



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Fernanda Santa Barbara Vissirini

**Redução do Risco de Desastres Hidrológicos: Aperfeiçoamento do Sistema
de Alerta na Bacia do rio Capivari, RJ**

Rio de Janeiro

2018

Fernanda Santa Barbara Vissirini

**Redução do Risco de Desastres Hidrológicos: Aperfeiçoamento do Sistema de Alerta na
Bacia do rio Capivari, RJ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Saneamento Ambiental – Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Alfredo Akira Ohnuma Junior

Coorientadora: Prof. Rosa Maria Formiga Johnsson

Rio de Janeiro

2018

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

V833 Vissirini, Fernanda Santa Barbara.
Redução do risco de desastres hidrológicos: aperfeiçoamento do sistema de alerta na Bacia do rio Capivari, RJ / Fernanda Santa Barbara Vissirini. – 2018.
165f.

Orientador: Alfredo Akira Ohnuma Junior.
Coorientador: Rosa Maria Formiga Johnsson.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental - Teses. 2. Desastres ambientais - Teses. 3. Hidrologia - Teses. 4. Defesa civil - Teses. I. Ohnuma Junior, Alfredo Akira. II. Johnsson, Rosa Maria Formiga. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 556.166

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Fernanda Santa Barbara Vissirini

**Redução do Risco de Desastres Hidrológicos: Aperfeiçoamento do Sistema de Alerta na
Bacia do rio Capivari, RJ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Saneamento Ambiental – Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos.

Aprovada em 27 de março de 2018.

Banca Examinadora:

Prof. Alfredo Akira Ohnuma Junior (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Rosa Maria Formiga Johnsson (Coorientadora)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Julio César da Silva
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Édison Renato
COPPE - UFRJ

Rio de Janeiro

2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que disponibilizam seu tempo ao trabalho voluntário e serviço ao próximo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, à minha família e amigos.

Ao meu Orientador e amigo professor Akira, pela confiança, liberdade e longas conversas sobre desenvolvimento humano. À querida e professora e coorientadora, Rosa Formiga, pelos ensinamentos e puxões de orelha (quando foram necessários).

Aos colegas da “SEMDECPS”, por me apresentarem uma nova perspectiva sobre a Defesa Civil e a paixão por cuidar do ser humano, ainda que seja um desconhecido. Em especial ao Cel. BM Silva Costa, Ten. Cel. BM Felix e Major BM Vilson por todos os ensinamentos e incentivo para seguir com os estudos. À amiga de alma Camila Magalhães pela parceria sempre, e aos meus eternos estagiários Tiago, Isaque e Luciana, pela troca constante. Ao Ten. Cel. BM Werner e Major BM Sílvia por me permitirem continuar nessa extraordinária jornada da defesa civil e não medirem esforços em ajudar o próximo.

Agradeço a todos que ajudaram para que eu pudesse concluir esta etapa e que de alguma maneira contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

Why worry? If you've done the very best you can, worrying won't make it any better.

Walt Disney

RESUMO

VISSIRINI, F. S. B. *Redução do risco de desastres hidrológicos: aperfeiçoamento do sistema de alerta na bacia do rio Capivari*, RJ. 2018. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

As políticas atuais de redução de risco de desastres buscam prevenir novas ameaças, reduzir os existentes e aumentar a resiliência. A falta de continuidade na coleta de dados e carência de profissionais com conhecimento específico nos órgãos de defesa civil evidencia a necessidade de metodologias de redução de riscos de desastres. As características geomorfológicas favoráveis à ocorrência de inundações bruscas na bacia do rio Capivari, sobretudo após o evento de janeiro de 2013, em Xerém, Duque de Caxias-RJ, incentivaram a presente pesquisa a propor aprimoramentos no atual sistema de alerta de cheias, com o estabelecimento de limiares de chuva a partir de dados de monitoramento hidrológico. A metodologia de trabalho consiste da análise da correlação entre a pluviometria, o nível do rio e a participação da sociedade civil na identificação de ocorrências junto à defesa civil de modo a permitir a criação de um banco de dados de desastres hidrológicos e posterior concepção das linhas críticas para mudanças de estágios de monitoramento. O mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, os limiares de emissão de alerta e a utilização da curva cobra como ferramentas de análise de dados compilados do monitoramento hidrometeorológico mostraram-se capazes de avaliar os riscos de desastres e a antecipação de possíveis danos. Avaliações técnicas como análises de frequência de eventos extremos; modelagem hidráulica; correlação chuva *versus* inundação, e a definição de estados operacionais e estágios de monitoramento, para a prevenção de desastres na bacia do rio Capivari, foram definidos como ações primordiais para a melhoria do sistema de alerta de cheias e a incorporação nas ações de defesa civil. Frente a um cenário político e econômico crítico e de retrocesso a previsão de desastres, entende-se a necessidade de ferramentas simples no apoio à tomada de decisão aos órgãos de defesa civil. Ainda que a proposta deste trabalho não substitua o agente técnico do monitoramento em tempo real, estas ferramentas implicam em maior abrangência e assertividade dos órgãos competentes para emissão de alerta de cheias.

Palavras-Chave: Emissão de alerta; Monitoramento hidrológico; Evento extremo; Defesa civil; Gestão de risco.

ABSTRACT

VISSIRINI, F. S. B. *Reduction of the risk of hydrological disasters: improvement of the alert system in the Capivari river basin, RJ.* 2018. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Current disaster risk reduction policies seek to prevent new threats, reduce existing ones, and increase resilience. The lack of continuity in data collection and the lack of professionals with specific knowledge in the civil defense agencies evidences the need for disaster risk reduction methodologies. The geomorphological characteristics favorable to the occurrence of abrupt flooding in the Capivari river basin, especially after the January 2013 event in Xerém, Duque de Caxias, RJ, encouraged the present research to propose improvements in the current flood warning system, with the establishment of rainfall thresholds from hydrological monitoring data. The work methodology consists of analyzing the correlation between rainfall, river level and the participation of civil society in the identification of occurrences with the civil defense in order to allow the creation of a database of hydrological disasters and subsequent design of the lines critical for changes in monitoring stages. The mapping of areas susceptible to flooding, alert emission thresholds, and curve utilization as compiled data analysis tools of hydrometeorological monitoring were able to assess the risks of disasters and the anticipation of possible damages. Technical assessments such as frequency analyzes of extreme events; hydraulic modeling; correlation between rainfall and flood, and the definition of operational states and monitoring stages for the prevention of disasters in the Capivari river basin were defined as primary actions for the improvement of flood warning system and incorporation in civil defense actions. In view of a critical political and economic scenario and a setback for disaster prediction, it is understood that there is a need for simple tools to support decision-making for civil defense agencies. Although the proposal of this work does not replace the technical agent of the monitoring in real time, these tools imply in greater comprehensiveness and assertiveness of the competent bodies for emission of flood warning.

