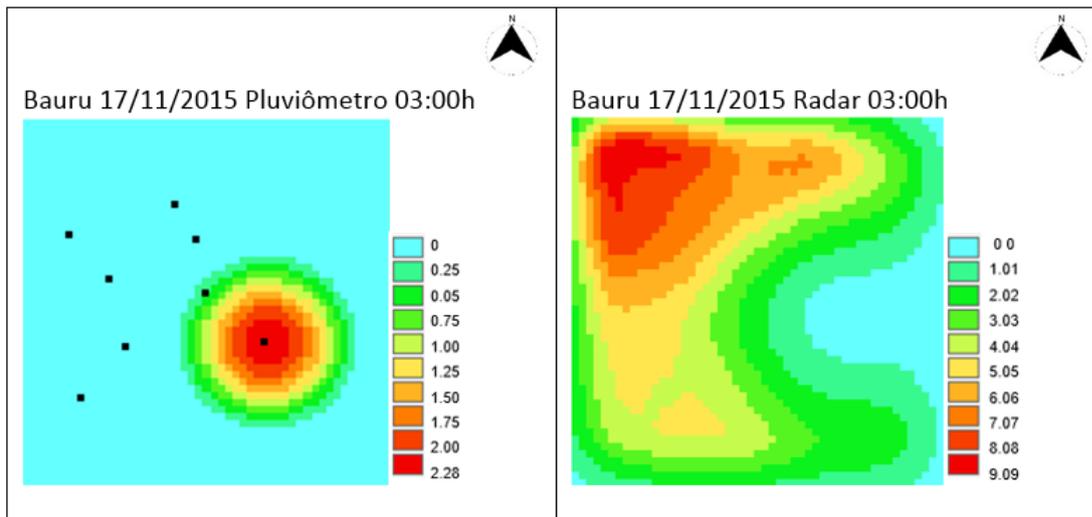


Figura 62 Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 04:00h às 04:59

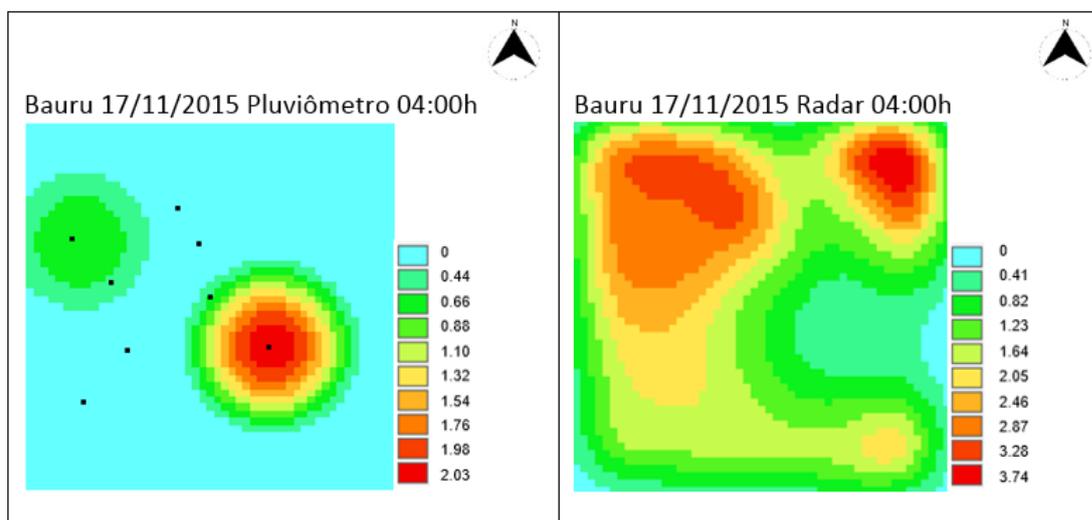


Figura 63 Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 05:00h às 05:59

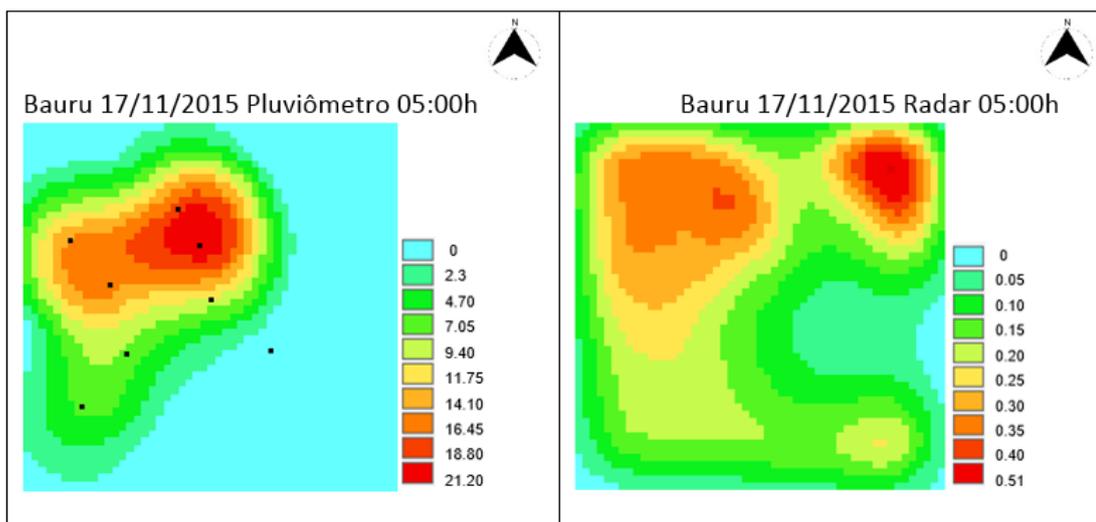


Figura 64: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 06:00h às 06:59

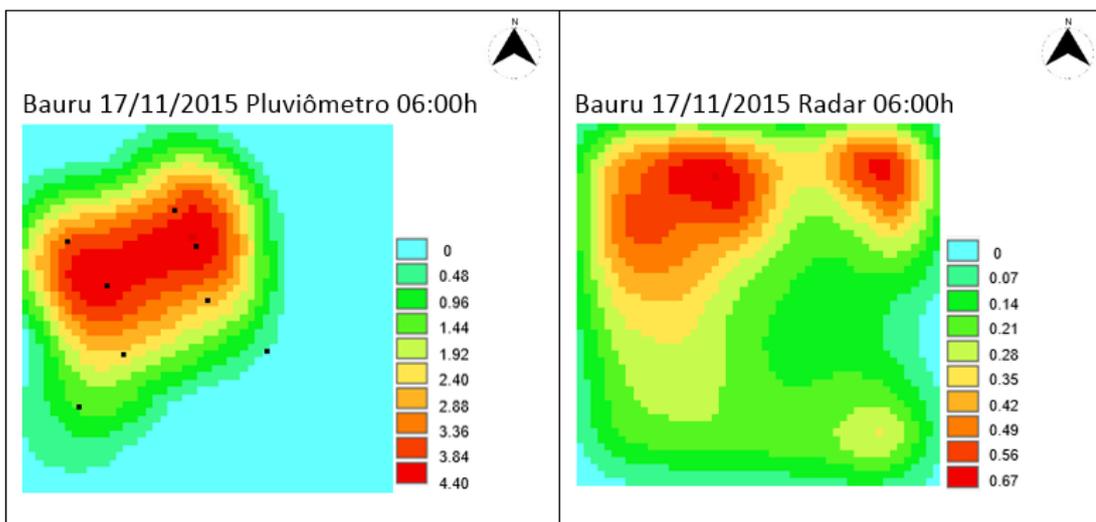


Figura 65: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 07:00h às 07:59

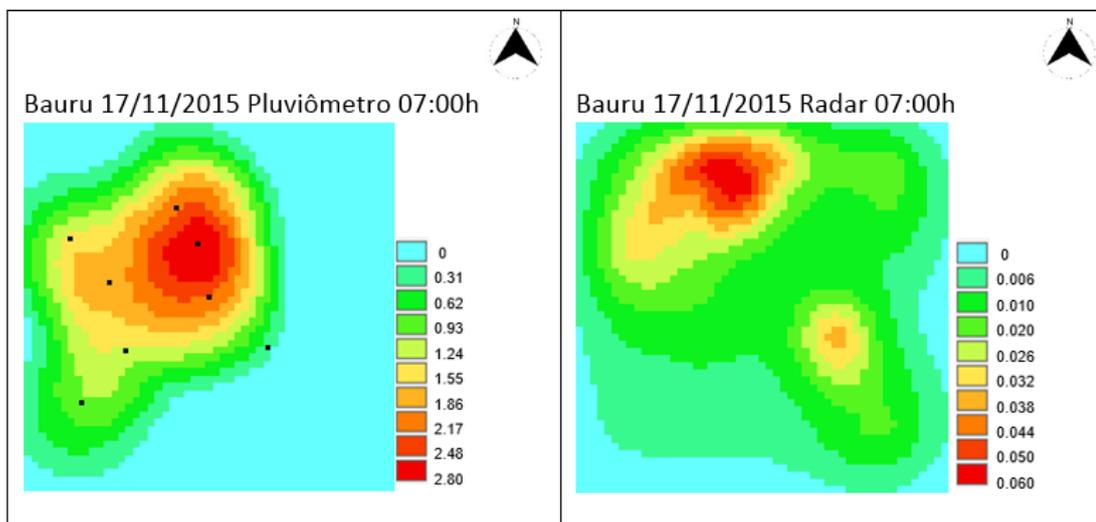


Figura 66: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 16:00h às 16:59

