



MODELO PARA IDENTIFICAR E HIERARQUIZAR COMUNIDADES EXPOSTAS
A RISCOS DE DESASTRES

Paulo Roberto Souza Junior

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Rio de Janeiro
Setembro de 2016

MODELO PARA IDENTIFICAR E HIERARQUIZAR COMUNIDADES EXPOSTAS
A RISCOS DE DESASTRES

Paulo Roberto Souza Junior

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

Prof. Mário Jorge Ferreira de Oliveira, D.Sc.

Prof. Francisco Antônio de Moraes Accioli Dória, D.Sc.

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco, D.Sc.

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2016

Souza Junior, Paulo Roberto

Modelo para identificar e hierarquizar comunidades expostas a riscos de desastres / Paulo Roberto Souza Junior – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XIV, 104 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 92 -100.

1. Riscos de desastres. 2. Resiliência. 3. Fuzzy. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

À Fabiana Lima das Graças Souza, esposa e
companheira nos momentos difíceis e ao nosso
filho João Vitor, responsável pelos momentos
de alegria durante esta singradura.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a São Jorge pela força necessária para transpor todos os obstáculos.

Aos meus pais por serem responsáveis por toda minha trajetória.

À Marinha do Brasil pela confiança em mim depositada ao escolher-me para realizar um curso de tamanha importância.

Ao Professor Carlos Alberto Nunes Cosenza, pela competência, companheirismo e simplicidade com que orientou esta tese

Ao Professor Mário Jorge Ferreira de Oliveira, mestre brilhante e grande amigo, pelas valiosas contribuições que enriqueceram este trabalho.

Às amigas Gisele Sandres e Elaine Sigette que contribuíram para o direcionamento da pesquisa.

Aos funcionários do Programa de Engenharia de Produção, Lindalva, Perla e Pedrinho, por toda dedicação e presteza que sempre caracterizaram os seus atendimentos.

Ao Tenente-Coronel BM Motta e Leandro Chagas da Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro, pelas valiosas informações e por terem facilitado a coleta de dados junto ao Centro de Operações Rio.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

MODELO PARA IDENTIFICAR E HIERARQUIZAR COMUNIDADES EXPOSTAS A RISCOS DE DESASTRES

Paulo Roberto Souza Junior

Setembro/2016

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Programa: Engenharia de Produção

A quantidade e a severidade dos desastres aumentam com o decorrer das décadas, devido, principalmente, ao aquecimento global e ao crescimento urbano desordenado. Esta tendência mundial chamou a atenção da Organização das Nações Unidas (ONU) que passou a atuar de forma mais contundente para minimizar o problema através da criação de vários programas internacionais para redução do risco. No Brasil, os desastres de 2008 em Santa Catarina e 2011 na região serrana do Rio de Janeiro levaram a aprovação da lei 12608/12 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil que possui como um dos seus objetivos estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização. Este estudo apresenta uma metodologia baseada no Modelo Fuzzy COPPE-COSENZA para hierarquizar comunidades vulneráveis expostas a riscos de desastres de modo a otimizar os investimentos do governo. A metodologia utiliza variáveis quantitativas e qualitativas para a obtenção de um índice de resiliência. Um estudo de caso foi realizado comparando três comunidades e, verificando, por meio de simulação de cenários, as alterações nos seus índices de resiliência.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

MODEL TO IDENTIFY AND PRIORITIZE COMMUNITIES EXPOSED TO
DISASTER RISKS

Paulo Roberto Souza Junior

September/2016

Advisor: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Department: Program of Production Engineering

The amount and severity of disasters increase over the course of decades, mainly due to global warming and urban sprawl. This global trend has caught the attention of the United Nations (UN) that started to act more decisively to minimize the problem by creating a number of international programs to reduce the risk. In Brazil, the 2008 disaster in Santa Catarina and 2011 in the mountainous region of Rio de Janeiro led to the adoption of Law 12608/12 which established the National Policy for the Protection and Civil Defense which has as one of its goals to stimulate the development of resilient cities and sustainable urbanization processes. This study presents a methodology based on Fuzzy Model COPPE-COSENZA to prioritize vulnerable communities exposed to risks in order to optimize disaster government investments. The methodology used for quantitative and qualitative variables to obtain a resilience index. A case study was conducted comparing three communities and checking through simulation scenarios, the changes in their resilience indexes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2. VULNERABILIDADE SOCIAL.....	2
1.3. AÇÕES MUNDIAIS PARA REDUÇÃO DOS RISCOS	6
1.4. IMPACTOS ECONÔMICOS DOS DESASTRES.....	10
1.5. CONSCIENTIZAÇÃO E TREINAMENTO DA POPULAÇÃO.....	11
1.6. GESTÃO DE DESASTRES NO BRASIL.....	13
1.7. OBJETIVO GERAL.....	17
1.8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.9. CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO.....	18
1.10. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	19
1.11. ESTRUTURA DA TESE.....	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1. LÓGICA FUZZY.....	21
2.2. MODELO COPPE-COSENZA.....	23
2.3. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS.....	24
3. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS A DESASTRE.....	26
3.1. METODOLOGIA DRI.....	26
3.2. METODOLOGIA DO PROJETO HOTSPOTS.....	28
3.3. METODOLOGIA TYNDALL CENTRE.....	30
3.4. SOCIAL VULNERABILITY INDEX.....	32
3.5. METODOLOGIA APELL.....	33
3.5.1. MATRIZ MULTI-RISCO.....	38
3.5.2. FERRAMENTA CRP.....	41
3.6. METODOLOGIA CEPED-UFSC.....	45

3.7. METODOLOGIA COPPETEC.....	48
3.8. ANÁLISE DAS METODOLOGIAS.....	54
4. MODELO PROPOSTO DE HIERARQUIA DE COMUNIDADES.....	57
4.1. DEFINIÇÃO DOS FATORES DE RISCO E SUA RELEVÂNCIA.....	62
4.1.1. FATORES DE RISCO GERAIS.....	63
4.1.2. FATORES DE RISCO ESPECÍFICOS.....	64
4.1.3. ATRIBUIÇÃO DOS GRAUS DE RELEVÂNCIA.....	65
4.2. CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE DESASTRES.....	66
4.3. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO AO RISCO.....	66
4.4. CONSTRUÇÃO DA MATRIZ NPR	67
4.5. CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE RESULTADOS.....	67
5. HIERARQUIZAÇÃO DE COMUNIDADES-ESTUDO DE CASO.....	70
5.1. FATORES DE RISCO GERAIS E ESPECÍFICOS.....	73
5.2. MATRIZ DE DESASTRES.....	74
5.3. NÍVEIS DE PROTEÇÃO AO RISCO.....	75
5.4. MATRIZ NPR.....	76
5.5. MATRIZ DE RESULTADOS.....	76
5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	78
6. SIMULAÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO AO RISCO.....	81
6.1. SIMULAÇÃO DE CURTO PRAZO.....	83
6.2. SIMULAÇÃO DE MÉDIO PRAZO.....	84
6.3. SIMULAÇÃO DE LONGO PRAZO.....	85
6.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	86
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
8. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	90