Keywords: Alert emission; Hydrological monitoring; Extreme event; Civil defense; Risk management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da bacia do rio Capivari – Duque de Caxias, RJ	21
Figura 2 - Cenário do desastre ocorrido no rio João Pinto (Xerém).....	22
Figura 3 – Reconstrução da infraestrutura atingida pelo desastre, em Xerém.	22
Figura 4 – Fluxograma metodológico sobre o aprimoramento do sistema de alerta de cheias	24
Figura 5 – Elementos chave para o gerenciamento de risco de desastre.....	27
Figura 6 – Definição de Desastres	28
Figura 7 – Metas globais do Quadro de Sendai (2015-2030).....	30
Figura 8 – Desastres relacionados ao fenômeno que desencadeia	31
Figura 9 – Percentual de ocorrências, por desastre natural (Período 1995-2015).....	32
Figura 10 – Número de desastres hidrometeorológicos no mundo (Período 1995-2015).....	33
Figura 11 – Distribuição dos desastres por região no Brasil (Período 1991-2012).....	34
Figura 12 – Reconhecimentos de situação de emergência e estado de calamidade pública no Brasil (2003-2015).....	35
Figura 13 – Número de afetados por desastres relacionados ao clima (1995-2015).....	36
Figura 14 – Relação da pobreza e os desastres.....	37
Figura 15 – Relação das mudanças climáticas e os desastres.....	40
Figura 16 – Gestão de risco – Integração em Proteção e Defesa Civil	43
Figura 17 – Fluxo e procedimentos do SAC	52
Figura 18 – Fluxo de trabalho para aprimoramento do SAC	59
Figura 19 – Critérios utilizados na determinação dos graus de probabilidade de ocorrência de escorregamentos.	62
Figura 20 – Distribuição pluviométrica em Duque de Caxias, RJ e bacia do rio Capivari.....	63
Figura 21 – Limite e Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Tinguá.....	66
Figura 22 – Rede de monitoramento existente na bacia do rio Capivari, RJ.	68
Figura 23 – Exemplo de uma chuva ininterrupta para análise de frequência (Estação Capivari).	80
Figura 24 – Mapa de risco adaptado do PMRR na cidade de Duque de Caxias-RJ baseado nas ocorrências da defesa civil.....	82
Figura 25 – Esquema de representação do hidrograma do método HUT.....	83
Figura 26 – Seção hipotética do ponto de monitoramento do rio Capivari.....	105
Figura 27 – Mapa de suscetibilidade à inundação no rio João Pinto.....	115
Figura 28 – Chamadas telefônicas para o 199 (Defesa Civil), por dia.....	130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Totais Anuais das Estações existentes na Bacia do rio Capivari, RJ.....	69
Gráfico 2 – Média Mensal (ordenada principal) e % de dias sem chuva (ordenada secundária) da Estação de Xerém na Bacia do rio Capivari, RJ.....	71
Gráfico 3 – Média Mensal (ordenada principal) e % de dias sem chuva (ordenada secundária) da Estação Ponte de Ferro Capavari na Bacia do rio Capivari, RJ.....	71
Gráfico 4 – Máximas anuais das estações existentes na Bacia do rio Capivari, RJ.....	72
Gráfico 5 – Níveis máximos anuais verificados no ponto monitorado (Estação Ponte de Ferro Capivari).....	74
Gráfico 6 – Níveis médios mensais verificados no ponto monitorado (Estação Ponte de Ferro Capivari).....	74
Gráfico 7 – Curva-chave para o ano de 2000, da Estação Ponte de Ferro Capivari (ANA). ...	75
Gráfico 8 – Estabelecimento do limiar de chuva pelo Método D’Orsi.	92
Gráfico 9 – Exemplo de gráfico da chuva efetiva, Petrópolis, RJ.....	96
Gráfico 10 – Exemplo da curva cobra, Petrópolis, RJ	97
Gráfico 11 – Relações IDF para a Estação de Ponte de Ferro Capivari, Bacia do rio Capivari	102
Gráfico 12 – Relações IDF para a Estação de Ponte de Ferro Capivari, Bacia do rio Capivari	103
Gráfico 13 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 15/01/2010).....	106
Gráfico 14 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 27/01/2013).....	106
Gráfico 15 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (06/04/2010).....	107
Gráfico 16 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (21/01/2013).....	107
Gráfico 17 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 02/01/2016).....	108
Gráfico 18 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 11/11/2009).....	109
Gráfico 19 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 04/12/2009).....	109
Gráfico 20 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 30/12/2009).....	110
Gráfico 21 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 16/01/2016).....	110
Gráfico 22 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 17/03/2013).....	111
Gráfico 23 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 02/01/2013).....	112
Gráfico 24 – Eventos com registro de ocorrência plotados na curva chave da estação do Capivari.	118