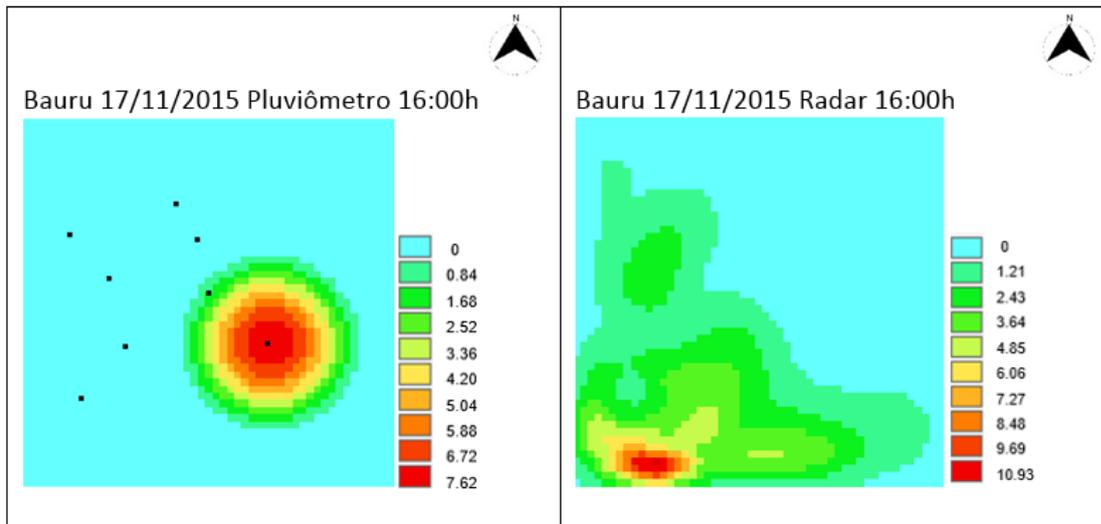


Figura 67: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 17:00h às 17:59

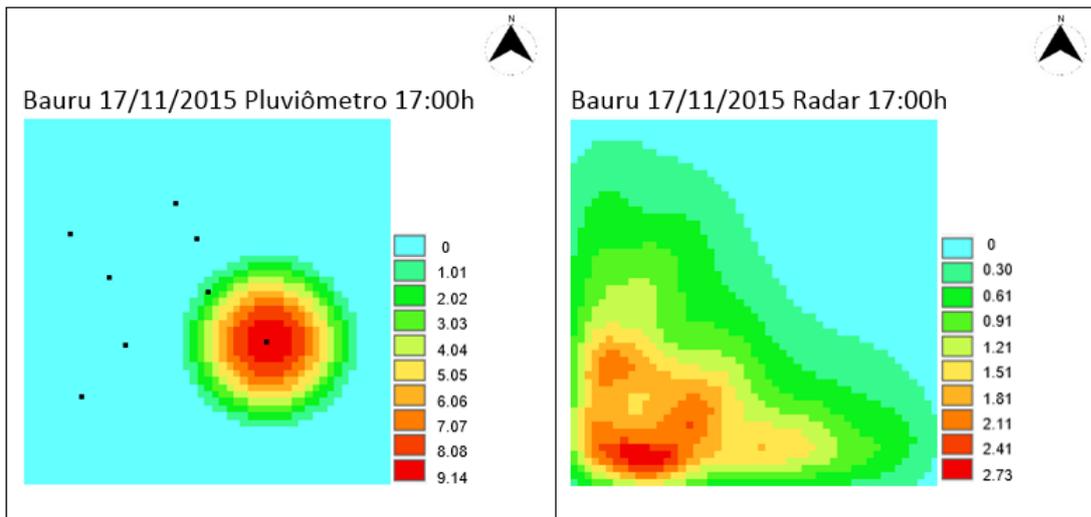


Figura 68: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 18:00h às 18:59

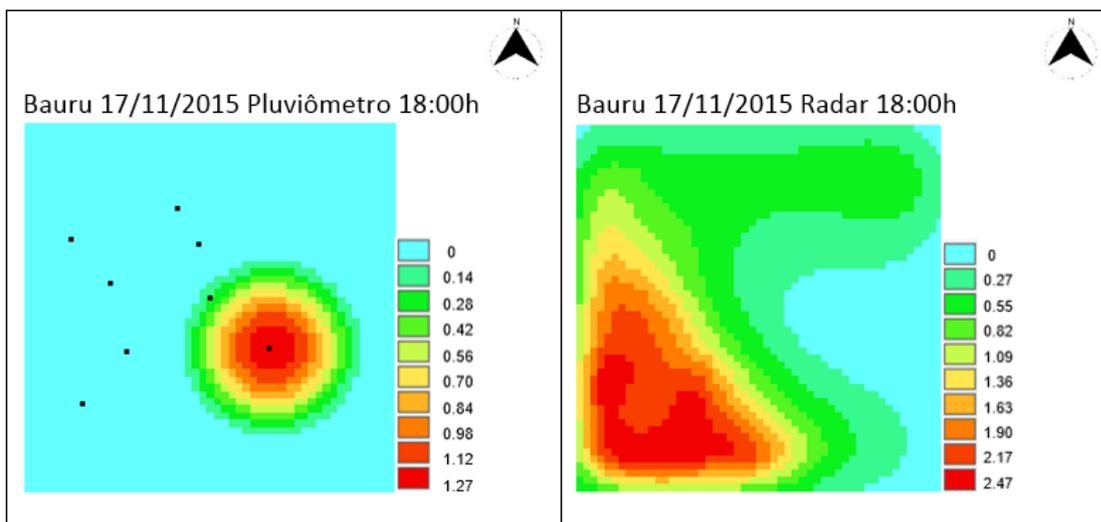


Figura 69: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 19:00h às 19:59

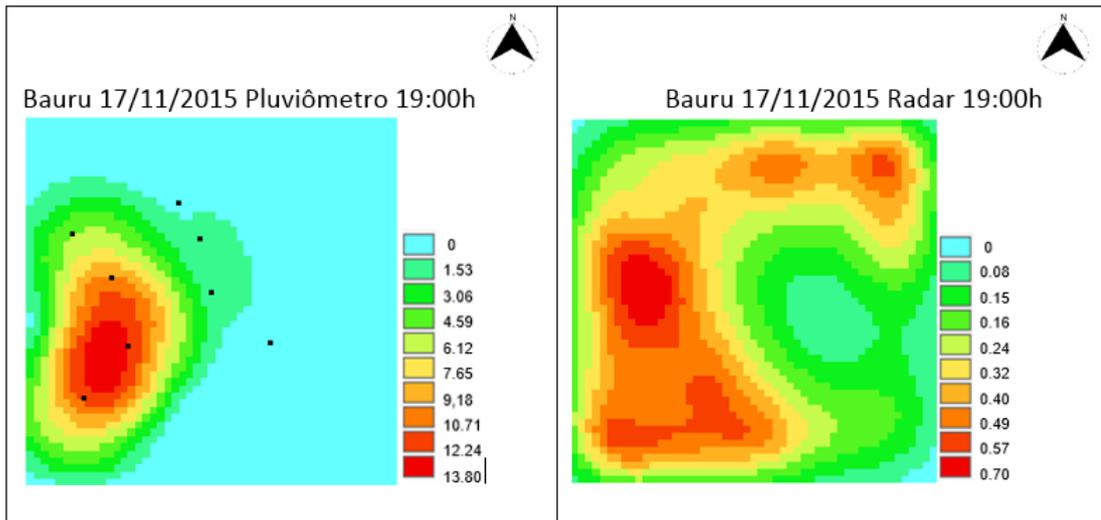


Figura 70: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 20:00h às 20:59

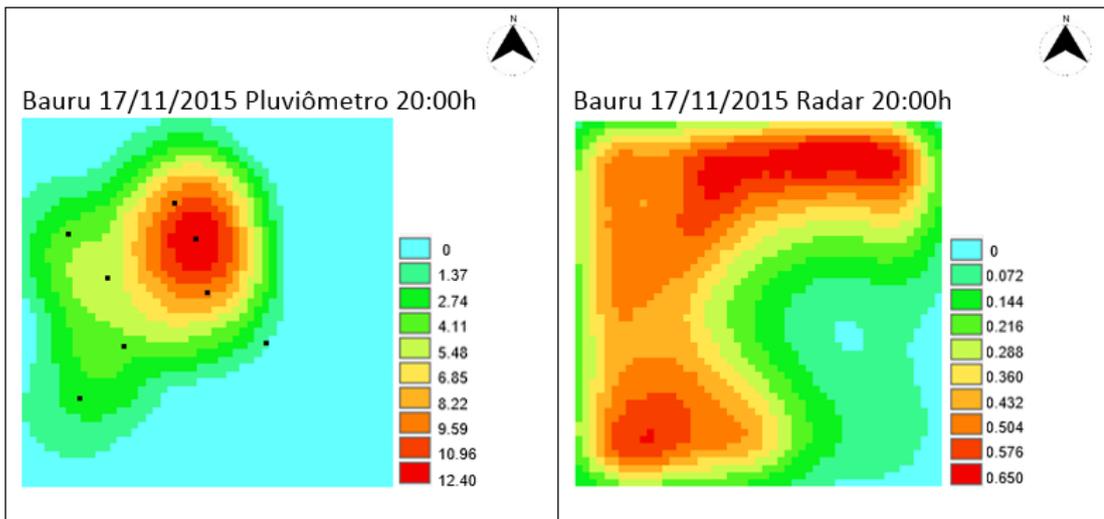


Figura 71: Mapa dos dados do pluviômetro automático e do radar para precipitação acumulada das 21:00h às 21:59