BIBLIOGRAFIA.....	92
9. APÊNDICES.....	101
9.1. Cálculos da matriz de resultados.....	101
9.2. Cálculo IRC Praça da Bandeira.....	102
9.3. Cálculo IRC Rio das Pedras.....	103
9.4. Cálculo IRC Acari.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de vulnerabilidade social no EUA.....	32
Figura 2 – Plano de ação em dez etapas do APELL.....	34
Figura 3 – Grupo de coordenação APELL.....	36
Figura 4 – Matriz Multi-Risco.....	39
Figura 5 – Interpretação das escalas.....	41
Figura 6 – Gráfico CRP.....	41
Figura 7 – Mapa de vulnerabilidade socioeconômica de Navegantes.....	46
Figura 8 – Definição do grau de vulnerabilidade.....	52
Figura 9 – Diagrama de inputs/outputs do MFRC	58
Figura 10 – Fluxograma do MFRC.....	59
Figura 11 – Regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.....	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – População mundial e frequência anual de desastres naturais.....	6
Gráfico 2 – Intervalo de frequência de ocorrência de inundações.....	53
Gráfico 3 – Desastres naturais mais recorrentes no Brasil.....	70
Gráfico 4 – Porcentagem de óbitos por tipo de desastre.....	71
Gráfico 5 – Simulação do IRC de Acari.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de vulnerabilidade por peso.....	46
Tabela 2 – Pesos dos fatores de vulnerabilidade selecionados.....	47
Tabela 3 – Pontuação máxima e mínima de acordo com a categoria do dano.....	49
Tabela 4 – Classificação dos eventos.....	53
Tabela 5 – Classificação das vulnerabilidades.....	54
Tabela 6 – Quadro comparativo das metodologias.....	55
Tabela 7 – Exemplo de fatores de risco gerais.....	64
Tabela 8 – Exemplo de fatores de risco específicos.....	65
Tabela 9 – Matriz de desastres.....	66
Tabela 10 – Exemplo de parâmetros.....	67
Tabela 11 – Matriz NPR.....	67
Tabela 12 – Matriz de resultados.....	68
Tabela 13 – Regra de solução Fuzzy.....	69
Tabela 14 – Fatores de risco para inundações.....	73
Tabela 15 – Matriz de desastres hidrológicos.....	74
Tabela 16 – Grandezas e termos linguísticos.....	75
Tabela 17 – Matriz NPR inundação.....	76
Tabela 18 – Regra de soluço de coeficientes Fuzzy para n=20.....	77
Tabela 19 – IRC para inunda�o na Praça da Bandeira.....	77
Tabela 20 – Matriz de resultados analisados.....	78
Tabela 21 – IRC para inunda�o Acari.....	79
Tabela 22 – Fatores de risco com IRC parcial menor que 1.....	80
Tabela 23 – A�es a empreender em Acari.....	82
Tabela 24 – Simula�o curto prazo.....	83
Tabela 25 – Matriz resultado curto prazo.....	83
Tabela 26 – Simula�o médio prazo.....	84
Tabela 27 – Matriz resultado médio prazo.....	84
Tabela 28 – Simula�o longo prazo.....	85
Tabela 29 – Matriz resultado longo prazo.....	85

LISTA DE SIGLAS

APELL – Awereness and Preparedness for Emergencies at Local Level
CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
COBRADE – Codificação Brasileira de Desastres
CONPDEC – Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
CPRM – Instituto de Geologia do Brasil
CRP – Community Risk Profile
DRI – Disaster Risk Reduction Index
EM-DAT – Banco de Dados Internacional sobre Desastres Naturais
FR – Fatores de Risco
HFA – Hyogo Framework for Action
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IDS – Índice de Desenvolvimento Social
IRC – Índice de Resiliência da Comunidade
MFRC – Modelo Fuzzy de Risco em Comunidades
NPR – Nível de Proteção ao Risco
NUDEC – Núcleo Comunitário de Defesa Civil
PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
SFA – Sendai Framework for Action
SoVI – Social Vulnerability Index
UNDP – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
UNEP – United Nations Environment Programme
UNISDR – Estratégia Internacional para a Redução de Desastres das Nações Unidas

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os desastres naturais ou causados pelo homem constituem um tema recorrente no cotidiano da população mundial. De acordo com Silva [1]: “Numa perspectiva sociológica, um desastre é entendido como um acontecimento não rotineiro que provoca uma disrupção social, cujo seu grau de impacto reflete em grande parte, o tipo e o grau de preparação de uma determinada comunidade para lidar com os riscos naturais e tecnológicos”.

Conforme terminologia utilizada pela Estratégia Internacional para a Redução de Desastres das Nações Unidas (UNISDR), pode ser considerado um desastre quando há a interrupção no funcionamento de uma comunidade ou sociedade que ocasiona uma grande quantidade de mortes bem como perdas e impactos materiais, econômicos e ambientais que excedam a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de lidar com a situação usando dos seus próprios recursos. Isto é, o desastre é o resultado da combinação existente entre a exposição a uma ameaça, as condições de vulnerabilidade presentes e a capacidade ou medidas insuficientes para reduzir ou lidar com as possíveis conseqüências negativas resultantes. [2]

Segundo Almeida [3] “No que tange aos perigos ditos “naturais”, há estatísticas que confirmam o crescimento das perdas humanas e econômicas em todo o mundo, ao mesmo tempo em que crescem a freqüência e a magnitude dos eventos naturais. Surge o questionamento: as perdas (humanas e econômicas) têm aumentado em função do acréscimo na freqüência e magnitude dos eventos ou pelo aumento na quantidade de pessoas vulneráveis aos perigos naturais?” Outros exemplos na literatura também apontam para um incremento na freqüência e intensividade dos desastres [4], bem como

para um aumento da consciência e do engajamento da comunidade internacional em torno do problema [5].

O conhecimento dos fenômenos climáticos e dos desastres naturais e tecnológicos a que nosso território está sujeito é fundamental para a efetividade de uma política de redução de riscos. Os desastres não devem ser tratados como fatalidades inesperadas, ou seja, com um grau de surpresa por parte dos atores relevantes em matéria de segurança. Estes atores, dentre eles a Defesa Civil, devem desenvolver estratégias mais efetivas de prevenção dos riscos, assim como planos emergenciais de contingência e mitigação no caso da ocorrência de desastres. Desta forma, identificando as comunidades que se encontram vulneráveis a alguma ameaça, caracterizando a vulnerabilidade dos lugares e desenvolvendo ações emergenciais e de prevenção acerca dos riscos antes que o desastre ocorra, não restringindo suas ações no pós-desastre [6].

1.2. VULNERABILIDADE SOCIAL

As conseqüências dos desastres não são sentidas igualmente por todos. Pobres, minorias, mulheres, crianças e idosos são freqüentemente os mais afetados em todo o planeta. O’Keefe *et al.* [7] apresentaram a primeira publicação em um periódico de grande circulação (*Nature*) a detectar a interface entre catástrofes naturais e os segmentos mais vulneráveis da população. Neste artigo, foi explicado que o aumento de vítimas de desastres naturais é decorrente do crescimento populacional. “Como a população continua a crescer e os recursos continuam a ser controlados pela minoria, o padrão real de vida decresce para grande parte da população mundial”. Quanto mais a população aumenta, mais vulnerável se torna. Para reduzir essa vulnerabilidade, planejamento preventivo deve ser estabelecido, considerando os aspectos geográficos e geológicos, socioeconômicos e o status cultural.

Cardona [8], que também propõe pensar vulnerabilidade a desastres naturais em uma perspectiva abrangente, identifica três componentes principais em sua composição: fragilidade ou exposição; suscetibilidade; e falta de resiliência. Fragilidade, ou exposição é a componente física e ambiental da vulnerabilidade, que captura em que medida um grupo populacional é suscetível de ser afetado por um fenômeno perigoso em função de sua localização em área de influência do mesmo, e devido à ausência de resistência física à sua propagação. Suscetibilidade é a componente socioeconômica e demográfica, que captura a predisposição de um grupo populacional de sofrer danos em face de um fenômeno perigoso. Tal predisposição é decorrente do grau de marginalidade, da segregação social e da fragilidade econômica às quais um determinado grupo populacional se encontra submetido. Falta de resiliência é a componente comportamental, comunitária e política, que captura a capacidade de um grupo populacional submetido a um fenômeno perigoso de absorver o choque e se adaptar para voltar a um estado aceitável. Já o risco é definido pelo relatório sobre Redução do Risco de Desastres do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP), como “o número de mortes em um evento perigoso em relação à população total exposta a tal evento”. [9]

A ciência da vulnerabilidade ajuda a perceber como o mesmo acontecimento pode produzir impactos muito diferentes nas zonas envolvidas. De fato, a capacidade sistemática para comparar uma localidade com outra em termos da sua vulnerabilidade é uma componente fundamental da ciência da vulnerabilidade. Ao representar a vulnerabilidade local é importante considerar não apenas um dos elementos da vulnerabilidade – físico ou social –, mas a sua interseção. Em alguns lugares, a vulnerabilidade física pode ser bastante elevada (por exemplo, nas zonas costeiras), mas se a população residente for rica, com recursos consideráveis para a preparação para e

resposta a desastres (o que equivale a menor vulnerabilidade social), a comunidade será capaz de se recuperar rapidamente. Se, por outro lado, a comunidade costeira vizinha (com o mesmo nível de exposição física) apresentar características sociais diferentes (residentes pobres, idosos e pertencentes a minorias), então essa comunidade irá demorar mais tempo a se recuperar, uma vez que a capacidade dos seus habitantes para absorver as perdas e recuperar é também mais limitada. [10]

A magnitude do evento desencadeador representa um fator importante na ocorrência do desastre, mas o grau de vulnerabilidade da área geográfica e/ou da comunidade afetada é um dos fatores preponderantes para a intensificação de suas consequências. [11]