Gráfico 25 – Eventos de chuva nas estações estudadas.....	119
Gráfico 26 – Linha crítica das estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.....	120
Gráfico 27 – Linha de probabilidade média das estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.....	121
Gráfico 28 – Linha de probabilidade alta das estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.....	121
Gráfico 29 – Limiares de chuva para mudança de estágio das estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.	122
Gráfico 30 – Tempos de meia vida para as estações estudadas.....	125
Gráfico 31 – Linha de probabilidade média das estações estudadas, definidas pelo método compartilhado.....	125
Gráfico 32 – Linha de probabilidade alta das estações estudadas, definidas pelo método compartilhado.....	126
Gráfico 33 – Linha crítica das estações estudadas, definidas pelo método compartilhado....	126
Gráfico 34 – Limiares de chuva para mudança de estágio das estações estudadas, definidas pelo método compartilhado.	127
Gráfico 35 – Nível do rio Capivari, em Duque de Caxias-RJ.....	129
Gráfico 36 – Chuva cobra para Estação Capivari no dia 15/01/2016.	132
Gráfico 37 – Chuvas efetivas para Estação Capivari no dia 15/01/2016.	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de uso e ocupação do solo na bacia do rio Capivari, RJ.....	65
Tabela 2 – Rede telemétrica da bacia do rio Capivari, RJ.....	67
Tabela 3– Coeficientes de conversão da IDF considerada.	79
Tabela 4–Coeficientes de contração e expansão.....	85
Tabela 5– Procedimentos de monitoramento, alerta; nível operacional e evacuação para desastres.....	90
Tabela 6 – Níveis de Emergência Municipal.....	91
Tabela 7 – Exemplo de cálculo da chuva efetiva, Petrópolis, RJ	94
Tabela 8 – Resumo da distribuição de Gumbel dos postos estudados na Bacia do rio Capivari	100
Tabela 9 – Relação PDF para a Estação de Xerém, Bacia do rio Capivari - RJ.....	100
Tabela 10 – Relação PDF para a Estação Ponte de Ferro Capivari, Bacia do rio Capivari - RJ	101
Tabela 11 – Coeficientes para a região 3, Bacia do rio Capivari - RJ	101
Tabela 12 – Relação IDF para a Estação de Ponte de Ferro Capivari, Bacia do rio Capivari	102
Tabela 13 – Relação IDF para a Estação Xerém, Bacia do rio Capivari - RJ	103
Tabela 14 – Eventos na estação Capivari.	104
Tabela 15 – Eventos na estação Xerém.	104
Tabela 16 – Características físicas das bacias do rio Capivari e João Pinto.....	113
Tabela 17 – Resultado da modelagem hidrológica para as bacias do rio Capivari e João Pinto, referente a intensidade pluviométrica (I_{TR}) e a vazão (Q_{TR}) para diferentes períodos de retorno (TR).	114
Tabela 18 – Estações analisadas do SAC (Ponte de Ferro Capivari e Xerém).....	116
Tabela 19 – Quantidade de eventos para cada estágio definido.	117
Tabela 20 – Eventos com registro de ocorrência na Bacia do rio Capivari, RJ.....	117
Tabela 21 – Limiares de mudança de estágio para as estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.	122
Tabela 22 – Procedimentos de monitoramento, com os limiares para emissão de alerta para estação Ponte de Ferro Capivari.	123

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Função exponencial	75
Equação 2: Relação polinomial cota <i>versus</i> descarga do Posto Capivari em Duque de Caxias-RJ.....	76
Equação 3: Função de probabilidade de Gumbel	77
Equação 4: Valor esperado	78
Equação 5: Variância	78
Equação 6: Coeficiente de assimetria.....	78
Equação 7: Relação IDF (CPRM)	78
Equação 8: Relação IDF para a região de Xerém.....	79
Equação 9: Equação de convolução	83
Equação 10: Equação de Bernoulli.....	84
Equação 11: Perda de carga	85
Equação 12: Coeficientes de ponderação de velocidade	86
Equação 13: Fórmula de Manning.....	86
Equação 14: Chuva efetiva.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAAA	<i>Addis Ababa Action Agenda</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
CEDEC	Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
COBRADE	Codificação Brasileira de Desastres
COP21	<i>United Nations Climate Change Conference</i>
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRED	<i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i>
DE	Diretiva Europeia
DRIB	Indicadores de Risco de Desastres no Brasil
DRM	Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro
EM-DAT	<i>The International Disaster Database</i>
FMIP	Faixa Máxima de Inundações Prováveis
GEACAP	Grupo Especial para assuntos de Calamidades Públicas
GFDRR	<i>Global Facility for Disaster Reduction and Recovery</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IVSA	Índice de Vulnerabilidade Socioambiental
NUDEC	Núcleos Comunitários de Defesa Civil
ONU	Organização das Nações Unidas
PMDC	Prefeitura Municipal de Duque de Caxias
PMRR	Plano Municipal de Redução de Risco
PNDC	Política nacional de Defesa Civil
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
S2ID	Sistema de Informações sobre Desastres
SAC	Sistema de Alerta de Cheias
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre recursos Hídricos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
Contextualização.....	17
Problemática da pesquisa.....	18
Justificativa	20
Objetivos	22
Procedimento metodológico	23
Estrutura da Dissertação	25
1 PILARES DA GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES HIDROLOGICOS E SUA EVOLUÇÃO	26
1.1 Panorama dos Desastres	28
1.2 Risco de Inundação	35
1.3 Mudanças climáticas e Eventos Extremos	40
1.4 Gestão de Risco de Desastres Hidrológicos.....	42
1.4.1 Política Nacional de Proteção e Defesa Civil	46
1.5 Mapeamento das áreas de risco hidrológico	48
1.6 Sistema de alerta de cheias (SAC) em áreas urbanas.....	50
1.6.1 Monitoramento hidrometeorológico	53
1.6.2 Histórico dos métodos para emissão de alerta	54
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA APRIMORAMENTOS DO SAC	58
2.1 Área de estudo: Bacia do rio Capivari – Duque de Caxias, RJ.....	60
2.1.1 Dados físicos da bacia hidrográfica do rio Capivari	62
2.1.2 Rede telemétrica e sirenes existentes na Bacia do rio Capivari.....	66
2.1.3 Análise pluviométrica da Bacia do rio Capivari	68
2.1.4 Análise fluviométrica da Estação do rio Capivari.....	72
2.2 Correlação de dados hidrológicos e eventos adversos	76
2.2.1 Análise dos eventos extremos	77
2.3 Avaliação das áreas suscetíveis a inundação	80
2.3.1 Modelagem hidrológica	83
2.3.2 Modelagem hidráulica.....	84

2.4	Sistema de alerta e alarme comunitário para desastres hidrológicos	86
2.4.1	Estados operacionais e estágios de monitoramento hidrometeorológico....	87
2.4.2	Limiares de chuva para mudança de estágio de monitoramento.....	91
3	REDUÇÃO DO RISCO DE DESASTRES HIDROLÓGICO: APRIMORAMENTO DO SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS	98
3.1	Banco de dados sobre desastres hidrológicos na bacia do rio Capivari	98
3.1.1	Análise hidrológica e avaliação dos eventos extremos	99
3.2	Mapeamento das áreas suscetíveis à desastres hidrológicos.....	113
3.3	Limiares de emissão de alerta	116
3.3.1	Método de D'orsi	119
3.3.2	Método Compartilhado	124
3.4	Relato de ações da defesa civil municipal em evento retrospectivo	128
4	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	135
	REFERÊNCIAS	139
	ANEXO I – Dados diários das estações do INEA – Ponte de Ferro Capivari e Xerém.....	145
	ANEXO II – Dados diários da estação Ponte de Ferro Capivari (ANA)	152
	ANEXO III – Ajuste estatístico de Gumbel, estação Ponte de Ferro Capivari e Xerém	160
	ANEXO IV – Resultado da modelagem hidráulica do trecho rio João Pinto.....	164