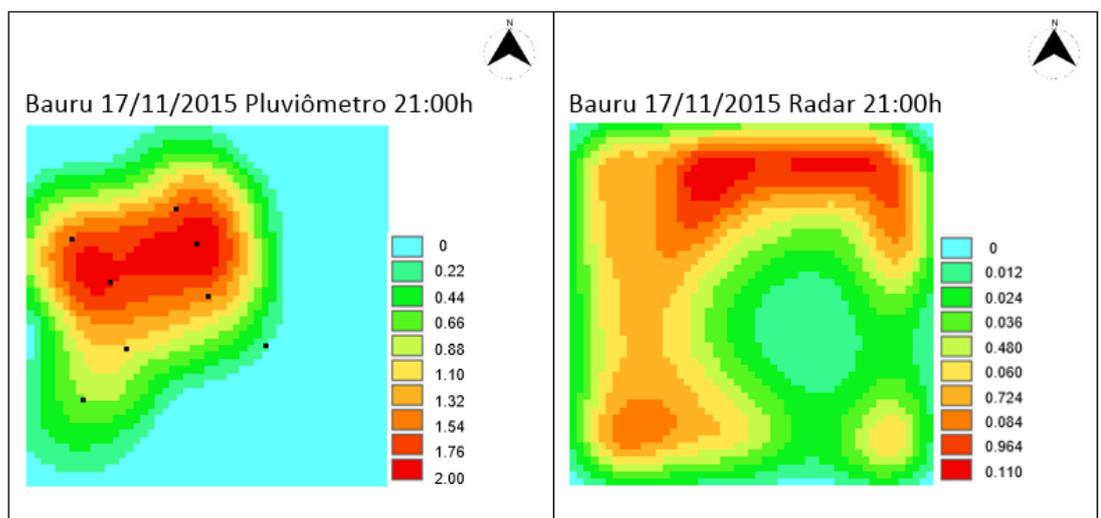
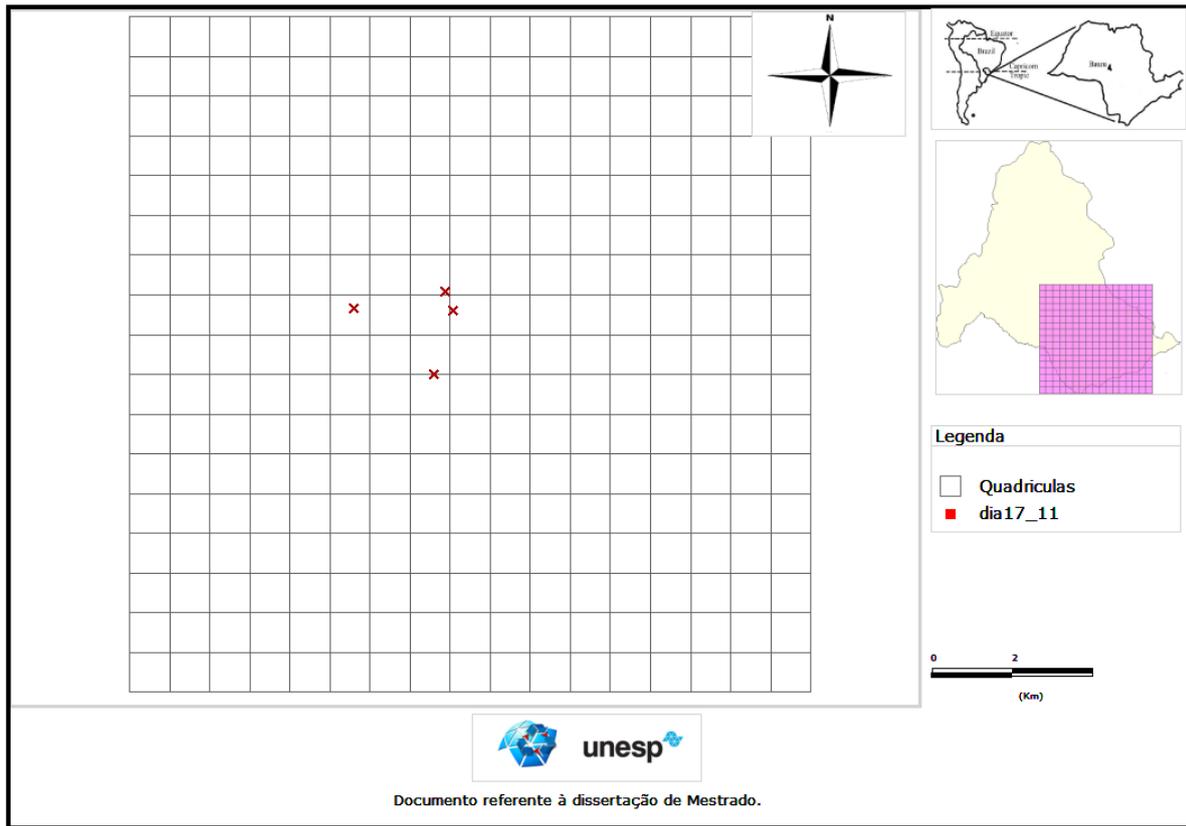


Figura 72: Mapa com a localização dos registros do dia 17/11/2015.



5. COMENTÁRIOS FINAIS

Demonstrou-se assim, com o mapa de risco, que as áreas mais susceptíveis aos eventos hidrológicos na cidade de Bauru-SP localizam-se na parte central, onde há vastas áreas pavimentadas e maior densidade populacional, além de sua proximidade a cursos d'água.

O mapeamento elaborado de acordo com os softwares *TerraView* e *QGIS* para cidade de Bauru demonstra a importância do Geoprocessamento utilizado nesta pesquisa. Este serve como meio para a análise cruzada de dados de diferentes aspectos, sociais e ambientais. Além disso, o banco de dados de desastres naturais do IPMet também teve sua importância, pois foi o ponto inicial da pesquisa para localização dos registros de desastres que ocorreram na cidade. Com esta pesquisa pôde-se verificar a influência dos critérios antrópicos e ambientais nos acontecimentos relacionados aos desastres na cidade. Tais resultados foram comparados aos registros de ocorrências existentes, comprovando que os locais com maior índice de desastres foram corretamente apontados pela análise de risco efetuada.

Os dados de precipitação obtidos através do pluviômetro automático do IPMet demonstraram que o volume de chuva não teve grande impacto no resultado final do mapa de risco. Ou seja, no período de análise desta pesquisa, pôde-se verificar que haviam registros de eventos hidrológicos na região central da cidade de Bauru em dias nos quais havia valores baixos de período de retorno. Portanto, mesmo com um volume de chuva baixo ocorrem desastres na cidade, demonstrando que a drenagem urbana não foi bem planejada naqueles pontos.

A localização dos pontos de eventos hidrológicos na cidade corresponde às áreas com grande fluxo de veículos, com residências e comércios nas redondezas. Atualmente, quando ocorrem desastres relacionados às chuvas, os órgãos competentes bloqueiam importantes avenidas da cidade, criando uma situação de caos para quem trafega no local, sendo uma medida paliativa e não preventiva. Esta solução não previne os danos que atingem as residências, estabelecimentos e veículos que se encontram na região. É necessário assim criar sistemas de alertas para a população da cidade, afim de evitar ocorrências com perda de vidas e bens patrimoniais, bem como se melhorar a drenagem de tais pontos, com o intuito de se evitar novas ocorrências.

A metodologia desenvolvida nesta pesquisa demonstra que os Sistemas de Informações Geográficas, juntamente com os dados de pluviômetros automáticos e banco de dados de desastres naturais, são ferramentas de baixo custo para a identificação dos locais sujeitos ao risco de eventos hidrológicos, podendo ser utilizado pelos gestores públicos para a sua prevenção. Além disso, os critérios considerados para o resultado da equação de risco confirmam sua influência nos desastres de eventos hidrológicos registrados.

Este método desenvolvido pode ser aplicado a outros municípios, bastando haver dados suficientes para a avaliação dos fatores considerados de risco, adaptando-se tais fatores às características locais, o que pode ajudar na prevenção de desastres.

Como sugestão para os próximos trabalhos em outros municípios baseados nesta metodologia, sugere-se que utilizem quadrículas menores, com dimensões de 30m x 30m.

Quanto à comparação efetuada entre os registros dos pluviômetros automáticos e dos radares, seria interessante a compatibilização das escalas utilizadas para a elaboração dos mapas relativos aos radares e aos pluviômetros automáticos, permitindo uma melhor visualização.

Esta comparação, porém, se mostrou inconclusiva. Não se verificou coincidência nas imagens obtidas. Tal resultado justifica-se pela origem dos dados. Os pluviômetros automáticos, em que pese poucos, registram as chuvas efetivamente precipitadas em suas localidades. Por serem poucos pontos, sua interpolação para a geração de imagens acaba por gerar um resultado pouco confiável, pois não há certeza no que ocorreu nas áreas entre os pluviômetros automáticos. Já os radares, apesar de possuírem uma nuvem de dados bem mais densa e espacializada, representam a chuva potencial em tais localidades. Além disso, os hidrometeoros que resultaram efetivamente em chuva poderiam estar em alturas diferentes da utilizada no estudo (CAPPI 3,5). Essa conclusão corrobora os resultados obtidos por Emídio (2008) e Kaiser (2006). Portanto, não foi possível o desenvolvimento da metodologia utilizando dados de radar devido à impossibilidade de obtenção de dados para o cálculo do período de retorno.

Finalmente, é importante destacar que a metodologia desenvolvida para o cálculo do Risco de Eventos Hidrológicos para a Cidade de Bauru se mostrou adequada, uma vez que os cálculos efetuados e depois espacializados corroboram e

apontam corretamente os locais onde ocorreram os eventos. As escalas de cores e seus intervalos numéricos também se mostraram adequados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABANCÓ, C., HÜRLIMANN, MOYA, J., BEREBUGUER, M. Critical rainfall conditions for the initiation of torrential flows. Results from the Rebaixader catchment (Central Pyrenees). *Journal of Hydrology*. University of Catalonia (UPC BarcelonaTech), Spain 2016.

AMARAL, R., GUTJAHN M. R. **Desastres Naturais, Cadernos de Educação Ambiental**. São Paulo: Instituto Geológico.100p. 2011.