Os eventos geológicos como o terremoto do Haiti, e hidrometeorológicos, como chuvas fortes na Região Serrana do Rio de Janeiro podem ser considerados ameaças naturais, ao contrário dos desastres, pois são produzidos socialmente e a vulnerabilidade das sociedades ou comunidades encontra-se estreitamente e inversamente relacionada ao nível de desenvolvimento econômico e social [12]. Assim, embora enchentes e inundações constituam um problema global, dados de 2009 da Estratégia Internacional de Redução de Desastres [13] revelam que 96% da população exposta a estes eventos no mundo e 95% dos óbitos encontram-se concentrados nos países com renda per capita menor do que 3.705 dólares por ano. No caso dos terremotos, que resultaram em 680 mil vítimas fatais entre 2000 e 2010, afetando principalmente populações que viviam em habitações precárias [14], temos dois exemplos, com os terremotos que atingiram o Haiti e o Chile que ilustram como a diferença no nível de desenvolvimento econômico e social impacta no grau de severidade do desastre. Embora o terremoto de fevereiro de 2010 no Chile (renda per capita de aproximadamente 9.800 dólares por ano) tenha sido mais forte do que o ocorrido em janeiro de 2011 no Haiti (renda per capita de 650

dólares por ano) [15], o número de vítimas fatais foi de 385 à 519 vezes maior neste segundo, a depender dos dados oficiais que se considera. O terremoto do Chile atingiu uma magnitude de 8.8 na escala Richter, com duração de 3 minutos e uma quantidade de energia liberada 500 vezes maior que do Haiti, resultando em 577 vítimas fatais. O terremoto do Haiti teve magnitude de 7.0 à 7.3, com duração de 35 segundos e resultou em 222.570 vítimas fatais na estimativa oficial de janeiro de 2010 e chegou a 300 mil na estimativa de janeiro 2011 [16].

Os registros internacionais mostram que, a partir da segunda metade do Século XX, houve um aumento significativo na frequência e intensidade de desastres naturais. Dados internacionais comprovam que a média anual de desastres saltou de 50 para 250 a partir da década de 80 em todo o mundo. Frequentemente credita-se este aumento mundial da ocorrência dos desastres a um conjunto de fatores composto por crescimento populacional, segregação socioespacial, acumulação de capital fixo em zonas perigosas e às mudanças climáticas globais. Entretanto o aumento dos desastres também pode estar relacionado à melhora nos registros devido ao avanço tecnológico das comunicações que permitiu melhorar a qualidade das informações e sua disseminação mais eficiente [17].

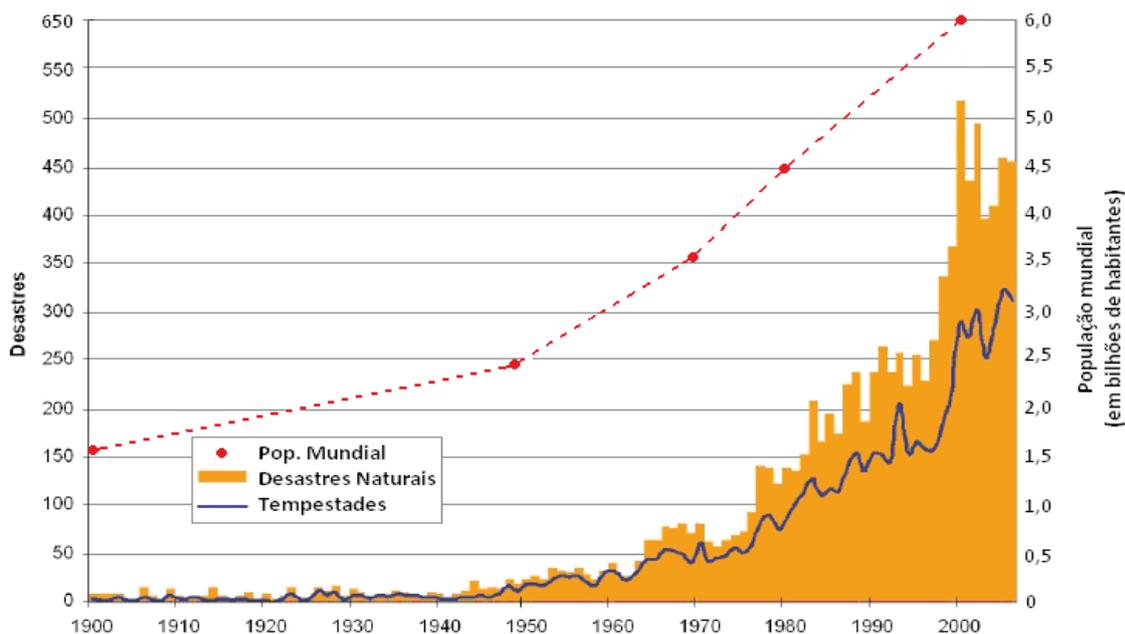


Gráfico 1 - População Mundial e frequência anual de desastres naturais para todo o globo (1900-2006) [18].

Só entre 2000 e 2010 as consequências econômicas dos desastres alcançaram um trilhão de dólares. Estes altos custos contribuem para que 1/5 de toda assistência humanitária seja dedicada aos desastres; porém menos de um por cento é destinado às ações de redução de risco de desastres [19]. E, mesmo que ocorra aumento do percentual para a redução de risco de desastres na assistência humanitária internacional ou nos orçamentos governamentais, estes não serão suficientes sem mudanças nos padrões de desenvolvimento.

1.3. AÇÕES MUNDIAIS PARA REDUÇÃO DOS RISCOS DE DESASTRES

Tendo em vista a preocupação com o aumento das catástrofes naturais e a vulnerabilidade mundial aos riscos de desastres, em 1º de janeiro de 1990, foi aprovada pela Assembléia Geral das Nações Unidas a Resolução 44/236, que instituiu a *Década Internacional para a Redução de Catástrofes Naturais* (IDNDR), com vigência até 1º de janeiro de 2000, cuja principal função era fomentar a prevenção como principal

medida para efetuar a redução e mitigação das catástrofes naturais, bem como aperfeiçoar os sistemas de alarme, de vigilância e de preparação para enfrentar os desastres, desde o âmbito local até o âmbito nacional. Também foi apresentada à Assembléia Geral da ONU a *Estratégia Internacional para a Redução de Desastres*, que foi estruturada sobre quatro objetivos principais, quais sejam:

1. Aumentar a consciência pública sobre o perigo dos riscos naturais, tecnológicos e ambientais para as sociedades modernas;
2. Garantir que as autoridades públicas se comprometam a reduzir os riscos para as pessoas, o seu modo de vida, a infraestrutura e recursos econômicos, sociais e ambientais;
3. Envolver o público em todos os níveis de execução para criar comunidades resistentes a desastres através da maior colaboração e de redes mais amplas de redução de risco em todas as escalas;
4. Redução das perdas econômicas e sociais causados por desastres e medidas, por exemplo, o produto interno bruto (PIB).

Além disso, durante todo o decênio entre 1990-2000, foram desenvolvidos programas e campanhas mundiais promovendo *A Prevenção na Redução dos Desastres Naturais*. As principais campanhas foram: *A prevenção de desastres em escolas e hospitais também é tua responsabilidade* (1993), *Comunidades Vulneráveis – Prevenção de Desastres* (1994), *A Prevenção começa com a informação* (1998), *Prevenir Recompensa* (1999) [20]. Outra medida tomada pela ONU, visando promover a redução de risco de desastres em todo o mundo, foi a criação no ano de 2007 da *Plataforma Global para Redução de Risco de Desastres* (GPDRR), que é um fórum cuja função é a troca de informações e a construção de parcerias para melhor implementar as estratégias de redução de riscos de desastres.

Em janeiro de 2005 durante a Conferência Mundial para a Redução de Desastres, realizada em Kobe na província japonesa de Hyogo, foi firmado o *Quadro de Ação de Hyogo* (HFA). Ratificado por 168 países, o documento reuniu diretrizes para ações de redução de riscos e desastres no mundo de 2005 a 2015 cujo objetivo geral é aumentar a resiliência das nações e das comunidades aos desastres para atingir até 2015 uma redução significativa de perdas provocadas por catástrofes. O HFA estabeleceu cinco ações prioritárias: priorizar a redução do risco de desastres; conhecer o risco e tomar medidas; aumentar o nível de compreensão e de conscientização; reduzir o risco; e estar preparado e pronto para ação. Pela primeira vez os esforços conjuntos de parceiros estratégicos foram reunidos sob uma mesma coordenação. Agências internacionais, governos e especialistas em desastres, se uniram para ampliar a resiliência e reduzir perdas materiais e humanas [21].