INTRODUÇÃO

Contextualização

Os desastres têm sido cada vez mais discutidos, seja pelo aumento da sua magnitude e frequência, pelo número crescente de pessoas afetadas ou, ainda, pela maior divulgação e acesso à informação. A disseminação da cultura de Redução de Riscos de Desastres (RRD) em todo o mundo, teve destaque com a implementação do Quadro de Ação de Hyogo 2005-2015 (HFA), manifestando-se em maiores arranjos institucionais e legislativos, melhores sistemas de preparação e alerta precoce e uma melhor resposta (UNISDR e CRED, 2016). Verifica-se e entende-se que o gerenciamento de risco de desastres deve ser sobre gerenciar o risco inerente à atividade social e econômica, em vez de simplesmente incorporar o gerenciamento de riscos de desastres para proteger contra ameaças externas, como riscos naturais.

O Quadro Sendai para RRD (2015-2030) direcionou seus objetivos na prevenção de novos riscos de desastres e reduzir os existentes, ampliando sua atuação com a integração de áreas como: social, cultural, educacional, ambiental, tecnológica, política, jurídicas. As ações incluem medidas para reduzir a exposição, os perigos e a vulnerabilidade de desastres, além de aumentar a resiliência na resposta dos eventos e entender o Estado como o principal responsável na gestão dos riscos de desastres (adaptado UNISDR e CRED, 2016). A importância desses marcos internacionais pode ser expressa pela sua ênfase na necessidade de integração entre níveis de governo e entre diferentes setores envolvidos na gestão do risco de desastres, e o envolvimento e participação ativa da população de áreas de risco e a sociedade civil em geral (VIANA, 2016).

As inundações são responsáveis por mais de 34% do total dos desastres registrados no Brasil, no intervalo de 1991 a 2012, e a região sudeste soma 1460 mortes (78% do total) deste montante, associadas intimamente a tragédia da Região Serrana do Rio de Janeiro, em 2011 (BRASIL, 2013). Com quase 1.000 mortos, mais de 300.000 afetados, quase 20.000 residências destruídas e cerca de 28.000 desalojados, além de bairros inteiramente destruídos (BANCO MUNDIAL, 2012), o Megadesastre da Região Serrana mostrou a fragilidade nas ações de gestão de risco de desastres brasileira e evidenciou a importância da prevenção, mitigação e criação de cidades mais resilientes, ou seja, que suportem melhor as adversidades

naturais e diminuam as vulnerabilidades as quais a população está exposta (adaptado BRASIL, 2012; VIANA, 2016).

O Megadesastre da Região Serrana foi determinante para uma nova postura do Governo Federal em relação às políticas de prevenção e mitigação de desastres (GIDES, 2017), onde as discussões resultaram na implantação da Lei 12.608 de 2012, que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC). Anterior ao Desastre da Região Serrana, a Baixada Fluminense, no Estado do Rio de Janeiro, foi a primeira região contemplada pelo Sistema de Alerta de Cheias (SAC) do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) (VIANA, 2011), devido à sua grande recorrência de desastres. A cidade de Duque de Caxias, assim como toda a região da Baixada Fluminense, apresenta sérios problemas com a falta de planejamento, e tornou-se alvo de ocupações desordenadas desde a colonização até os dias atuais, sobretudo na construção de moradias em áreas suscetíveis aos desastres, principalmente de caráter hidrológico, seja gradual (relevo plano) ou brusco (relevo abrupto).

O sistema de alerta e o monitoramento hidrológico fazem parte das medidas preventivas aplicadas na bacia de estudo como proposta técnica para informar a população vulnerável a respeito dos alertas, assim como estimular a participação, por parte do indivíduo, para redução de desastres. Isto permite estreitar o caminho entre pesquisa e operação, de modo a gerar resultados que atendam às diversas classes da sociedade. A comunidade científica, gestores públicos e a população buscam respostas para as ocorrências de desastres e isto se torna mais evidente quando a exploração e ampliação da base de informações sobre desastres passam a ser prioridade, junto com as informações prévias para tomada de decisão, conhecimento histórico e técnico para melhor adaptação aos desastres.

Problemática da pesquisa

A gestão das inundações, tanto o planejamento antes das inundações quanto o tratamento das situações de emergência, é uma tarefa complexa porque envolve muitas agências governamentais e outras partes interessadas (GFDRR, 2016). Outra complicação é que as bacias hidrográficas muitas vezes se sobrepõem à constituição geopolítica na formação de diferentes países, estados e municípios, o que eleva o número de partes envolvidas na gestão dos eventos. Finalmente, as bacias hidrográficas nem sempre têm suas próprias autoridades, orçamentos ou mandatos. Esses aspectos multi-jurisdicionais da gestão da bacia

hidrográfica podem dificultar a gestão dos investimentos necessários ao gerenciamento das inundações. Um primeiro passo pode ser constituir arranjos institucionais consensuais de modo a respeitar os interesses das partes envolvidas e, especialmente, quando estabelecidos em leis.

Outra problemática é a escassez de dados hidrometeorológicos, geomorfológicos, ambientais e até de monitoramento. Este fato reduz as possibilidades de amenizar os efeitos adversos, provocados pelos eventos extremos e de gerenciar os fenômenos climáticos para mitigar os riscos de desastres (OHNUMA, 2016). Além da escassez de dados, o inventário de estações existentes demonstram ineficiência dos sistemas de informação dos regimes hidrológicos, apresentando descontinuidade no monitoramento com inúmeras lacunas na série de dados, além de despersonalização do controle de redes. Boa parte das desativações dos equipamentos são motivadas por obsolescência de equipamentos; descontinuidade orçamentária; término de projetos; falta de capacitação técnica na operação das redes; etc (INEA/COPPETEC, 2014).

A região da Baixada Fluminense, no estado do Rio de Janeiro, encontra-se em área de planície, relevo acidentado por morros e encostas, e, portanto com características hidráulicas-hidrológicas que favorecem a ocorrência de sinistros, ainda mais quando possui elevada vulnerabilidade e exposição aos eventos extremos, com uso do solo intensificado por ocupações urbanas (adaptado OHNUMA, 2016). O elevado desnível do alto da Serra até as regiões de planície favorecem ao aumento das velocidades de escoamento superficial, cujo resultado associado às altas intensidades pluviométricas acarretam inúmeros impactos, especialmente, p em áreas urbanas.