ANDERSEN, J. S., SARA MARIA LERER S. M., BACKHAUS A., JENSEN M. B. and SØRUP H. J. D. Characteristic Rain Events: A Methodology for Improving the Amenity Value of Stormwater Control Measures. **Journal Sustainability**. Setember, 2017.

AYALA, I. A. Natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**. Cambridge, 2002, v.47,n. 2-4, p. 107 – 124,outubro 2002.

AYYUB, B. M. Natural Hazards in a Changing Climate: Impacts, Adaptation and Risk Management. University of Maryland College Park, Vulnerability, Uncertainty, and Risk ASCE 2014. USA.2014.

BARBERÍA, L., AMARO, J., ARAN, M., LLASAT, C. The role of different factors related to social impact of heavy rain events: considerations about the intensity thresholds in densely populated áreas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Spain.2013.

BATISTA, P. H. L. **Cartografia Geotécnica aplicada aos Riscos de Alagamento e Inundação na Bacia do rio São Bartolomeu**. Dissertação de Mestrado, publicação 236/2014, departamento de engenharia civil e ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, Distrito Federal. 2014.

BECK, U. **Vivir en la sociedad del riesgo mundial**. Documentos CIDOB, Serie Dinámicas Interculturales, 8. Barcelona, CIDOB. Versión digital, 2007. Disponível em: <http://www.cidob.org/publicaciones/series_pasadas/documentos/dinamicas_interculturales/vivir_en_la_sociedad_del_riesgo_mundial_living_in_the_world_risk_society>.

BERTZ, G., LOSTER, T., WIRTZ, A. Annual review: natural catástrofes 2002. **Munich Re Group**. 10th year. Alemanha, 2003. Disponível em: <http://ipcc-wg2.gov/njlite_download.php?id=6219>. Acesso em nov. de 2015.

BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVIS, I., WISNER, B. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters. **Journal of Homeland Security and Emergency Management**. Vol. 2. 2º edição. Artigo 4. New York. 2004.

BRAGA, R. Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do Estatuto da Cidade. In: Encontro Nacional da Anppas, VI.2012. **Anais**. Belém, PA.

BRASIL. Lei 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres.

BROOKS, N. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. **Tyndall Centre for Climate Change** Research and Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE). School of Environmental Sciences. University of East Anglia.2003.

CALHEIROS, R. V. **Resolução espacial de estimativas de precipitação com radar hidrometeorológico**. 1982.229 f. Tese (Doutorado em hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

CALHEIROS, R. V.; ZAWADZKI, I. Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v. 26, p. 118-132, 1987.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2º ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Municípios Monitorados, Região Sudeste, 2017. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/municipiosprio.php>. Acesso em nov. de 2017.

CEPED. Centro Universitário de estudos e pesquisa sobre desastres. **Metodologia de avaliação de vulnerabilidade para mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações – Proposta piloto em Santa Catarina**. Relatório de intervenções para mitigação dos setores de risco de desastre – Município de Itajaí. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2014. 131 p.

CEPED. Centro Universitário sobre Estudos e Pesquisa sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Volume São Paulo. Ed. 2. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013a. 142 p.

CEPED. Centro Universitário sobre Estudos e Pesquisa sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Volume Brasil. Ed. 2. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013b. 126 p.

CHEN, H., CHANDRASEKAR, V. The quantitative precipitation estimation system for Dallas–Fort Worth (DFW) urban remote sensing network. *Journal of Hydrology*. Colorado State University, 1373 Campus Delivery, Fort Collins, CO, USA. 2015.

COLLISCHONN, W. E F. DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Volume 1, 2º edição revisada e ampliada. 336 p. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

CORDEIRO, F. G. **Método para avaliação de risco ambiental de acidentes de trânsito envolvendo produtos perigosos usando análise multicritério**. 189 f.,

Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2014.

CORDERO, A., MEDEIROS, P. A., TERAN, A. L. **Medidas de controle de cheias e erosões**. Universidade Regional de Blumenau.1999. DEFESA CIVIL DE SÃO PAULO. Histórico. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sp.gov.br>>. Acesso em 08/2015.

DA HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia. Ago, 2009.

EL MORJANI, Z. A, EBENER, S., BOOS, J., GHAFAR, E. A., MUSANI, A. Modelling the spatial distribution of five natural hazards in the context of the WHO/EMRO Atlas of Disaster Risk as a step towards the reduction of the health impact related to disasters. **International Journal of Health Geographics**, 2007.

EL MORJANI, Z. A. **Methodology document for the WHO e-atlas of disaster risk**. Volume 1. Exposure to natural hazards Version 2.0: Flood hazard modelling. Morocco 2011.

EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Université Catholique de Louvain – Brussels – Belgium, 2015. Disponível em: <<http://www.emdat.be> > Acesso em 17 de out. 2015.

EMÍDIO, Z. P. O. Impacto do balanço hídrico em diferentes tipos de solo: comparação entre dados de radar-pluviômetro automático e análise de tendência da chuva média em área agrícola. Tese de doutorado da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. 2008.147p.

FERNANDES, R. J. A. R., LEO, J. C., ALFREDO RIBEIRO NETO, A., CIRILO, J. A. Avaliação do Impacto de Novos Empreendimentos nas Inundações Urbanas com o Apoio de Imagens Google Earth – Estudo de Caso em Teresina/PI. Encontro Nacional de Águas Urbanas, X ENAU. **Anais**. São Paulo, SP, 2014.

FERREIRA, C. J. Análise de risco a escorregamento e quantificação da degradação em apoio ao licenciamento ambiental da mineração, Litoral Norte, SP. Instituto Geológico. Congresso brasileiro sobre desastres naturais. Rio Claro, SP. **Anais**. 2012.

FERREIRA, C. J. **Sistema de classificação de unidades territoriais (UTB) do estado de São Paulo e aplicação na análise de risco de eventos geodinâmicos**. VI SIMPÓSIO DOS PÓS-GRADUANDOS EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, Bauru, SP. Out/2016.

FEW R., AHERN M., MATTHIES, F., KOVATS, S. Floods, health and climate change: a strategic review. Working Paper 63. **Tyndall Centre**, 138p. 2004.

FREITAS, C.M., SILVA, D.R.X., SENA, A.R.M., SILVA, E.L., SALES, L.B.F., CARVALHO, M.L., MAZOTO, M.L., BARCELLOS, C., COSTA, A.M., OLIVEIRA, M.L.C. e CORVALÁN, C. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v 19, n 9, pg 3645 – 3656, 2014.

GABET, E. J., BURBANK, D. W., PUTKONEN, J. K., PRATT-SITULA, B. A., OJHA, T. Rainfall thresholds for landsliding in the Himalayas of Nepal. **Geomorphology**. 2004. Vol 63, 131-143.

GARAMBOIS, P. A, LARNIER, K., ROUX, H., LABAT, D., DARTUS, D. Analysis of flash flood-triggering rainfall for a process-oriented hidrological model. **Atmospheric Reserch**. Elsevier. França. 2013.

GARBUTT, K., C. ELLUL, C., FUJIYAMA, T. Mapping social vulnerability to flood hazard in Norfolk, England, *Environmental Hazards*, 14:2, 156-186. **Environmental Hazards**. Vol. 14, No. 2, 156–186.2015.

GARCIA, S. S., AMORIM, R. S. S., COUTO, E. G., STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do

Estado de mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**.V.15, n 6, p. 575-581. Campina Grande, PB.2011.

GOERL, R. F., KOBAYAMA, M. Considerações sobre inundações no Brasil. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. João Pessoa, **Anais**.2005.

GUHA-SAPIR, D., HOYOIS, PH., BELOW, R. **Annual Disaster Statistical Review 2014: the number and trends**. Université Catholique de Louvain.Brussels, Belgium: CRED, 2015.43p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-. **Perfil dos municípios brasileiros 2013**.Pesquisa de Informações Básicas Municipais. Rio de Janeiro, RJ.2014. Disponível em: < ftp://ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municipios >. Acesso em fev, 2015.

IPMET. INSTITUTO DE PESQUISA METEOROLÓGICA -. Disponível em: <http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/defesa_civil/index.php>. Acesso em 17 de out. 2015.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000** (livro eletrônico): nota técnica explicativa. São Paulo. Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2014.

ISDR. INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives. Preliminary version. Geneva, Switzerland: UN/ISDR, 2002.

JABAREEN, Y. Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. **Cities**. Elsevier, p. 220-229.Israel, 2012.

JACOB, A.C.P. **Você sabe qual a diferença entre alagamento e inundação?** 2014. Disponível em: <http://www.aquafluxus.com.br/voce-sabe-qual-a-diferenca-entre-alagamento-e-inundacao/>. Acesso em out. 2015.

KAISER, I. M. **Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos**. Tese doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

KAISER, I. M., PEIXOTO, A. S. P., PELLEGRINA, G. J. Natural Disasters Analysis based on IDF Equations.2015. Fundamentals to Applications in Geotechnics, Amsterdam: IOS Press BV, 2015 v. 1, p. 3019 – 3026.

KELMAN, I., GLANTAZ, M.H. Analyzing the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. **Int J Disaster Risk Sci**. DOI 10.1007/s13753-015-0056-3. 2015.

KOBIYAMA, M. MENDONÇA, M., MORENO, D., A., MARCELINO, I., P., V., O., MARCELINO, E.V., GONÇALVES, E., F., BRAZETTI, L., P., GOERL, R., F., MOLLERI, G., S., F., RUDORFF, F., M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**.1ªed. Curitiba: Organic Trading, 2006, 109p.

KRON, W. “Keynote lecture: Flood risk = hazard x exposure x vulnerability”. **Proceedings of Second International Symposium of Flood Defense**, Beijing, pp 82-97.2002

KRON, W., STEUER, M., LOW, P., WIRTZ, A. How to deal properly with a natural catastrophe database – analysis of flood losses. **Natural Hazards and Earth System Sciences**. Monique, Alemanha, 2012.