A preocupação com o aumento das catástrofes ambientais cresceu nos últimos anos e atualmente ocupa um grande espaço tanto nas discussões acadêmicas quanto nas discussões políticas, e contribuiu para a criação de vários organismos internacionais dedicados à temática, tais como: United Nations Environment Programme (UNEP - UN), Office of the United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR - UN); Red Interamerica de Mitigation de Desastres e Red (RIMD – OEA), Red de Estudios Sociales em Prevención de Desastres en America Latina (LA RED) [22].

No quinto relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), publicado em 31 de março de 2014, os dados e o resumo para os formuladores de políticas sugerem que as políticas públicas sejam direcionadas à adaptação às mudanças climáticas, para reduzir seus inevitáveis impactos [23]. Antes disso, em 2012, o IPCC já havia publicado um relatório especial para a gestão de riscos provocados por eventos extremos e desastres como estratégia para a adaptação diante

das mudanças, no qual dedica o capítulo para discutir a vulnerabilidade como fator determinante de exposição ao risco.

O foco atual da gestão de risco de desastre e adaptação às mudanças climáticas é reduzir essa exposição e aumentar a capacidade de resiliência aos potenciais impactos adversos de eventos climáticos extremos, embora os riscos não possam ser completamente eliminados [24].

O novo protocolo de ação das Nações Unidas para a Redução de Riscos e Desastres (RRD) foi ratificado pelos representantes de 187 países, reunidos na terceira Conferência Mundial de Redução de Riscos e Desastres, em Sendai, Japão, em março de 2015, e substituiu o Hyogo Framework for Action (HFA), que estabeleceu as diretrizes de RRD para a década 2005-2015. As novas diretrizes, que valem de 2015 a 2030, visam reduzir vulnerabilidades como uma forma de ampliar a resiliência diante da necessidade de buscar a adaptação diante das mudanças climáticas. Para isso, o documento destaca como prioridade número um, a necessidade da compreensão do risco de desastre em todas as suas dimensões de vulnerabilidades, capacidades, características das ameaças e do meio ambiente [25].

Assim como os relatórios do IPCC, o Sendai Framework visa orientar formuladores de políticas, servindo como guia para a implementação integrada e inclusiva de medidas econômicas, estruturais, legais, sociais, de saúde, culturais, educacionais, ambientais, tecnológicas, políticas e institucionais [26].

A redução de riscos de desastres e a construção da resiliência foi um dos temas da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, conhecida como Rio+20. Isto porque nenhum país se encontra imune aos desastres, independente do seu nível de desenvolvimento econômico e social. Esta redução deve envolver um conjunto

de ações para a redução da vulnerabilidade socioambiental diretamente relacionadas à mudanças nos padrões de desenvolvimento social, econômico e ambiental vigentes [27].

1.4. IMPACTOS ECONÔMICOS DOS DESASTRES

O Relatório da UNISDR 2014 [28] dispara uma campanha de marketing em torno da idéia de que a Gestão de Risco de Desastres se tornará alvo de maior foco entre os maiores líderes da economia internacional: *grandes catástrofes recentes, como o furacão Sandy em 2012 e as inundações na Tailândia em 2011, chamaram a atenção para o crescente impacto dos desastres no setor privado. Muitas das grandes empresas globais estão agora fortalecendo sua capacidade de gestão de risco. No entanto, as empresas ainda apresentam um foco-cego para o risco de desastres, que é amplamente ignorado nas previsões econômicas e projeções de crescimento.*

Avaliações das perdas econômicas devido a desastres realizadas já na 2^a década do século XXI mostram que os países desenvolvidos perderam cerca de 11% do PIB acumulados nas duas décadas que seguiram a transição dos séculos XX para XXI, os países em desenvolvimento cerca de 14%, os subdesenvolvidos perderam até 127% e os Estados-ilhas até 365% dos seus respectivos PIBs [29]. Estas perdas representam somente os prejuízos em infraestrutura e bens econômicos, e não avalia as perdas de vidas humanas para a sociedade. Os montantes relacionados com perdas e danos decorrentes de desastres superam orçamentos de alguns estados da América Latina, comprometendo todos os esforços de investimentos em desenvolvimento, integração e sustentabilidade. Tomando-se os valores do PIB de 2011 a 2013, estima-se em dezenas de bilhões de dólares/ano para perdas econômicas por desastres para a região da América Latina Central. Em termos comparativos, estes valores cobririam orçamentos destinados aos investimentos totais em *frameworks* para gestão e redução de desastres,

como o “*SENTINEL ASIA*” que abrange dezenas de países da região Ásia-Pacífico, ou ainda, os *frameworks* conjuntos da Federal Emergency Management Agency (FEMA) que cobrem os Estados Unidos da América do Norte no século XXI [30].

Este é um tema de economia reversa, ou de contra-economia, que enfatiza a relação custo-benefício pertinente à geração de resiliências, para a redução de riscos de desastres, e que merece ser adotado diante das realidades postas pelas evidências de mudanças climáticas globais.

Dentre as recomendações da Conferência de Guayaquil destaca-se *Strengthening Local Capacity for DRR: criar mecanismos e instrumentos que permitam aos governos locais terem acesso a distintos tipos de recursos e à cooperação científica, técnica e financeira de forma descentralizada; Fomentar a associatividade, as redes, as comunidades rurais, as alianças das cidades, assim como a participação cidadã da sociedade civil e comunidades locais, para alcançar governança local, nacional, regional e internacional de risco e resiliência urbana.* O consenso de idéias baseadas nas experiências e no entendimento acerca da necessidade de implementar atividades com eficácia e eficiência para a redução de riscos de desastres, ou seja, a geração de resiliências sócio-econômicas e ambientais, está intensivamente baseada na promoção de mecanismos de fomento às iniciativas locais de governança para a redução de riscos de desastres [31].

1.5. CONSCIENTIZAÇÃO E TREINAMENTO DA POPULAÇÃO

West e Orr [32] afirmam que não se possui conhecimento suficiente sobre como as pessoas percebem sua vulnerabilidade e o que afeta a sua motivação para evacuação em casos de desastre. Não é óbvio o que influencia a percepção de vulnerabilidade, como os cidadãos julgam as diversas fontes de informação governamentais e não-

governamentais. Os autores observaram que as mulheres e grupos minoritários são mais propensos a evacuação se recomendado pelo governo ou mídia. Algumas das maiores fatalidades ocorreram quando as pessoas desconsideraram as recomendações oficiais para abandono de local. Em geral, as conclusões sobre a percepção de risco ilustram a tendência natural do ser humano em subestimar o risco. Assim, na ausência de esforços para envolver a população na preparação para emergências, são esperados dois problemas estruturais: 1) ações serão principalmente reativas em vez de preventivas; e 2) as operações de resposta a desastres serão ineficientes, mal coordenadas, e associadas ao mau desempenho da cadeia de suprimentos humanitários [33].

Em uma situação de desastre, uma comunidade onde, por exemplo, existem tráfico de drogas, violência doméstica e abuso infantil como fatores de vulnerabilidade, terá esses problemas acentuados durante a resposta e transferidos para os abrigos temporários junto com a população desabrigada. O treinamento torna as pessoas capazes de reconhecer sua reação primária diante de uma emergência e agir por conta própria, inclusive ajudando a si mesmas e a seus vizinhos, o que é essencial para o rápido retorno à normalidade. A preparação para situações de crise é uma das ferramentas mais importantes para prevenir desastres [34]. Isso porque a ação popular é vital para minimizar perdas em momentos de crise. A maior parte dos resgates de pessoas em grandes desastres é feito por seus parentes e vizinhos nas primeiras 24 horas, antes mesmo da chegada de socorristas profissionais. No terremoto de Kobe, no Japão, em 1995, 80% dos resgatados foram salvos por seus vizinhos. O treinamento da população contribui para que as equipes de emergência possam ser direcionadas para ocorrências mais graves e para que a resposta seja mais rápida e eficiente [35]. Neste âmbito, é necessário ressaltar que a integração de toda a sociedade no sistema de defesa civil é um processo necessário de conhecimento e reconhecimento de ações coletivas.

Uma comunidade resiliente é uma comunidade mobilizada. Quando se acompanha o dia-a-dia de uma comunidade mobilizada, baseada em núcleos de defesa civil, é possível ver que a percepção do risco, geralmente motivada por um desastre, faz com que a comunidade atue em sua própria defesa, criando mecanismos de ação local.