Boa parte das coordenadorias de defesa civil estadual e municipal carecem de profissionais com conhecimento específico na gestão de risco, desde o monitoramento geohidrometeorológico até a avaliação e entendimento de material fornecido pelas agências de conhecimento específico, como a agência das águas e os serviços geológicos. Poucas são as defesas civis que conseguem um trabalho contínuo, uma vez que sem funcionários efetivos, este órgão sofre mudanças constantes de gestão, perdendo as informações de ocorrências e até mesmo de planejamento e estratégias definidas na gestão anterior.

Isto se torna uma fragilidade do órgão e evidencia a necessidade por metodologias mais simples, sem descartar o conhecimento técnico, para melhorar uma problemática operacional. A motivação da presente pesquisa foi estabelecer procedimentos fundamentais para tornar o monitoramento geohidrometeorológico capaz de atender de forma prática os tomadores de decisão diante de um evento hidrológico adverso.

Justificativa

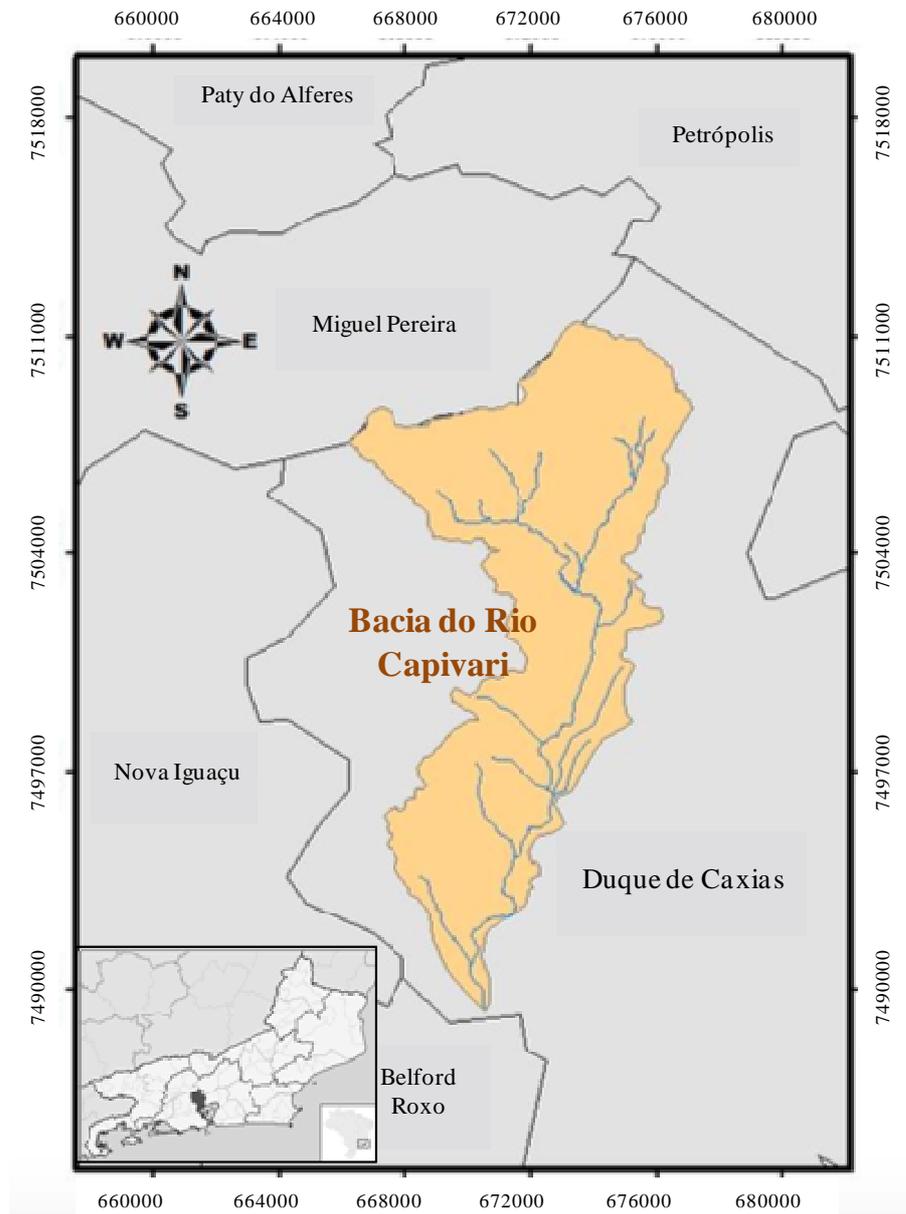
Apesar dos investimentos, em ambiente nacional, depois de instaurada a PNPDC, em janeiro de 2013 foi decretado Situação de Emergência na cidade de Duque de Caxias, devido à inundação brusca, usualmente denominada pelas defesas civis como enxurrada, que atingiu a bacia do rio Capivari (Figura 1). O desastre provocado neste dia na região da bacia do Rio Capivari, afluente do Rio Iguaçu, no 4º Distrito de Xerém-Mantiquira, em Duque de Caxias, afetou cerca de 100 mil pessoas, com mais de 1400 desalojados e desabrigados, 60 feridos e 2 mortos (CARVALHO e DOMINGUES, 2013). A análise dos dados da Estação de Xerém, do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), registrou mais de 200 mm de chuva, em menos de 12 horas. As consequências do desastre (Figura 2) indicam o grau de severidade do fenômeno que atingiu a bacia e o incentivo pelo recorte da área selecionada para o estudo. Após o evento, o órgão municipal de defesa civil na então gestão, ficou fortalecido devido a sua eficiente resposta ao desastre (Figura 3), o que impulsionou a criação do serviço de monitoramento hidrometeorológico, além do incentivo à pesquisa, proporcionando a união das informações operacionais com conhecimento especializado, à capacitação dos profissionais e da população para atuar na redução de desastres.

O modelo de monitoramento do SAC foi o primeiro implementado na bacia, com duas estações telemétricas, Ponte de Ferro Capivari e Xerém, a jusante e montante da bacia, respectivamente. Pouco mais de dois anos, o Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) do governo federal instalou pluviômetros automáticos na bacia de maneira a subsidiar o sistema de alerta e alarme instalado em toda cidade. Porém, nenhum estudo técnico científico foi elaborado para determinar os limites de precipitação para acionamento das sirenes, sendo estabelecido de maneira estimada e de acordo com a situação momentânea, o que prejudica a confiabilidade do sistema por parte da população e dos próprios gestores locais.