LEAL, D. C., PAVANELLO P. H., PINTO, P. H. P. Considerações sobre os impactos hidrometeorológicos e estrutura urbana: o caso de Rio Claro, SP. In: Congresso brasileiro sobre desastres naturais. Rio Claro, SP. **Anais...**Maio de 2012.

LEIVAS, J. L., RIBEIRO, G. G., SOUZA, M. B., ROCHA FILHO, J. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009. INPE, p. 1611-1616.**Anais...**2009.

LERER S. M., SØRUP H. J. D., ARNBJERG-NIELSEN K. and MIKKELSEN P. S. A new tool for quantifying the impacts of water sensitive urban design – the power of simplicity. 10th international urban drainage modeling conference (UDM). **Proceedings**. Setember 20-23, Mont-Sainte-Anne, Quebec, Canadá, 2015.

LIAN, J., XU, H., XU, K., MA, C. Optimal management of the flooding risk caused by the joint occurrence of extreme rainfall and high tide level in a coastal city. **Nat Hazards**. DOI 10.1007/s11069-017-2958-4. Volume 89, Issue 1, pp 183–200. Oct, 2017.

LICCO, E. A. Vulnerabilidade social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis, rio de janeiro. InterfacEHS. **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade** ISSN 1980-0894, Dossiê, Vol. 8, n. 1, 25-41p. 2013.

MARCELINO, E.V., NUNES, L. H, KOBAYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. **Caminhos De Geografia** - revista on line. Disponível em <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em Agos, 2016. 2006.

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. K. The distributions of raindrops with size. **Journal of Meteorology**, Lancaster, v. 5, p. 165-6, 1978.

MARTINEZ JR. F., MAGNI, N. L. G., **Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo – DAEE – EPUSP. 1999.

MELKUNAITE, L., GUAY, F. Resilient City: Opportunities for Cooperation. IAIA 16 Conference **Proceedings**. Resilience and Sustainability 36th Annual Conference of the International Association for IMPact Assessment. Nagoya Congress Center. Aichi-Nagoya. Japan. May, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / instituto de pesquisas tecnológicas – IPT – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

MUGUME, S., N., MELVILLE-SHREEVE, P., GOMEZ, D., BUTLER, D. Multifunctional urban flood resilience enhancement strategies. **Institution of Civil Engineers**. Paper 150078. Abril, 2016.

OLIVEIRA, M. J. G. S. Políticas públicas e o meio ambiente: a questão dos desastres ambientais e seus efeitos na sociedade de risco do Brasil. In: Congresso de meio ambiente, 7°. **Anais**. 22p. La Plata, Argentina. Maio, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU. **Como construir cidades mais resilientes**. Um guia para gestores públicos locais. Uma contribuição à campanha global 2010-2015. Construindo cidades resilientes - Minha cidade está se preparando. Genebra, novembro de 2012.

PAPAGIANNAKI, K., LAGOUVARDOS, K., KOTRONI, V., BEZES, A. Flash flood occurrence and relation to the rainfall hazard in a highly urbanized área. **Natural Hazards and Earth System Sciences**. Greece. 2015.

PELLEGRINA, G. J. **Proposta de um procedimento metodológico para o estudo de problemas geoambientais com base em banco de dados de eventos atmosféricos severos**. 184 p. Dissertação de Mestrado. Área de Geotecnia. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, SP. 2011.

RECKZIEGEL, B.W., ROBAINA S. L. E. Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual. **Revista Ciencia & Natural**. Santa Maria, RS, v. 27, nº 2, p.65-83. 2005. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs2.2.2/index.php/cienciaenatura>>. Acesso em set. 2015.

RODRIGUES, A. C., GÜNTHER, W. M. R., VASCONCELLOS, M. P., DI GIULIO, G. M., BOSCOV, M. E. G. Delineamento da produção científica sobre desastres no Brasil no início deste século. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 34, p. 61-73, ago. 2015.

SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, 15, pp. 231-281. 1977.

SANTOS, F. A. A. **Alagamento e inundação urbana: modelo experimental de avaliação de risco**.164 p.Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém. 2010.

SAUSEN, T. M., NARVAES, I. S. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Inundação** - caderno didático nº 7. INPE. São José dos Campos. 2013. Disponível em: <<http://mtcm19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19/2013/03.28.11.24>>.

SILVA, A. P. M. **Elaboração De Manchas De Inundação Para O Município De Itajubá, Utilizando SIG**.106 p.Dissertação apresentada à Universidade Federal de Itajubá. Tese de mestrado em Engenharia da Energia.Itajubá, 2006.

SILVA, J. P. R. Mapeamento de inundações no Brasil: proposta de gestão ambiental através de um sistema de informações geográficas. **IX Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP Rio Claro**. “Teorias e Metodologias da Geografia: tendências e perspectivas”. UNESP-Rio Claro. 2009.

SWAN, A. How increased urbanisation has induced flooding problems in the UK: A lesson for African cities? **Physics and Chemistry of the Earth** Elsevier, p. 643-647.UK,2010.

TOMINAGA L. K., SANTORO J., AMARAL R. **Desastres Naturais: conhecer para Prevenir**, Instituto Geológico Secretaria do Meio Ambiente Governo do Estado de São Paulo.1º edição. 196p. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TUCCI, C. E. M., COLLISCHONN, W. **Drenagem urbana e controle de erosão**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS. Porto Alegre.2000.

TUCCI, C.E M., BERTONI, J.C. (orgs) Inundações Urbanas na América do Sul Ed. Brasileira de Recursos Hídricos, p. 471. 2003.

TUCCI, C.E.M. **Urban Flood Management**. Global Water Partnership, WMO – World Meteorologic Organisation, Cap-Net. 2007.

YAMAMOTO, M. K., UENO, K., NAKAMURA, K. Comparasion of satellite precipitation products with rain gauge data for the Khumb. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. V. 89, n 6, p. 597-610, 2011.

ZHENG, Z., QI, S., XU, Y. Questionable frequent occurrence of urban flood hazards in modern cities of China. **Nat. Hazards**. China, 2012.

ZONENSEIN, J. **Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes**, 105p. Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2007.

7.APÊNDICE

APÊNDICE A - Dados analisados para o cálculo da declividade e da área drenada.

<u>Q</u>	<u>maior cota (m)</u>	<u>menor cota (m)</u>	<u>AV</u>	<u>menor distância (m)</u>	<u>Declividade %</u>	<u>Q Jusante</u>	<u>Q Montante</u>	<u>A (km²)</u>
10	580	490	90	1085	8,29	11	26	3,25
11	600	530	70	436	16,06	27;12	10	4,25
12	600	575	25	69	36,23	na	11	3,125
25	575	490	85	862	9,86	na	41	2
26	600	495	105	880	11,93	10	27;42	2,25
27	605	530	75	427	17,56	26;43	11;28	1,5
28	605	565	40	720	5,56	27;44	na	1
29	610	585	25	359	6,96	45	na	1
38	565	510	55	498	11,04	na	54	2
39	590	505	85	561	15,15	na	40;55	3
40	600	520	80	678	11,80	39;56	na	1
41	605	510	95	786	12,09	25;57	na	1
42	605	550	55	798	6,89	26;43	na	1
43	585	530	55	655	8,40	na	27;42;44	4,25
44	600	540	60	699	8,58	43	28;45	4,5
45	605	570	35	350	10,00	44	29;61	3
46	595	550	45	571	7,88	na	na	1
47	560	515	45	174	25,86	na	63	3
54	605	550	55	905	6,08	38;55	70	2
55	595	525	70	997	7,02	39	54	3
56	600	535	65	1084	6,00	na	40;72	1
57	595	530	65	947	6,86	73	41	2
58	595	540	55	822	6,69	59;74	na	1
59	565	520	45	620	7,26	na	60	2,5
60	600	535	65	876	7,42	59	61	2
61	600	575	25	676	3,70	62;60;77;45	na	1
62	600	525	75	878	8,54	na	61	2
63	600	520	80	915	8,74	na	47;79	2
70	605	555	50	933	5,36	54;86;71	na	1
71	600	565	35	698	5,01	72;87	70	2
72	580	540	40	953	4,20	56;73;88	71	3
73	565	515	50	822	6,08	89	57;72;74	2,65
74	585	530	55	924	5,95	73;90;75	58	2
75	555	520	35	713	4,91	na	76	3,25
76	595	530	65	750	8,67	75	77	2,5
77	605	535	70	1120	6,25	76;93	61	2
78	605	535	70	896	7,81	94	na	1
79	600	575	25	460	5,43	63;95	na	1