O processo de mobilizar uma comunidade pode ter interferência externa, mas sua eficácia é maior quando a motivação parte da própria comunidade. É importante salientar que uma comunidade apenas se mobiliza quando está sensibilizada e isso geralmente ocorre após um desastre. Mas nem sempre encontramos a comunidade na fase pós-desastre ou, sensibilizada para os problemas locais. Até pouco tempo, as vulnerabilidades eram vistas como um empecilho para muitos atores da gestão de risco e desastres que desejavam se aproximar das comunidades. O mapeamento de áreas de risco, por exemplo, em alguns lugares ainda hoje é feito com base em mapas feitos a partir de fotos aéreas e histórico de desastres na região. Feito dessa forma, o mapa acaba sendo ineficiente para seu propósito, pois não é possível trabalhar em um plano de emergência, sem conhecer de perto as capacidades e vulnerabilidades dos moradores. E esse conhecimento só é possível com interação frequente e capacitação constante da população [36].

1.6. GESTÃO DE DESASTRES NO BRASIL

O Brasil, devido à sua posição geográfica, geológica e geomorfológica, não está sujeito à ocorrência de avalanches, furacões, tornados e tufões, tsunamis, erupções de vulcões e terremotos. Mas sempre ocorreram no Brasil fenômenos de longas estiagens causadas pelas secas que assolavam principalmente a região nordeste do país e as inundações causadas por chuvas em determinadas regiões do sul e sudeste.

De acordo com Dilley et al. [37], nosso país se encontra entre os 20 maiores receptores mundiais de empréstimos para cobrir emergências relacionadas a desastres naturais, além disso, partes importantes de nosso território – as Regiões Sul, Sudeste e Nordeste – foram consideradas pelo estudo do Banco Mundial e da Universidade de Columbia como *hotspots* globais de risco de desastres hidrológicos e de seca.

Nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, o aumento da população aliado às desigualdades sociais e econômicas, a concentração de riquezas e a especulação imobiliária, tem levado as pessoas a habitarem regiões de maior risco, como as áreas próximas a rios e encostas de morros, o que aumentou consideravelmente a possibilidade de ocorrer os desastres ambientais naturais.

De acordo com Valencio [38] “Os eventos extremos relacionados às mudanças climáticas globais e o crescimento desordenado das cidades, com a ampliação do contingente populacional empobrecido e em precárias condições de territorialização, é um quadro desafiador à Defesa Civil e àqueles que, sob sua coordenação, lidam com a gestão de desastres no Brasil.”

O Relatório de Avaliação Global (GAR) de 2011 da UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) e o CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters), alertaram a ONU sobre os problemas causados pelas enchentes no Brasil e a necessidade de que algo seja feito, pois caso contrário, “muitas áreas urbanas vulneráveis estão destinadas a ver uma grande perda de vidas devido ao maior movimento de pessoas rumo às cidades”. Apenas para se ter idéia da magnitude do problema, no ano de 2011 as enchentes no Brasil foram as mais fatais, deixando um saldo de mais de 900 mortos, fora os custos econômicos que giraram em média de mais de dois bilhões de dólares [39].

Alguns desastres de grande magnitude (como os desastres na região serrana do Rio de Janeiro, em Janeiro de 2011; os deslizamentos em Santa Catarina em 2008; e as inundações em Minas Gerais, em Janeiro de 2011) resultaram em iniciativas legislativas, como a criação da Lei No. 12.608 de 10 de Abril de 2012 [40], que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC); o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC); e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC), atribuindo obrigações em face da prevenção e mitigação de desastre para agências federais dentro dos três entes da federação (União, Estados e Municípios).

O aumento significativo dos desastres naturais no Brasil levou o governo brasileiro a criar no Congresso Nacional a Comissão Especial de Medidas Preventivas diante de Catástrofes, cuja missão era identificar e apontar medidas preventivas e saneadoras para impedir as catástrofes naturais. O relatório da comissão apresentou as seguintes propostas de medidas a serem adotadas: a criação do Fundo Nacional de Proteção Civil (Funpec), constituído – entre outros valores – por 0,5% da arrecadação do Imposto de Renda (IR) e do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI); a criação do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), do Ministério da Integração Nacional, auxiliando o Sistema Nacional de Defesa Civil; a implantação do Sistema Nacional de Informações e Monitoramento de Desastres (Sinide); a identificação e mapeamento de áreas de risco; monitoramento de desastres; e revitalização de bacias hidrográficas; além de ações estabelecidas pela Política Nacional de Proteção Civil. Também foi criado o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), cuja principal função é a de desenvolver, testar e implementar um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo território nacional. Esse contexto aumenta a importância do monitoramento e estudo dos desastres naturais, pois informações confiáveis podem

reduzir a subjetividade de decisões políticas e operacionais pela Defesa Civil e contribuir para combater as vulnerabilidades, realizando uma alocação de recursos mais inteligente, que satisfaça a demanda do doador por eficiência [41].

Devido à heterogeneidade interna dos estados brasileiros, tanto no que se refere à vulnerabilidade quanto à exposição a desastres naturais, estudos com abrangência estadual ainda estão sujeitos às limitações de escala. Desta forma, a realização de trabalhos em âmbito microrregional torna-se mais adequada, pois seriam capazes de produzir resultados mais precisos e identificar padrões de distribuição espacial do risco e da vulnerabilidade internos aos estados da federação [42]. Ao longo dos anos, as estratégias de redução de riscos e desastres vêm se aproximando cada vez mais das comunidades locais, dentro das quais os relatos de boas práticas vêm mostrando ser esse o melhor caminho para a eficiência das ações de ampliação da resiliência diante de desastres. Com a disseminação dessas boas práticas, as políticas de redução de riscos e desastres se voltaram para a redução de vulnerabilidades.

De acordo com Cardona et al. [43], a falta de resiliência, que se observa no baixo desenvolvimento de capacidades para o enfrentamento de eventos extremos em comunidades locais, são importantes geradores de vulnerabilidades. No entanto, os métodos e técnicas de análise de risco e de vulnerabilidades devem levar em conta a complexidade de fatores, como por exemplo, o tempo e a escala geográfica envolvida, o número e o tipo de atores, e os aspectos econômicos e de governança. Devem também contar com abordagens mistas, quantitativas e qualitativas, reunindo indicadores, índices e métricas de probabilidade com avaliações locais participativas, em parceria com as comunidades em risco, para capturar toda a complexidade da vulnerabilidade em suas diferentes dimensões.

Neste trabalho, será mostrado um modelo ao qual utiliza variáveis quantitativas e qualitativas de modo a avaliar comparativamente comunidades sujeitas a risco de desastres, identificando suas vulnerabilidades e estabelecendo um índice de resiliência.

1.7. OBJETIVO GERAL

Deseja-se, com este trabalho, pesquisar respostas sobre os seguintes elementos de questionamento:

- Existem metodologias de avaliação de risco adequadas para hierarquizar comunidades expostas a um mesmo tipo de perigo?
- É possível a criação de um modelo integrado que contemple a fase de identificação do risco e aumento da resiliência a um desastre levando em conta critérios qualitativos e quantitativos para auxílio da tomada de decisão para este problema?
- Caso possível, como desenvolver um modelo de auxílio à decisão que atenda aos requisitos de simplicidade e flexibilidade, ou seja, de fácil entendimento e que permita alterações de cenários e parâmetros de acordo com a região estudada?
- Como este modelo pode ser verificado quanto a sua aderência à realidade?

Desta forma estabelece-se como objetivo geral do trabalho:

Construir um modelo de auxílio à decisão para hierarquizar comunidades expostas a riscos de desastres naturais ou industriais de modo a orientar os investimentos dos órgãos públicos.

1.8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aumentar a conscientização da população sobre os riscos existentes nas comunidades e desenvolver uma preparação coordenada entre todas as partes interessadas (indústrias, autoridades locais e comunidades).
- Identificar, em nível local, quais comunidades estão mais vulneráveis a um determinado tipo de perigo, estabelecendo um índice de resiliência.
- Analisar, através da simulação, como as alterações de fatores físicos e sociais influenciam o índice de resiliência da comunidade.

1.9. CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO

O trabalho desenvolvido utiliza dados qualitativos e quantitativos para obter um índice de resiliência, podendo ser utilizado em trabalhos futuros onde o acesso às comunidades é possível, apresentando um diagnóstico realístico da situação de vulnerabilidade local. Igualmente, permite a criação de um ranking entre as comunidades em relação ao risco de desastres baseados em fatores físicos e sociais.

Outra contribuição é a adaptação do Modelo Fuzzy COPPE-COSENZA [44] para a utilização em problemas de avaliação de risco a desastres. A conexão deste modelo com a simulação propiciará um auxílio à decisão mais robusto, na identificação da comunidade mais vulnerável e no dimensionamento adequado de recursos para que se eleve o nível de resiliência.