Dos estudos existentes, o próprio SAC utiliza apenas a porcentagem do preenchimento da calha como limite, igualmente para todos os rios monitorados, sem o conhecimento do comportamento da bacia hidrográfica como um todo. Demais pesquisas relacionadas ao monitoramento e sistema de alerta foram realizadas somente para deslizamentos de terra. Com o limiar único para o estado, o serviço geológico do estado do Rio de Janeiro utilizou o

Método de d'orsi para sua definição. Por fim, recente aplicação, ano de 2017 no Projeto GIDES ¹, o método compartilhado definiu uma metodologia de linhas críticas para deslizamentos, nos municípios de Petrópolis, Nova Friburgo e Blumenau.

Figura 1 – Localização da bacia do rio Capivari – Duque de Caxias, RJ



Fonte: adaptado, OHNUMA, 2016.

¹ Projeto GIDES: Acordo de cooperação internacional entre o Governo do Brasil e o Governo do Japão, firmado no ano de 2013, por intermédio da Agência Brasileira de Cooperação (ABC/MRE) e da Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA), para o desenvolvimento e implementação de ações voltadas ao “Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres Naturais”, dando início ao PROJETO GIDES (Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais), com duração de 48 meses. Finalizado no ano de 2017.

Figura 2 - Cenário do desastre ocorrido no rio João Pinto (Xerém).



Fonte: Prefeitura Municipal de Duque de Caxias (PMDC), 2013.

Figura 3 – Reconstrução da infraestrutura atingida pelo desastre, em Xerém.



Legenda: (a) – ponte nova sendo construída; (b) – ponte nova construída, pós desastre.

Fonte: PMDC, 2013.

Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é propor aprimoramentos no Sistema de Alerta de Cheias (SAC) existente na cidade de Duque de Caxias-RJ, mediante a concepção de uma metodologia para determinação de mudanças de estágios nos limiares de chuva a partir de monitoramento hidrológico e no auxílio na tomada de decisão. Busca-se, portanto, dar subsídios para a redução dos riscos de desastres de inundação em Duque de Caxias.

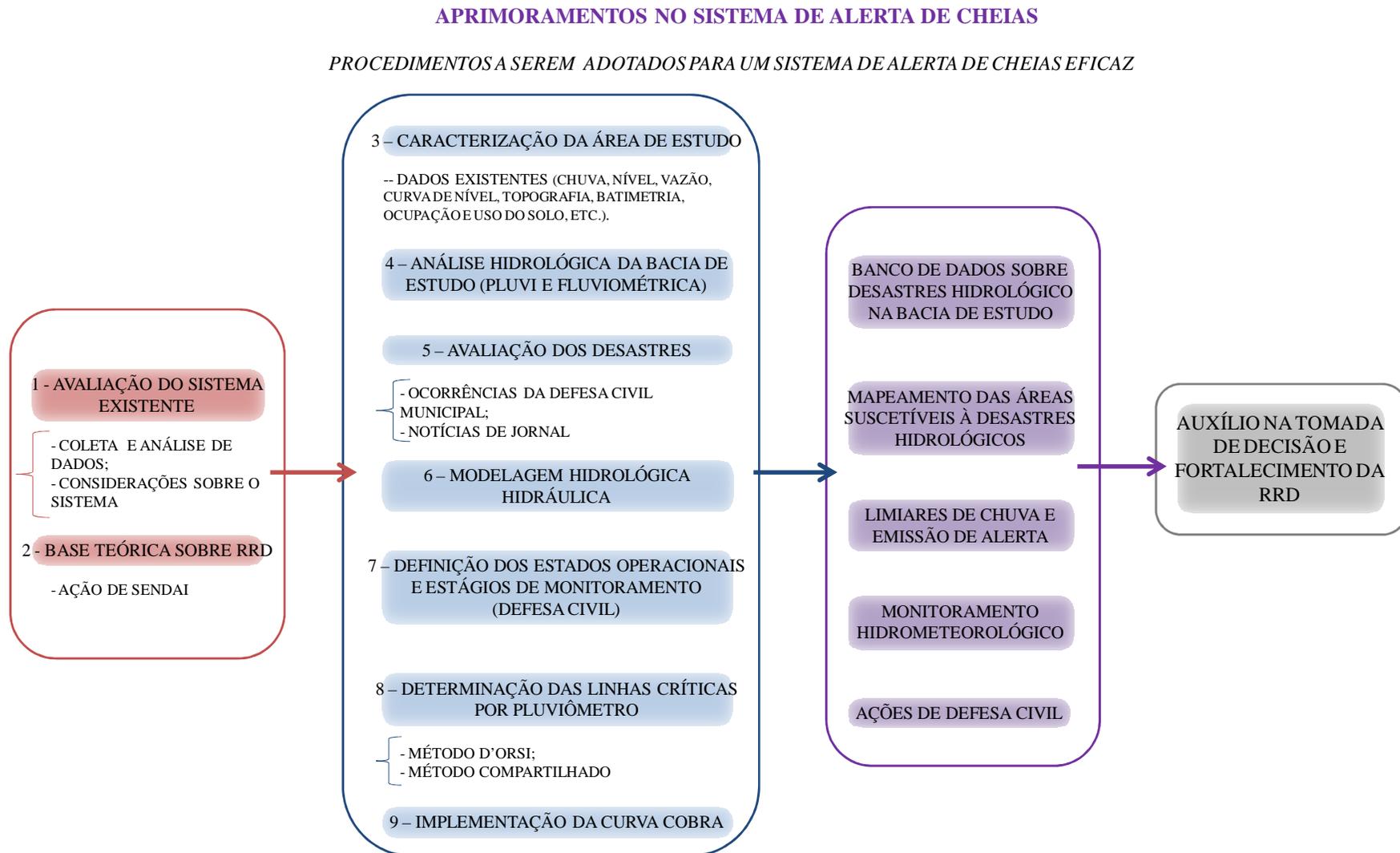
Os objetivos específicos são:

- i. Avaliar o Sistema de Alerta de Cheias (SAC) do INEA/RJ implantado na bacia do rio Capivari, município de Duque de Caxias – RJ, integrado às ações preventivas aos desastres hidrológicos;
- ii. Efetuar uma análise pluviométrica da área de estudo, com a criação do banco de dados sobre desastres hidrológicos;
- iii. Elaborar o mapa de áreas suscetíveis à inundação da bacia do rio Capivari, através da modelagem hidrológica e hidráulica;
- iv. Definir os limiares de chuva para as mudanças de estágio e emissão de alertas, e aperfeiçoar o sistema de monitoramento, em tempo real.