Continuação do APÊNDICE A

<u>Q</u>	<u>maior cota (m)</u>	<u>menor cota (m)</u>	<u>AV</u>	<u>menor distância (m)</u>	<u>Declividade %</u>	<u>Q Jusante</u>	<u>Q Montante</u>	<u>A (km²)</u>
80	595	535	60	720	8,33	64;96	na	1
84	605	565	40	767	5,22	68;85	na	1
85	595	545	50	1084	4,61	86	101;69;84	1,66
86	595	540	55	708	7,77	87	70;85;102	1,66
87	570	520	50	672	7,44	na	71;86;103	3,31
88	570	515	55	805	6,83	104	72	4
89	555	505	50	1079	4,63	105;90	73	3,65
90	550	505	45	823	5,47	na	74;89	4,465
91	570	510	60	695	8,63	107	92	2
92	585	525	60	814	7,37	108;91	na	1
93	570	510	60	850	7,06	na	77;94;109	1
94	590	525	65	970	6,70	93;110	78;95	2,5
95	600	550	50	600	8,33	94;111;96	79	2
96	585	520	65	684	9,50	278;112	80;95	2,5
100	600	550	50	905	5,52	116	na	1
101	600	555	45	755	5,96	117	na	1
102	605	560	45	745	6,04	103;118;86	na	1
103	580	525	55	877	6,27	104;87	102	2
104	560	510	50	674	7,42	na	120;103;88	2,98
105	570	510	60	864	6,94	na	121;89	4,575
106	565	510	55	1026	5,36	90;107	122	5,5
107	560	500	60	639	9,39	na	123;106;91	3,97
108	560	505	55	849	6,48	124	109;92	3,875
109	570	510	60	724	8,29	124;93;108	110	4,75
110	595	520	75	1037	7,23	109	126;94;111	3,75
111	605	565	40	508	7,87	110;112	95;127	3
112	600	525	75	1000	7,50	na	96;111;128;279	2,125
116	600	540	60	947	6,34	na	100;132	2
117	580	530	50	872	5,73	na	101;133	2,5
118	580	525	55	756	7,28	na	102;134	2,5
119	580	515	65	975	6,67	na	120;135	3,25
120	600	515	85	1129	7,53	104;109	136	2
121	605	565	40	894	4,47	122;105	137	3,5
122	580	520	60	933	6,43	106;123;138	121	4,5
123	550	505	45	709	6,35	107;124	122;139	6
124	555	500	55	551	9,98	140	125;108;123	4,361875
125	570	520	50	923	5,42	124;141	126;109	5,3125
126	600	535	65	822	7,91	142;125	110;127	3,875

Continuação do APÊNDICE A

<u>Q</u>	<u>maior cota (m)</u>	<u>menor cota (m)</u>	<u>AV</u>	<u>menor distância (m)</u>	<u>Declividade %</u>	<u>Q Jusante</u>	<u>Q Montante</u>	<u>A (km²)</u>
127	615	540	75	977	7,68	111;126	143	2
128	615	570	45	548	8,21	144;112	na	1
132	605	565	40	888	4,50	116;133	na	1
133	590	540	50	996	5,02	117;134	149;132	2
134	575	525	50	746	6,70	133	118	2
135	590	520	70	1066	6,57	119	136	2,5
136	615	540	75	963	7,79	120;135;137	na	1
137	610	555	55	865	6,36	121;138	136;153	2,5
138	580	545	35	412	8,50	122;137	139	4,5
139	560	505	55	743	7,40	140;123	138	5,5
140	535	500	35	316	11,08	na	124;139;141	9,1441875
141	540	505	35	385	9,09	140;157	142;125	5,375
142	590	515	75	828	9,06	141	126;143	3,4375
143	610	545	65	783	8,30	127;142;159	na	1
144	615	555	60	660	9,09	na	128	2
149	590	555	35	687	5,09	133;150	na	1
150	600	535	65	893	7,28	na	151;166;149	2,485
151	605	550	55	602	9,14	150;135	152	2
152	615	575	40	569	7,03	168;153;151	na	1
153	595	570	25	448	5,58	169;137	152	2
154	595	545	50	826	6,05	155;170	na	1
155	570	520	50	913	5,48	156;171	154	2
156	530	495	35	450	7,78	na	157;155	4,09375
157	560	495	65	944	6,89	156	158;141	4,1875
158	585	545	40	589	6,79	174;157	na	1
159	585	510	75	1046	7,17	175;160	143	2
165	600	570	30	412	7,28	na	na	
166	620	555	65	1040	6,25	150	167;182	2,5
167	625	585	40	839	4,77	166;168	183	2
168	610	555	55	984	5,59	na	152;167	2,5
169	590	525	65	518	12,55	na	153;185	2,5
170	575	510	65	878	7,40	na	154;186	2,5
171	560	500	60	720	8,33	na	187;155	3,5
172	530	495	35	821	4,26	173	188	5
173	555	490	65	952	6,83	189	172	6
174	560	500	60	816	7,35	na	158;190	2
175	565	500	65	866	7,51	na	159;191	2,5
176	585	515	70	682	10,26	na	na	

Continuação do APÊNDICE A

<u>Q</u>	<u>maior cota (m)</u>	<u>menor cota (m)</u>	<u>AV</u>	<u>menor distância (m)</u>	<u>Declividade %</u>	<u>Q Jusante</u>	<u>Q Montante</u>	<u>A (km²)</u>
182	630	515	115	281	40,93	166;181;198	na	1
183	630	590	40	716	5,59	167;154;199	na	1
184	610	550	60	1140	5,26	200	183	2
185	600	570	30	643	4,67	186;169;201	na	1
186	595	535	60	1070	5,61	170;187;202	185	2
187	560	525	35	958	3,65	171;188;203	186	3
188	545	500	45	1051	4,28	172;189	187	4
189	530	490	40	528	7,58	190;173;188	na	4,3
190	570	495	75	914	8,21	174;189;206	na	1
198	605	555	50	863	5,79	197;199	182;214	3
199	615	545	70	1087	6,44	200	183;198;215	1,99
200	590	520	70	1176	5,95	201	184;199;216	2,65
201	590	515	75	907	8,27	na	185;200	2,825
202	585	510	75	1010	7,43	na	186	3
203	555	520	35	785	4,46	219;204	187	4
204	535	505	30	888	3,38	220;205	203	5
205	525	409	116	424	27,36	na	206;204	4,5
214	610	565	45	657	6,85	198;231;230	215	3
215	605	570	35	571	6,13	199;214;231	216	2
216	600	535	65	618	10,52	200;217;215;232	na	1
217	570	515	55	906	6,07	na	216;233	2,5
218	570	505	65	962	6,76	na	234	2
219	550	500	50	851	5,88	na	203;235	4,5
220	520	495	25	637	3,92	na	204;236	5,5
231	580	530	50	1019	4,91	232;215;247	na	2,32
232	590	555	35	499	7,01	231;248	216	2
233	600	555	45	966	4,66	217;249	234	2
234	600	555	45	826	5,45	218;233;250;235	na	1
235	560	525	35	471	7,43	219;236	234;251	3
236	545	515	30	728	4,12	220	235	4
247	565	515	50	617	8,10	231;263	248	4,5
248	575	520	55	809	6,80	264;247	232;249	3,5
249	595	535	60	1064	5,64	265;248	233	3
250	595	555	40	868	4,61	251	234	2
251	575	530	45	1006	4,47	252;235	250	3
252	540	500	40	878	4,56	253	251	4
263	545	495	50	624	8,01	na	247;264	5,5
264	565	510	55	768	7,16	263	248	4,5

Continuação do APÊNDICE A

<u>Q</u>	maior cota (m)	menor cota (m)	<u>AV</u>	menor distância (m)	<u>Declividade %</u>	<u>Q Jusante</u>	<u>Q Montante</u>	<u>A (km²)</u>
265	580	525	55	857	6,42	na	249;266	3
266	585	555	30	500	6,00	265;267	na	1
267	580	540	40	848	4,72	268	266	2
278	555	495	60	522	11,49	na	279;96;277	1,99
279	595	525	70	810	8,64	278;112	280	2
280	615	545	70	1128	6,21	279	281	1

APÊNDICE B: Classificação das áreas de risco em Bauru/SP, segundo metodologia adaptada de El Morjani (2011).

Nº de inundações de 2005-2015	Perigo de inundação Histórica	Nível de Perigo	Endereços-Bauru/SP
24	alto	D	Av. Nacoes Unidas C Linha Ferrea
17	alto	D	Av. Alfredo Maia
6	alto	D	Rua Benevenuto Tiritan, Vila Santa Incs
6	alto	D	Vila Falcao
5	alto	C	Av. Comendador Joscda Silva Marta
5	alto	C	Av. Nacoes Unidas quadra 17
4	médio	C	Av. Comendador J. Da Silva M. com a linha ferrea
4	médio	C	Av. Alfredo Maia
4	médio	C	Centro
3	médio	C	Av. Alfredo Maia quadra 01
3	médio	C	Parque Roosevelt
3	médio	C	Pousada da Esperanca I
2	médio	C	Parque Viaduto
2	médio	C	Santa Candida
2	médio	C	Jardim Ferraz
2	médio	C	Vila Independencia
2	médio	C	Parque Jaraguc Bauru
2	médio	C	rotatoria da Castelo Branco
2	médio	C	Rua Aracjo Leite
2	médio	C	Av. Nacoes Unidas x Av. Rodrigues Alves
2	médio	C	Av. Nacoes Unidas no cruzamento da Rodovia Marechal Rondon
2	médio	C	Av Duque de Caxias
2	médio	C	Av Nuno de Assis
2	médio	C	Vila Industrial
2	médio	C	Jardim Ivone
2	médio	C	Escola Alzira Cardozo
2	médio	C	Ferradura Mirim
2	médio	C	Av Comendador Jose da Silva Martha
1	baixo	B	Parque Viaduto
1	baixo	B	Rua Iracema Goncalves Garrilho
1	baixo	B	Rua Paulo Santos Filho, Parque Viaduto
1	baixo	B	Recinto Melo de Moraes
1	baixo	B	Praca Joaquim Guilherme
1	baixo	B	Rua Bernardino de Campos, Quadra 28
1	baixo	B	Rua Tiradentes, quadra 1
1	baixo	B	Rua Mauro de Almeida Rocha, Quadra 21
1	baixo	B	Av JoscVicente Aiolo
1	baixo	B	Av. Castelo Branco proximo ponte do correjo do sobrado