O estudo desenvolve um ferramental não apenas para a resolução do problema em determinado horizonte, mas se propõe a ser uma ferramenta continuada de análise e auxílio à decisão, para poder extrair diagnósticos de alteração das condições físicas, sociais e econômicas que permeiam a comunidade.

Finalmente, o estudo aborda aspectos significativos que não foram contemplados em trabalhos anteriores sobre o tema, sobretudo quanto à hierarquização das comunidades vulneráveis a desastres.

1.10. METODOLOGIA DA PESQUISA

A partir da definição do objetivo geral do trabalho: “Construir um modelo de auxílio à decisão para hierarquizar comunidades expostas a riscos de desastres naturais ou industriais de modo a orientar os investimentos dos órgãos públicos.”, foram feitas pesquisas bibliográficas sobre as metodologias de avaliação de risco existentes na literatura nacional e internacional.

Foi utilizado preferencialmente o Portal de Periódicos CAPES (2015), com o uso das palavras-chave *Risk Assessment*, *Vulnerability*, *Brazilian Risk Methodology*, *Natural Disaster*, além de importantes referências oriundas de jornais, revistas e artigos correlatos. As fontes pesquisadas que foram referenciadas no estudo estão listadas na seção – Bibliografia.

Após a análise de algumas metodologias encontradas na literatura sobre o tema, foram estabelecidas as premissas da metodologia proposta e a escolha da ferramenta mais adequada e viável levando em consideração aspectos qualitativos e quantitativos.

Segundo definições de Vergara [45], esta pesquisa é aplicada, objetivando a resolução real de um problema presente e pode ser classificada como um estudo de caso, definido por Gil [46] enquanto estudo aprofundado de poucos objetos para seu conhecimento detalhado, estando, neste caso, focada no problema de hierarquização de comunidades com riscos de desastres.

1.11. ESTRUTURA DA TESE

O capítulo 2 apresenta uma revisão dos conceitos utilizados nesta tese, compreendendo:

- A seção 2.1 aborda conceitos de Lógica Fuzzy.
- A seção 2.2 apresenta o modelo de Hierarquia Fuzzy COPPE-COSENZA.
- A seção 2.3 discute elementos de Simulação.

No capítulo 3 é feita uma revisão da literatura sobre as metodologias de avaliação de risco e vulnerabilidades aos desastres. Ao final do capítulo é feita uma análise comparativa.

O capítulo 4 apresenta o modelo teórico da metodologia proposta neste estudo – Modelo Fuzzy de Risco em Comunidades (MFRC).

O capítulo 5 mostra um estudo de caso com a aplicação da metodologia proposta para o perigo de inundação.

No capítulo 6 são realizadas simulações de cenários nas comunidades, onde são alterados parâmetros físicos, ambientais e sócio-econômicos e feita uma análise de sensibilidade.

O capítulo 7 descreve as considerações finais e o capítulo 8 é a conclusão da tese com as recomendações para trabalhos futuros

CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. LÓGICA FUZZY

A teoria das probabilidades dominou a matemática da incerteza por mais de cinco séculos. Seus conceitos remontam ao ano de 1500, à época de Cardano quando os jogadores reconheceram as regras de probabilidade em jogos de azar.

É claro que a principal teoria na quantificação da incerteza em modelos científicos, do final do século XIX até o final do século XX, foi a teoria da probabilidade. No entanto, a evolução gradual da expressão de incerteza utilizando a teoria da probabilidade foi desafiada, pela primeira vez em 1937 por Max Black, com seus estudos de indefinição, em seguida, com a introdução de conjuntos Fuzzy por Lotfi Zadeh em 1965. O trabalho de Zadeh teve uma profunda influência no pensamento sobre a incerteza, pois desafiou não só a teoria da probabilidade como a única representação para a incerteza, mas os próprios fundamentos sobre os quais a teoria da probabilidade se baseou: a lógica binária clássica (two-valued) [47].

Os Conjuntos Fuzzy e a Lógica Fuzzy provêm à base para geração de modelos para a solução de problemas complexos que apresentam uma gama de dados imprecisos. Possui uma vasta aplicabilidade, especialmente, nas áreas de controle e tomada de decisão.

A Lógica Fuzzy é uma ferramenta poderosa para a solução de problemas complexos devido a sua habilidade em inferir conclusões e gerar respostas baseadas em informações vagas, ambíguas e/ou qualitativamente incompletas e imprecisas. Neste aspecto, os sistemas de base Fuzzy têm habilidade de raciocinar de forma semelhante ao cérebro humano. Seu comportamento é representado de maneira muito simples e natural, levando à construção de sistemas compreensíveis e de fácil manutenção.

A Lógica Fuzzy é baseada na teoria dos conjuntos Fuzzy, que representa uma generalização da teoria dos conjuntos tradicionais para resolver os paradoxos gerados a partir da classificação “verdadeiro ou falso” da lógica clássica. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: “completamente verdadeiro” ou “completamente falso”. Entretanto, na Lógica Fuzzy, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que a leva a ser “parcialmente verdadeira” ou “parcialmente falsa”.

Com a incorporação do conceito de “grau de verdade”, a teoria dos conjuntos Fuzzy estende a teoria dos conjuntos tradicionais. Na teoria dos conjuntos Fuzzy, os grupos são rotulados qualitativamente, usando-se variáveis linguísticas no lugar de variáveis numéricas e os elementos destes conjuntos são caracterizados variando o grau de pertinência (valor entre 0 e 1 que indica o grau em que um elemento pertence a um conjunto).

Os modelos baseados em Lógica Fuzzy não oferecem uma substituição aos modelos baseados na lógica tradicional, ou aos modelos probabilísticos. De fato, todo conjunto “crisp” (denominação na teoria clássica quando um dado elemento do domínio pertence ou não pertence ao referido conjunto) está contido em um fuzzy, mas não o inverso. A introdução do uso da Lógica Fuzzy permite ao modelo a utilização simultânea de variáveis qualitativas e quantitativas, sendo capaz de gerar resultados quantitativos a partir de dados qualitativos [48].

Segundo Zadeh [49], quanto maior a complexibilidade de um sistema, maior é a eficiência desse sistema em Lógica Fuzzy, em detrimento de outros métodos que não podem ser modelados a partir de informações imprecisas ou ambíguas.

2.2. MODELO COPPE - COSENZA

A Lógica Fuzzy foi aplicada no modelo de hierarquia desenvolvido por Cosenza (mencionado na seção 1.9) o qual permite a geração de resultados objetivos a partir de utilização simultânea de variáveis tanto qualitativas quanto quantitativas. Este modelo, apesar de desenvolvido originalmente como ferramenta de apoio decisório em problemas de localização industrial, foi adaptado neste trabalho para a Ferramenta MFRC de modo a hierarquizar comunidades mais sujeitas ao risco de inundação.

O Modelo Coppe-Cosenza é um modelo de hierarquia fuzzy que tem uma estrutura particular no tratamento do problema de auxílio à decisão, pois contempla a análise de diversos projetos simultaneamente.

O modelo de hierarquia fuzzy é, de um modo geral, um modelo de alocação de recursos que avalia o nível de satisfação de um conjunto de atributos/fatores necessários a um determinado projeto ou solicitados por ele em contraponto a disponibilidade destes atributos/fatores por diferentes alternativas. O grau de satisfação é medido através da comparação da importância de cada fator para o projeto e a quantidade e qualidade da disponibilidade deste fator em cada alternativa. Tem-se que ressaltar também que, obedecendo aos pressupostos do modelo voltados para a hierarquização das alternativas, o modelo não permite a penalização de uma alternativa que não disponha de um fator não solicitado, ou aquela que dispõe de mais fatores que os solicitados, explicitando sua riqueza adicional, podendo atender a outras solicitações e capaz de gerar economias externas. A maior utilidade deste método é a tomada de decisão entre diferentes perfis de diferentes graus de importância aos fatores gerais e específicos, com elevado número de alternativas.

2.3. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

De acordo com Banks [50], a técnica de simulação pode ser definida como sendo uma imitação de um processo ou sistema do mundo real através do tempo. Podendo ser realizada manualmente ou utilizando recursos computacionais, a simulação envolve a geração de uma história artificial do sistema e a observação desta história artificial para que sejam realizadas inferências relativas às características operacionais do sistema no mundo real.

A essência da modelagem de simulação é a caracterização de objetos da vida real como um conjunto de entidades abstratas, o relacionamento entre estas entidades e um conjunto de mapeamentos que dão uma interpretação real às entidades abstratas.