Procedimento metodológico

A base teórica sobre a RRD, principalmente o que preconiza a Ação de Sendai, permitiu elencar quais procedimentos devem ser adotados para que o SAC forneça informações eficazes e auxiliar na tomada de decisão e na redução do risco de desastres de inundação. A primeira atividade é a caracterização da área de estudos, com a coleta dos dados existentes como precipitação, nível do rio, vazão, uso e cobertura do solo, tipo de solo, topografia. A análise pluviométrica e fluviométrica complementam as informações sobre a bacia hidrográfica e subsidia os dados de entrada para a modelagem hidrológica e por sequência, a modelagem hidráulica. Os dados sobre os desastres foram extraídos de notícias de jornais e as ocorrências da defesa civil municipal. Todas essas informações possibilitaram a criação do banco de informações sobre desastres hidrológicos na bacia de estudo e o mapeamento das áreas suscetíveis a desastres hidrológicos. Em um segundo momento, os limiares de emissão de alerta e a melhora no monitoramento hidrometeorológico, definiu-se os estados operacionais em concordância com os estágios de monitoramento e aplicou-se dois métodos para definição das linhas críticas para cada nível de estágio. Por fim, aplicou-se a curva cobra como suporte ao sistema de defesa civil no monitoramento em tempo real.

Figura 4 – Fluxograma metodológico sobre o aprimoramento do sistema de alerta de cheias



Fonte: O Autor, 2018.

Estrutura da Dissertação

O CAPÍTULO 1 contextualiza a relação do município de Duque de Caxias-RJ com o desastre natural, retratando o acontecimento em 02/01/2013, caracterizado como um dos maiores desastres relacionados a fenômenos hidrológicos na cidade. Tal evento foi o principal motivador da pesquisa, sendo uma das justificativas do estudo. Ainda, os objetivos foram apresentados neste capítulo e funcionam como norteamento no decorrer do trabalho. O CAPÍTULO 2 elucida o embasamento teórico do trabalho, buscando enumerar as metodologias existentes na literatura nacional e internacional a respeito dos limiares de chuva para emissão de alerta, além de retratar o cenário de redução de riscos de desastres de maneira ampla, não restringindo aos fenômenos hidrológicos de inundação. Aborda, também, a realidade atual brasileira frente a gestão de risco e os aspectos institucionais do governo, em suas respectivas competências, nas esferas federal, estadual e municipal.

A metodologia aplicada, descrita no CAPÍTULO 3, apresentou as características da bacia hidrográfica de estudo, indicando os estudos realizados na bacia, os dados físicos como uso e ocupação do solo, hidrografia, a situação da rede telemétrica e de sirenes, e a análise pluviométrica e fluviométrica para as duas estações existentes do INEA. Ainda neste capítulo, fizeram-se as considerações em relação à criação do banco de dados hidrológicos e a análise dos eventos extremos. Por fim, estabelecem-se os limites para emissão de alerta, fortalecendo o sistema de alerta existente na bacia.

Os resultados e discussões apresentam no CAPÍTULO 4 os eventos registrados que podem ser considerados como desastres, suas relações de nível do rio, intensidade de chuva e seus tempos de recorrência. Considera a modelagem hidrológica-hidráulica para retratar o mapa de suscetibilidade à inundação para a bacia. Podem-se estabelecer, também, os limiares e linhas críticas para as duas estações estudadas, finalizando com uma simulação do monitoramento, ações e resultados do evento que atingiu a bacia no dia 15 de janeiro de 2016. O CAPÍTULO 5 finaliza com as conclusões do estudo e apresenta as sugestões para melhora do sistema e trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

1 PILARES DA GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES HIDROLOGICOS E SUA EVOLUÇÃO

Este capítulo apresenta referências teóricas e conceituais relacionadas à pesquisa, relativas aos desastres, inundações, mudanças climáticas, eventos extremos e gestão de risco. Características associadas ao objeto de estudo são apresentadas a partir da conceituação do mapeamento de áreas de risco e sistema de alerta de cheias.

Ainda que sejam evidentes os procedimentos a serem adotados na Gestão de Risco e na busca pela RRD, nos diferentes setores (defesas civis e demais órgãos governamentais, empresas privadas, comunidade científica e sociedade), a pesquisa foi baseada nos conceitos apresentados pela ONU (Organização das Nações Unidas) e os objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis descritos nos Quadro de Ação de Hyogo e Quadro de Sendai. Para que haja um efetivo gerenciamento de riscos de desastres, os gestores públicos precisam assumir suas responsabilidades integrando a problemática aos mecanismos de desenvolvimento existentes, de modo a construir capacidades para a governança do risco (UNISDR, 2013; VIANA, 2016). A Figura 5 indica os elementos necessários para o gerenciamento de risco, onde a defesa civil municipal está mais próxima das comunidades de risco e pode ser inserida como executora de boa parte das atividades de RRD.

Figura 5 – Elementos chave para o gerenciamento de risco de desastre.