Continuação do APÊNDICE B

Nº de inundações de 2005-2015	Perigo de inundação Histórica	Nível de Perigo	Endereços-Bauru/SP
1	baixo	B	Rua Felicissimo Antonio Pereira
1	baixo	B	Paraiso
1	baixo	B	R. Salvador Filardi Quadra 17
1	baixo	B	Rua Shimpei Okياما, Quadra 6
1	baixo	B	Rua Venezuela
1	baixo	B	Av Castelo Branco
1	baixo	B	Rua Guatemala
1	baixo	B	V. Nova Esperanca
1	baixo	B	Av. Comendador J. Da Silva M.
1	baixo	B	R. Antonia Fabiano
1	baixo	B	Gabriel Rabelo de Andrade, Parque Jaraguc
1	baixo	B	Parque Jaraguc Bauru
1	baixo	B	R. Luiz Ferrari Quadra 4
1	baixo	B	Parque das Nacoes
1	baixo	B	rotatoria da Duque de Caxias com a Castelo Branco
1	baixo	B	R. Targino Pereira Ferraz do Amaral 2112
1	baixo	B	Rua Alfredo Maia VI Falcao
1	baixo	B	R: Campos Sales Q.1
1	baixo	B	Rua Antonio Prudente, Quadra 1
1	baixo	B	Rua Daniel Pacífico
1	baixo	B	Parque Santa Edwirges
1	baixo	B	Rua 7 de Setembro
1	baixo	B	Vila Mariana
1	baixo	B	Bairros Central, Falcao, Paraiso
1	baixo	B	R. Monsenhor Claro
1	baixo	B	Praca Machado de Melo
1	baixo	B	Av. Nacoes Unidas
1	baixo	B	Rua Eurico Ayres Prado, Quadra 1
1	baixo	B	Rua 13 de Maio
1	baixo	B	Rua Maria Francisca Pereira, Quadra 4
1	baixo	B	Afonso Pena
1	baixo	B	Jurandir Bueno
1	baixo	B	R: Aviador Gomes Ribeiro Q.1
1	baixo	B	Rua Aviador Gomes Ribeiro, Quadra 1
1	baixo	B	Av NacoesUnidas quadra 17
1	baixo	B	Av. Nacoes Unidas, 19
1	baixo	B	Jardim Niceia
1	baixo	B	Av. Rodrigues Alves C Viaduto Marechal

Continuação do APÊNDICE B

Nº de inundações de 2005-2015	Perigo de inundação Histórica	Nível de Perigo	Endereços-Bauru/SP
1	baixo	B	Rua Saint Marten
1	baixo	B	Av. Nacoes Unidas altura do acesso c Vl. Garcia
1	baixo	B	Av. Alfredo Maia
1	baixo	B	Av. Rodrigues Alves C Viaduto Marechal
1	baixo	B	Av Nuno de Assis Acesso ao Mary Dota
1	baixo	B	Av. Nacoes Unidas, Jd. Cruzeiro do Sul, Carolina e Geisel
1	baixo	B	Ncleo Geisel
1	baixo	B	Av. Cruzeiro do Sul quadra 19
1	baixo	B	Rua Octacilio Andrade Tourino
1	baixo	B	Av Rodrigues Alves
1	baixo	B	Bairro Beija-Flor
1	baixo	B	R. Banedito JoscAllegro Quadra 6
1	baixo	B	Av. Rodrigues Alves x Rua Joaquim Marqucs Figueiredo
1	baixo	B	Pousada da Esperanca I
1	baixo	B	Av Cruzeiro do Sul
1	baixo	B	Rua Valdevino Sobreiro quadra 2 Pousada da Esperanca,
1	baixo	B	Parque Jclio N@brega
1	baixo	B	Vila Sco Paulo
1	baixo	B	Pousada da Esperanca I
1	baixo	B	Rua Jorge Achineyder Filho, Quadra 13
1	baixo	B	Av. Nacoes Unidas
1	baixo	B	Rua Joaquim Marques Figueredo, Quadra 6
1	baixo	B	Rua Flcvio Aredes, Jardim Tangaras
1	baixo	B	R: Natal Formazzani
1	baixo	B	Av Rodrigues Alves
1	baixo	B	Nucleo Octavio Rasi
1	baixo	B	Rua Joaquim Radicopa, Quadra 3
1	baixo	B	Av Alfredo Maia com Av Castelo Branco
1	baixo	B	Castelo Branco e Duque de Caxias
1	baixo	B	Av Antonio Fortunato, Quadra 1
1	baixo	B	Parque Vista Alegre
1	baixo	B	Av. Nacoes Unidas proximo ao pontilhco da Av. Duque de Caxias
1	baixo	B	Av Nuno de Assis, Quadras 18 e 19
1	baixo	B	Av. Nacoes Unidas, Q24
1	baixo	B	Av Rodrigues Alves Acesso ao Redentor
1	baixo	B	Jardim Carolina
1	baixo	B	Ferradura Mirim
1	baixo	B	Av Rodrigues Alves, Quadra 1

Continuação do APÊNDICE B

N° de inundações de 2005-2015	Perigo de inundação Histórica	Nível de Perigo	Endereços-Bauru/SP
1	baixo	B	Av. Elias Miguel Maluf
1	baixo	B	R. Antonio Ferreira de Menezes Quadra 1
1	baixo	B	Av. Duque de Caxias na altura do viaduto da Av. Nacoes Unidas
1	baixo	B	Av. Rodrigues Alves sobre rodovia Marechal Rondon
1	baixo	B	Alameda das Turmalinas, Santa Edwirges
1	baixo	B	Manoel Rodrigues Pedrosa
1	baixo	B	Av Rodrigues Alves

APÊNDICE C: Período de Retorno para a cidade de Bauru.

MINUTOS	10	20	30	40	50	60	120	180	240	300	360	420	480	TRMax	1/TRMax
DATA	TR10	TR20	TR30	TR40	TR50	TR60	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8		
20/01/2005	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,23	1,31	1,43	1,41	1,38	1,37	1,43	0,69
25/02/2005	1,48	2,32	2,74	3,17	4,40	4,77	3,42	2,81	2,39	2,17	2,03	1,93	1,86	4,77	0,20
16/03/2005	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
08/01/2006	1,03	1,02	1,14	1,28	1,39	1,47	1,35	1,25	1,20	1,21	1,19	1,18	1,17	1,47	0,68
15/02/2006	1,09	1,09	1,05	1,10	1,16	1,14	2,35	2,28	3,16	3,49	3,25	3,04	2,85	3,48	0,28
06/03/2006	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20/11/2006	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13/01/2007	1,09	1,14	1,09	1,08	1,09	1,08	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,13	0,88
28/01/2007	1,39	1,15	1,10	1,19	1,17	1,20	1,14	1,10	1,08	1,08	1,08	1,07	1,08	1,38	0,72
11/03/2007	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16/07/2007	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	0,99
23/07/2007	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,26	1,34	1,52	1,72	1,88	1,98	1,98	0,50
25/07/2007	1,00	1,01	1,02	1,04	1,11	1,10	1,06	1,31	1,53	1,69	1,65	1,69	1,65	1,69	0,59
27/07/2007	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
06/11/2007	1,02	1,18	1,34	1,20	1,15	1,17	1,84	2,06	2,77	3,01	3,29	3,44	3,52	3,51	0,28
12/12/2007	1,00	1,02	1,03	1,02	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,05	1,06	1,07	1,09	1,09	0,91
04/01/2008	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
29/10/2008	1,30	1,41	1,38	1,23	1,14	1,10	1,04	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,41	0,70
10/11/2008	1,38	1,13	1,06	1,13	1,09	1,08	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,38	0,72
02/01/2009	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,05	1,06	1,07	1,06	1,06	0,94
14/01/2009	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12/02/2009	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continuação da APÊNDICE C.

MINUTOS	10	20	30	40	50	60	120	180	240	300	360	420	480	TRMax	1/TRMax
DATA	TR10	TR20	TR30	TR40	TR50	TR60	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8		
03/09/2009	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
23/09/2009	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,05	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,09	1,09	0,91
28/11/2009	6,55	10,51	6,56	4,23	3,12	2,50	1,56	1,40	1,32	1,27	1,25	1,23	1,22	10,51	0,09
02/12/2009	1,23	1,17	1,10	1,07	1,05	1,03	1,21	1,14	1,11	1,10	1,12	1,11	1,11	1,23	0,81
07/10/2010	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,04	0,96
30/11/2010	1,73	1,41	1,28	1,17	1,10	1,07	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,72	0,58
08/01/2011	1,02	1,13	1,21	1,47	1,77	1,66	1,26	1,17	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,77	0,56
13/01/2011	1,00	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	0,99
25/01/2011	1,66	3,00	3,78	2,83	2,31	2,10	1,44	1,30	1,24	1,21	1,19	1,18	1,17	3,77	0,26
16/02/2011	1,18	1,36	1,59	1,90	1,80	2,07	1,98	1,74	1,83	1,91	1,82	1,75	1,69	2,06	0,48
28/02/2011	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15/10/2011	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	0,98
22/11/2011	1,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,06	0,94
08/12/2011	1,01	1,00	1,01	1,12	1,14	1,20	1,89	3,46	3,31	3,74	3,43	3,16	2,97	3,73	0,26
14/02/2012	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15/03/2012	53,64	101,07	64,02	33,01	20,26	13,95	6,07	4,56	3,66	3,18	2,89	2,69	2,55	101,06	0,00
04/06/2012	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
23/10/2012	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13/11/2012	1,20	1,20	1,07	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,20	0,83
24/11/2012	1,00	1,00	1,01	1,05	1,05	1,06	1,04	1,05	1,07	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	0,93
04/01/2013	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	0,98
12/03/2013	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continuação da APÊNDICE C.

MINUTOS	10	20	30	40	50	60	120	180	240	300	360	420	480	TRMax	P=1/TRMax
DATA	TR10	TR20	TR30	TR40	TR50	TR60	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8		
15/03/2013	3,45	2,00	1,65	1,37	1,23	1,16	1,06	1,04	1,04	1,03	1,04	1,04	1,04	3,45	0,28
27/05/2013	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05	1,12	1,12	1,12	0,89
21/07/2013	1,15	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,15	0,86
04/11/2013	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21/11/2013	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	1,00
30/11/2013	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
05/12/2013	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
23/01/2014	1,01	1,08	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,08	0,92
20/03/2014	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
02/09/2014	2,93	1,54	1,15	1,08	1,04	1,03	1,09	1,07	1,08	1,08	1,08	1,10	1,12	2,93	0,34
24/09/2014	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
26/09/2014	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	0,98
05/01/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	0,99
07/01/2015	1,03	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	0,98
14/01/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21/01/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
09/02/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
07/03/2015	5,46	7,70	10,37	6,66	4,92	4,21	2,48	2,36	2,17	1,98	1,87	1,79	1,73	10,37	0,09
21/04/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10/05/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
25/09/2015	44,13	6,14	2,54	1,77	1,66	1,51	3,69	4,49	4,53	4,11	4,10	4,13	3,82	44,12	0,02
17/11/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continuação da APÊNDICE C.