Para De Oliveira [51], o uso da simulação é indicado em função da complexidade do problema e da dificuldade de se obter um modelo matemático simples para o sistema em estudo. A modelagem é um dos processos básicos para a obtenção de conhecimento sobre a operação do sistema e nos permite explorar diversos cenários. Ela deve servir como uma aproximação bastante precisa do sistema real e também conter aspectos que lhe são importantes. Em uma simulação, quanto mais preciso forem os dados de entrada do problema, mais eficiente será a simulação, conseqüentemente seus resultados mais se aproximarão da situação real, tornando-se uma eficiente ferramenta de tomada de decisão.

Como citado em Tavares *et al.*[52], nos modelos de simulação não se conhece a relação analítica direta entre variáveis de decisão e a(s) medida(s) de desempenho. Em tais modelos representa-se a evolução do sistema ao longo do tempo, sendo essa evolução dependente da solução adotada, a qual se pretende avaliar. Para Gonçalves [53], a simulação é uma excelente ferramenta para modelar diferentes ambientes de maneira flexível e pode ser utilizada com os seguintes propósitos:

- Possibilitar o estudo e experimentação de sistemas complexos.
- Simular mudanças operacionais, organizacionais com vistas a observar o efeito dessas alterações no comportamento do modelo.
- Obter o conhecimento sobre o processo e sugerir melhorias.
- Alterar entradas do modelo e observar os resultados. Podemos assim obter indicadores valiosos sobre o comportamento das principais variáveis do sistema simulado.
- A simulação pode ser utilizada como uma ferramenta de aprendizado muito útil para o entendimento de modelos complexos.
- A simulação pode ser utilizada no experimento de novos projetos ou políticas operacionais antes de sua implementação antecipando o que irá acontecer.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS A DESASTRES

O desenvolvimento de metodologias e análises formais que permitam mensurar e qualificar os diferentes graus de vulnerabilidade é crucial no processo de redução de riscos, visto que possibilitariam a identificação precisa das áreas de maior risco e vulnerabilidade, complementando a informação qualitativa advinda da experiência acumulada nos órgãos de defesa civil.

O documento final da Conferência Mundial para a Redução de Desastres, em Kobe, 2005, chama a atenção para a necessidade de se desenvolver sistemas de indicadores de risco e vulnerabilidade nos níveis nacional e subnacional como forma de permitir aos tomadores de decisão um melhor diagnóstico das situações de risco e vulnerabilidade.

Neste capítulo são mostradas algumas metodologias de avaliação de risco e vulnerabilidades existentes na literatura.

3.1. METODOLOGIA DRI – DISASTER RISK REDUCTION INDEX

Desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP) para aperfeiçoar o entendimento das relações entre desenvolvimento e risco a desastres. Limita-se apenas a quatro desastres naturais focando em ciclones tropicais, enchentes e secas associados à mudança climática. O DRI é um índice de risco a desastres específicos que permite mensurar e comparar níveis relativos de exposição, vulnerabilidade e risco entre países. O modelo utilizado analisa variáveis demográficas, socioeconômicas e ambientais.

O DRI está restrito ao risco de perdas de vidas humanas, ou seja, à mortalidade, excluindo outros tipos como perdas de moradias, de infra-estrutura e econômicas. A premissa adotada é que o risco pode ser entendido como o número de vítimas de eventos passados. Embora a exposição, expressa pela população total das áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos, por si só não defina o risco, é uma condição necessária para que ele ocorra [54].

O fator que define a magnitude do risco é a combinação entre exposição e vulnerabilidade. A exposição a cada evento perigoso foi calculada, com a utilização de um SIG – Software de Sistema de Informações Geográficas– como a população média exposta ao mesmo, tanto em termos absolutos (número total de pessoas expostas em um país), quanto em termos relativos (número de expostos por milhões de habitantes). Para o cálculo da vulnerabilidade relativa, o DRI toma como *proxy* do risco manifesto a mortalidade decorrente de ciclones tropicais, enchentes e terremotos registrados no banco de dados EM-DAT¹ entre 1980 e 2000 para cada país. A vulnerabilidade relativa de um determinado evento perigoso é calculada dividindo-se o risco manifesto pela exposição. Para o cálculo dos indicadores de vulnerabilidade, o DRI testa um conjunto de 26 variáveis sociais, econômicas e ambientais, selecionadas por um painel de especialistas. As 26 variáveis selecionadas pertencem a oito categorias, a saber: econômica, tipo de atividade econômica, dependência e qualidade do ambiente, demográfica, saúde e saneamento, capacidade de alerta preventivo, educação, desenvolvimento. Foi realizada a correlação entre a mortalidade estimada e a mortalidade observada obtida no EM-DAT e os resultados do modelo permitiram a identificação de parâmetros indicativos de maior ou menor risco, mas não podem ser considerados como modelos preditivos.

¹ Banco de dados internacional sobre desastres naturais mantido pelo Centro Internacional de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres, em Bruxelas.

3.2. METODOLOGIA DO PROJETO HOTSPOTS

O projeto “*Natural Disaster Hotspots: a Global Risk Analysis*”, aqui denominado *Hotspots*, foi desenvolvido pela associação entre o Banco Mundial, a Universidade de Columbia e o *ProVention Consortium*² e concluído em 2005. Baseado em Dilley et al. (2005), o projeto *Hotspots* mapeia áreas críticas de risco a múltiplos desastres naturais em escala subnacional com cobertura global. São mapeados riscos associados a dois tipos de resultantes de desastres, a saber: mortalidade e perdas econômicas. O foco se dá sobre seis tipos de desastres naturais, dos quais quatro estão relacionados à mudança climática – enchentes, deslizamentos, secas e ciclones tropicais. A unidade espacial de análise utilizada são as células espaciais do *Gridded Population of the World – GPW* [55]. O GPW transformou dados de população provenientes de censos demográficos em células, ou *grids*, regulares de 2,5’x 2,5’ de latitude-longitude. Para o projeto *Hotspots* foi construída uma máscara que excluiu aquelas células com densidade populacional inferior a cinco pessoas por quilômetro quadrado ou sem qualquer atividade agrícola significativa.

Na concepção adotada pelo projeto, as diferenças no espaço observadas nas resultantes dos desastres ocorrem em função da densidade populacional, do tamanho das áreas afetadas, do grau de intensidade atingido pelo evento perigoso e das diferenças de vulnerabilidade. Devido às restrições impostas pela base de dados utilizada, os autores alertam para o fato de que os resultados obtidos permitem a identificação de áreas de alto risco relativo para desastres particulares, mas não são adequados para um diagnóstico de níveis absolutos de risco ou para comparações detalhadas de padrões de risco entre diferentes tipos de desastres.

² Coalizão global de organizações internacionais, governos, setor privado, sociedade e instituições acadêmicas para aumentar a segurança de comunidades vulneráveis e reduzir o impacto de desastres.

A metodologia do *Hotspots* possui oito passos-chave, aqui descritos para o cálculo de risco de mortalidade por desastres. Metodologia semelhante foi aplicada no mapeamento do risco de perdas econômicas. O primeiro passo foi a extração da mortalidade total global por tipo de evento perigoso para o período 1981-2000. No segundo, com o uso de um SIG, estimou-se a população total de 2000 para cada célula espacial na qual ocorreu um evento perigoso. Efetuou-se, em separado, o cálculo da taxa de mortalidade referência específica para cada uma das células espaciais e para cada um dos tipos de eventos perigosos. Como quinto passo, ponderou-se as taxas de mortalidade referência específicas com um coeficiente de vulnerabilidade. O referido coeficiente foi calculado a partir de combinações de graus de riqueza relativa por países/regiões.

A seguir, a taxa de mortalidade referência específica obtida no passo anterior foi ponderada pelo grau de severidade do evento perigoso. Considerou-se como medida de severidade o número de vezes que cada célula espacial foi atingida por evento perigoso específico. Em seguida, deflacionou-se de forma a obter uma mortalidade total para cada célula espacial idêntica àquela registrada no EM-DAT.

No passo sete, calculou-se o índice de risco múltiplo por meio do somatório das taxas de mortalidades ajustadas dos seis tipos de eventos perigosos para cada célula espacial. Uma vez que o objetivo é fornecer uma medida relativa de risco, o último passo foi converter o resultado anterior em um índice compreendido entre 1 e 10, dividindo o número total de células espaciais em decis, tomando por base os valores dos indicadores de risco para cada tipo de evento perigoso. Tomou-se como medida relativa adotada na definição das áreas críticas (*hotspots*) a presença de uma célula espacial nos três decis superiores (8º ao 10º), tanto para cada evento perigoso em separado quanto uma combinação deles que mostra áreas críticas de risco múltiplo.