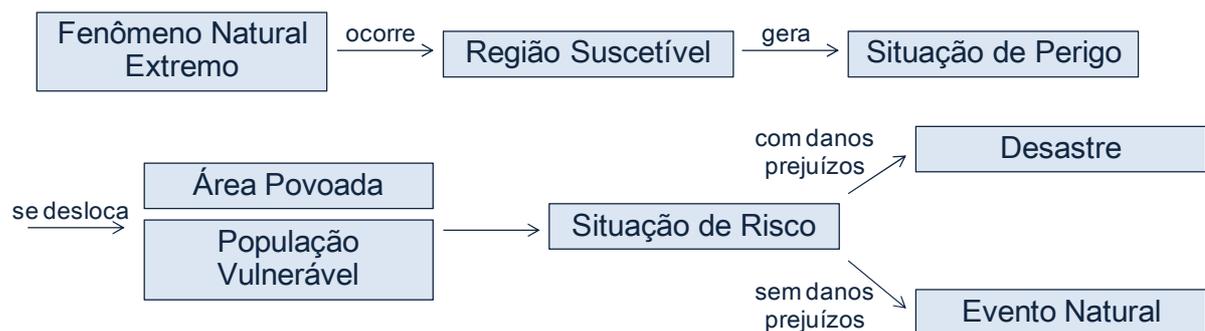
ASSUMINDO RESPONSABILIDADES PELO RISCO			
<p>Investindo em redução do risco</p> <p>Uso da análise custo-benefício do risco para alcançar uma redução mais eficiente produzindo uma economia positiva com benefícios sociais</p>	<p>Assumir responsabilidades</p> <p>Desenvolver um sistema nacional de inventário de desastres para o monitoramento sistemático de perdas e avaliação do risco em todas as escalas usando modelos probabilísticos</p>	<p>Antecipar e compartilhar risco que não podem ser reduzidos</p> <p>Investir na transferência de risco para proteção contra perdas catastróficas e antecipar e se preparar para o risco emergente que não pode ser modelado</p>	
INTEGRANDO GRD NOS INSTRUMENTOS E MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO EXISTENTES			
<p>Regular o desenvolvimento urbano e local</p> <p>Usar o planejamento e orçamento participativo para melhorar assentamentos informais, alocar e promover construções seguras</p>	<p>Proteger ecossistemas</p> <p>Aplicar avaliação e gestão participativa de serviços ecossistêmicos e priorizar abordagens ecossistêmicas na GRD</p>	<p>Oferecer proteção social</p> <p>Adaptar a transferência de recursos e esquemas de empregos temporários, pacotes de micro seguros e empréstimos; considerar proteção social e linha de pobreza</p>	<p>Usar sistemas públicos de planejamento e investimento</p> <p>Incluir avaliações de risco no planejamento e investimentos nacional e local</p>
CONSTRUINDO CAPACIDADES DE GOVERNANÇA DO RISCO			
<p>Mostrar vontade política</p> <p>Atribuir responsabilidade política pela GRD e adaptação às mudanças climáticas em cooperação com autoridades políticas envolvidas através do planejamento e investimento do desenvolvimento nacional</p>	<p>Dividir poderes</p> <p>Desenvolver funções descentralizadas e multinível, usando os princípios da subsidiaridades e níveis apropriados para desconcentração, incluindo orçamentos e a sociedade civil</p>	<p>Fomentar parcerias</p> <p>Adotar uma nova cultura de administração pública para dar suporte às iniciativas locais de parcerias entre governo e a sociedade civil</p>	<p>Prestar contas</p> <p>Garantir prestação de contas à sociedade considerando o aumento da informação e transparência pública usar orçamento baseado no desempenho e recompensas</p>

Fonte: UNISDR, 2013, tradução livre.

1.1 Panorama dos Desastres

Um desastre, normalmente, é precedido pela ocorrência de um fenômeno natural, vez que diversos fenômenos fazem parte da geodinâmica terrestre e da estruturação da paisagem. Se gerarem danos e prejuízos de difícil superação para a comunidade afetada, serão considerados desastres, se não, serão considerados apenas eventos naturais (MARCELINO 2007). Em UNISDR (2009), desastre provoca grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade, grande número de mortes, perdas materiais, econômicas e ambientais, que excedem a capacidade da sociedade afetada em lidar com as consequências do evento com seus próprios recursos. Em outras palavras, descrevem que um fenômeno atmosférico extremo como um tornado, que costuma ocorrer em uma determinada região (susceptibilidade) e época conhecida, gera uma situação de perigo (OGURA e MACEDO, 2002). Se este se deslocar na direção de uma determinada área povoada, com uma possibilidade real de prejuízos em um determinado período (vulnerabilidade), tem-se então uma situação de risco. Se o tornado atingir a área povoada, provocando danos materiais e vítimas, será denominado como um desastre natural. A Figura 6 apresenta o fluxograma da definição de desastres exposto acima.

Figura 6 – Definição de Desastres



Fonte: Adaptado OGURA e MACEDO, 2002.

Normalmente, os desastres são classificados de acordo com a causa que desencadeou o fenômeno a partir da Lei 12.608/2012 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, podem-se classificar os desastres em três grupos, os desastres que ocorrem naturalmente, aqueles que ocorrem devido às ações negativas da sociedade sobre o meio e os dois atuando em conjunto, quando as ações humanas contribuem para intensificar os efeitos

dos desastres. Diante disso, faz-se necessário relatar a cronologia e suas principais evoluções, visto que ainda hoje pouco se fala em investimentos e novas propostas para a redução dos desastres, principalmente, no âmbito nacional.

Inúmeras são as medidas adotadas para reduzir os danos e prejuízos de um evento adverso, como as medidas estruturais, porém poucas têm caráter preventivo, como as medidas não estruturais. As medidas estruturais são aquelas que dizem respeito às obras de engenharia, como canalização de rios e obras de infraestrutura urbana e agregam um custo financeiro muito elevado. As medidas não estruturais são aquelas que visam o conhecimento e a conscientização por parte da população e exigem uma interferência financeira menos onerosa (TUCCI, 1997).

Devido a sua grande importância, a base do estudo como um todo, destaca nessa seção o Quadro de Sendai onde os principais objetivos são apresentados na Figura 7. Os sete objetivos do Sendai Framework incidem em reduções substanciais em (1) mortalidade por catástrofe, (2) número de pessoas afetadas, (3) perdas econômicas diretas e (4) redução de danos às infraestruturas críticas e destruição de serviços básicos. O Quadro de Sendai também procura um aumento substancial em (5) estratégias nacionais e locais de redução de riscos de desastres até 2020, (6) cooperação reforçada para países em desenvolvimento, e (7) aumento substancial em sistemas de alerta precoce multi-risco, informações e avaliação de riscos de desastres (UNISDR, 2016). Em (MI, 2015), reforça que para que o novo marco seja adotado de forma bem-sucedida, são necessários forte comprometimento, envolvimento político e foco nas quatro prioridades: entender os riscos de desastres; fortalecer o gerenciamento dos riscos; investir na redução dos riscos e na resiliência, além de reforçar a prevenção de desastres e dar respostas efetivas.

O desenvolvimento de pesquisas e ações direcionadas para a redução de desastres, propriamente ditas, foram marcados na década de 90 e permanecem com metas de grande escala (nível global) até metas de pequena escala (nível estadual/municipal). Os principais fatos que contribuíram para a cultura da prevenção dos desastres são:

- 1988 – Criação do banco de dados sobre eventos de emergência (EM-DAT), pelo CRED (Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres);
- 1999 – Criação do Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNISDR);
- 2010 – Segunda Conferência Mundial para Redução de Desastres – Marco de HYOGO – Cidades Resilientes (2005-2015);