MINUTOS	10	20	30	40	50	60	120	180	240	300	360	420	480	TRMax	P=1/TRMax
DATA	TR10	TR20	TR30	TR40	TR50	TR60	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8		
23/11/2015	2,51	1,54	1,28	1,28	1,35	1,34	1,34	1,31	1,30	1,30	1,27	1,25	1,23	2,50	0,40
24/11/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	0,98
10/12/2015	1,03	1,17	1,28	1,25	1,20	1,15	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,27	0,78
25/12/2015	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
28/12/2015	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	0,97

APÊNDICE D: cálculo do TR máximo por localidade.

Repetição de Ocorrências	lat	long	Soma de TRmax	Soma de 1/TRMax
1	-22.2676	-49.0797	1.23	0.81
1	-22.2719	-49.0706	4.77	0.2
3	-22.2719	-49.0703	6.38	1.65
1	-22.2738	-49.0745	1.08	1.56
1	-22.2763	-49.0677	4.77	0.88
2	-22.2768	-49.0644	2.6	0.2
1	-22.280	-49.0748	1	0.92
2	-22.2984	-49.0356	2	0.96
3	-22.3001	-49.0995	6.08	1
1	-22.3005	-49.0947	1	2
1	-22.3029	-49.0512	1.38	0.58
1	-22.3048	-49.0036	1.13	1
1	-22.305	-49.0927	1.08	0.69
1	-22.3051	-49.0498	1	1
1	-22.306	-49.0662	1	0.98
1	-22.3063	-49.0946	1.08	0.28
1	-22.3086	-49.1025	1.13	1.37
2	-22.3091	-49.0502	2.01	0.99
1	-22.3091	-49.0148	1.72	0.72
1	-22.3098	-49.0844	1.77	1
1	-22.310	-49.0051	1.04	1.41
1	-22.3103	-49.0233	1	1
1	-22.3106	-49.0556	1.08	1
2	-22.3109	-49.1088	2.13	0.94
1	-22.311	-49.0615	1	1
1	-22.3112	-49.1088	1.02	1.99
1	-22.3119	-49.0701	1	0.58
1	-22.312	-49.027	1.02	1
1	-22.3123	-49.1096	1.77	0.92
1	-22.3128	-49.093	1.77	1
2	-22.3129	-49.0337	2.81	0.68
1	-22.3134	-49.100	1	1
1	-22.314	-49.0341	1	0.28
1	-22.3141	-49.0356	1.06	1
1	-22.3146	-49.1074	1.01	1
1	-22.3155	-49.0411	1	0.5
1	-22.3159	-49.0784	1.77	1
24	-22.3159	-49.0689	144.66	1
1	-22.3159	-49.0197	3.48	0.7
1	-22.316	-49.0177	1	1
1	-22.3166	-49.0286	1	1.84
1	-22.3171	-49.0694	1.72	0.92

Continuação do APÊNDICE D

Repetição de Ocorrências	lat	long	Soma de TRmax	Soma de 1/TRMax
1	-22.3175	-49.1113	1.02	17.61
2	-22.318	-49.0159	2.9	0.56
1	-22.3182	-49.0083	1.43	0.58
1	-22.3186	-49.0689	3.48	0.28
1	-22.3186	-49.0541	1	0.92
1	-22.3186	-49.054	1.41	1.86
1	-22.3189	-49.0292	1.72	0.56
1	-22.3193	-49.0976	44.12	0.28
1	-22.3206	-49.0748	1	0.28
1	-22.3207	-49.0403	3.51	1
2	-22.3218	-49.0669	3.51	0.91
2	-22.3221	-49.1323	2.47	1
1	-22.3223	-49.0891	1.08	0.56
1	-22.323	-49.0293	1.47	0.88
4	-22.3231	-49.0728	8.62	0.09
1	-22.3235	-49.0782	3.45	4.34
1	-22.3236	-49.0172	1	0.28
1	-22.3242	-49.0649	1	2.6
1	-22.3243	-49.0389	1	0.92
1	-22.3253	-49.0046	1.01	0.97
2	-22.3254	-49.0521	2.15	1
1	-22.3261	-49.0306	1	1
1	-22.327	-49.0623	10.37	0.58
6	-22.3273	-49.0858	10.62	0.28
1	-22.3274	-49.062	3.51	1.88
1	-22.3275	-49.1205	1.06	0.09
5	-22.3275	-49.0618	5.99	0.98
4	-22.3276	-49.0832	5.45	0.92
1	-22.3276	-49.0541	3.48	0.09
1	-22.3276	-49.0342	1.98	0.56
1	-22.3281	-49.0806	1	1
1	-22.3283	-49.108	1	0.99
2	-22.3285	-49.0672	1.72	1
1	-22.3285	-49.0629	1.08	1
1	-22.3285	-49.0609	3.51	0.02
1	-22.3286	-49.0635	1	1
1	-22.3287	-49.1134	1.09	0.68
1	-22.3289	-49.0845	1	3.18
17	-22.329	-49.0839	130.31	4.6
1	-22.3297	-49.0761	1	13.4
1	-22.3302	-49.0762	1	1
1	-22.3302	-49.086	1.38	0.98

Continuação do APÊNDICE D

Repetição de Ocorrências	lat	long	Soma de TRmax	Soma de 1/TRMax
1	-22.3309	-49.1067	1	2.83
3	-22.3309	-49.0852	3.2	0.72
1	-22.331	-49.0578	1.03	0.28
1	-22.3311	-49.0853	3.51	0.92
1	-22.3312	-49.0702	1	0.78
1	-22.3319	-49.0858	1.27	0.48
2	-22.3319	-49.0857	11.71	0
1	-22.332	-49.0859	2.06	1
1	-22.332	-49.0858	101.06	1
1	-22.3325	-49.1059	1	1
1	-22.3375	-49.0949	3.73	1
2	-22.3379	-49.0882	6.15	1
1	-22.3383	-49.0736	1	0.91
1	-22.3394	-49.0909	1.72	1
2	-22.3394	-49.0477	10.37	0.26
1	-22.3398	-49.1085	1	0.58
1	-22.3412	-49.1137	1	2.08
1	-22.3414	-49.1085	1.02	3.04
1	-22.3422	-49.0663	1	5.12
1	-22.3423	-49.1323	1.47	1.68
2	-22.3423	-49.1154	2.69	1
1	-22.3425	-49.0884	3.77	0.94
1	-22.3432	-49.1122	1.77	0.88
1	-22.3436	-49.0856	3.77	0.26
1	-22.3445	-49.0956	1.23	0.59
1	-22.3447	-49.0777	1	0.26
6	-22.3449	-49.0796	8.62	0.81
5	-22.3453	-49.0785	113.58	1.28
4	-22.3454	-49.0783	6.78	1
1	-22.3469	-49.0407	1.47	0
2	-22.3505	-49.084	4.45	1
2	-22.3507	-49.0983	2.13	0.56
1	-22.3516	-49.0875	101.06	1.59
1	-22.3529	-49.0649	1.13	1.88
1	-22.3531	-49.0651	1.69	1
1	-22.3571	-49.0941	1	0.68
1	-22.3717	-49.0687	1.01	0.99

APÊNDICE E: Tabela com dados de precipitação em mm de pluviômetro automático e radar.

17/11/2015	CEMADEN 1		CEMADEN 2		CEMADEN 4		CEMADEN 5		CEMADEN 6		CEMADEN 7		CEMADEN 8		IPMET 9	
	Pluv.	Radar	Pluv.	Radar												
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	0	8,43	0	1,82	0	10,84	0	2,93	0	0,81	0	5,06	0	3,82	6,096	0,67
03:00	0	9,09	0	4,58	0	5,37	0	5,1	0	1,56	0	5,33	0	4,22	2,286	1,00
04:00	0,6	3,22	0	2,04	0	3,74	0	2,09	0	1,00	0	2,13	0	2,00	2,032	0,79
05:00	16,6	0,41	7	0,25	14,6	0,51	8,2	0,26	5,2	0,13	12,4	0,27	21,2	0,26	0	0,07
06:00	4,2	0,67	2,8	0,04	4,4	0,10	1,6	0,04	3,2	0,02	4,4	0,03	4	0,03	0	0,02
07:00	1,6	0,02	1,4	0,01	2,4	0,06	1,4	0	2,8	0	1,8	0	2,2	0	0	0
08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00	0	1,68	0	4,37	0	1,32	0	4,04	0	2,96	0	10,93	0	0,22	7,62	0,80
17:00	0	1,08	0	1,78	0	0,45	0	2,73	0	0,98	0	2,17	0	0,30	9,144	0,51
18:00	0	1,42	0	2,29	0	0,83	0	2,47	0	0,35	0	1,38	0	0,53	1,27	0,30
19:00	4,2	0,36	13,8	0,45	0,8	0,43	12,4	0,44	2,4	0,19	7	0,70	1,2	0,21	0	0,12
20:00	5,2	0,43	5,2	0,56	9,8	0,65	4	0,50	10,4	0,16	5,4	0,40	12,4	0,30	0	0,07
21:00	2	0,05	1,2	0,07	1,6	0,11	1	0,09	1,6	0,03	1,6	0,05	1,8	0,04	0	0,02
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0