3.3 METODOLOGIA DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE DO TYNDALL CENTRE

O projeto “*New indicators of vulnerability and adaptive capacity*” foi desenvolvido no *Tyndall Centre for Climate Change* da Universidade de East Anglia. O projeto compara níveis de risco e vulnerabilidade de populações e regiões a desastres associados a mudanças climáticas. Resumimos abaixo os principais aspectos da metodologia com base em Adger et al. [56].

A metodologia do projeto adota a escala nacional e possui cobertura global. O principal esforço efetuado foi o de desenvolver e avaliar uma base de dados de indicadores de vulnerabilidade a mudanças climáticas. A construção de indicadores de vulnerabilidade teve por objetivo identificar pontos fracos nos quais é necessária intervenção para reduzir a possibilidade e intensidade da ocorrência de efeitos adversos resultantes de desastres futuros associados a variações e mudanças climáticas. O foco recaí sobre dez tipos de desastres associados à mudança climática, a saber: secas, enchentes, epidemias, temperaturas extremas, fomes, infestação por insetos, deslizamentos, incêndio florestal, tempestades de vento e ressaca. Cabe ressaltar que foram removidos da base de dados eventos específicos não relacionados a mudanças climáticas.

A metodologia do projeto possui três passos-chave: construção de um marco conceitual; cálculo de indicadores de risco; e desenvolvimento de indicadores preditivos de vulnerabilidade.

A construção do marco teórico de referência do projeto foi realizada combinando revisão bibliográfica e discussões com especialistas. O principal objetivo dessa etapa foi conciliar diferentes visões e definições de risco, vulnerabilidade e capacidade de adaptação existentes entre a literatura sobre mudanças climáticas e desastres naturais.

O conceito de vulnerabilidade biofísica, proveniente da literatura sobre mudança climática e expresso em termos de danos causados, foi conciliado com o conceito de riscos manifestos, advindo da literatura sobre desastres naturais e expresso em termos de probabilidades. Com isso, a vulnerabilidade biofísica, ou risco, é representada no âmbito do projeto como sendo uma função do evento perigoso e da vulnerabilidade social, e pode ser medida por indicadores de resultantes de desastres associados com mudanças climáticas em períodos determinados. A mensuração do evento perigoso, por sua vez, é baseada na frequência projetada ou observada de um tipo específico de desastre, em uma escala de intensidade estabelecida em valores de média ou pico. Já a vulnerabilidade social pode ser mensurada como sendo a parte dos fatores explicativos da função de vulnerabilidade biofísica que não se refere ao evento perigoso.

Um outro objetivo nessa etapa foi discutir as relações teóricas entre o conceito de vulnerabilidade biofísica e diferentes categorias de indicadores sociais relacionados à vulnerabilidade social, de forma a fornecer uma base teórica para a seleção preliminar dos parâmetros de vulnerabilidade.

Para o cálculo dos indicadores de risco foram usados dados do EM-DAT. Tais indicadores mostram resultantes de desastres com componentes climáticas. Foram calculados cinco indicadores diferentes: somatório de afetados e mortos como percentual da população total; mortalidade em números absolutos; mortalidade como percentual da população nacional; razão entre mortos e total de afetados calculada a partir do somatório de todos os eventos perigosos; razão entre mortos e afetados calculada a partir das médias das razões de cada evento perigoso.

O desenvolvimento de indicadores preditivos de vulnerabilidade foi realizado em quatro etapas. A primeira baseou-se na construção teórica dos parâmetros de vulnerabilidade, apoiada na primeira etapa de construção do marco teórico e em

consulta a um painel de especialistas. A segunda consistiu na aplicação de uma série de testes estatísticos para seleção dos parâmetros. A terceira etapa validou os parâmetros selecionados estatisticamente por meio de um grupo focal com especialistas. Na quarta, deu-se a construção propriamente dita dos indicadores. Dentre os parâmetros iniciais, 11 foram selecionadas estatisticamente, validadas pelos especialistas e usadas na composição do índice de vulnerabilidade. O primeiro passo no cálculo do índice foi extrair os valores dos quintis de cada um dos 11 parâmetros. Para aquelas com correlação positiva com o indicador de risco, aos países do quintil mais baixo, foi atribuída a nota 1 e para os países no quintil superior a nota 5. Quando a correlação entre o indicador e a *proxy* de vulnerabilidade era inversa, o sistema de atribuição das notas inverteu-se. Calculou-se então uma média simples das notas nos 11 parâmetros para cada país.

3.4. SOCIAL VULNERABILITY INDEX - SoVI™

O SoVI é uma avaliação quantitativa das características que influenciam a vulnerabilidade social aos riscos (pré-acontecimentos) e facilita a comparação entre unidades geográficas (distritos, seções censitárias) em termos dos seus níveis relativos de vulnerabilidade social. Os perfis socioeconômicos são gerados a partir da informação dos censos e submetidos a um procedimento estatístico para reduzir o número de variáveis a um conjunto menor de fatores que descrevem a vulnerabilidade [57]. Desta forma, o SoVI consegue apreender a natureza multidimensional da vulnerabilidade social.

A expressão geográfica do Índice de Vulnerabilidade Social é um mapa que representa os extremos da distribuição estatística dos resultados do índice (normalmente superior ou inferior a um desvio padrão da média). Deste modo, o mapa ilustra as áreas

que tem níveis relativamente elevados de vulnerabilidade social (azul), assim como as que tem níveis relativamente baixos (vermelho). Tomou-se como exemplo o mapa da vulnerabilidade social dos EUA no ano de 2000.

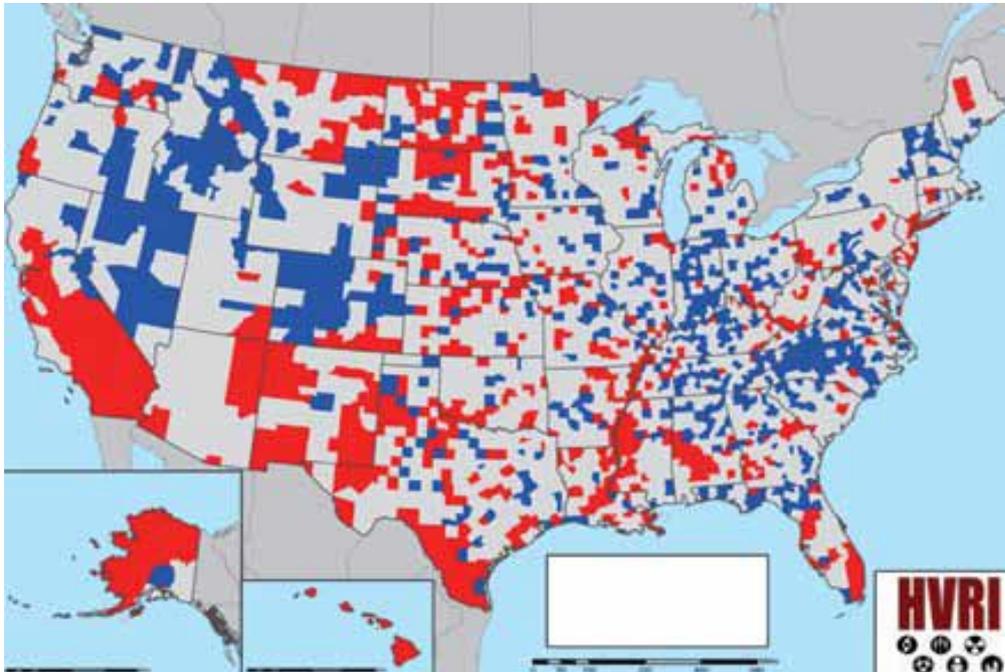


Figura 1: mapa da vulnerabilidade social nos EUA

Dentre as áreas de níveis elevados de vulnerabilidade (considera-se 20% mais alto que a média), podemos notar o traço inferior do Rio Mississippi que atravessa uma região historicamente pobre, de população majoritariamente afroamericana. Nestes condados há pouco emprego, baixos níveis de escolaridade, acesso limitado aos serviços de saúde e um número significativo de agregados familiares chefiados por mulheres. Foi justamente essa região devastada pelo Furacão Katrina em 2005.

3.5. METODOLOGIA APELL – AWARENESS AND PREPAREDNESS FOR EMERGENCIES AT LOCAL LEVEL

Desenvolvido pela UNEP (United Nations Environment Program) no final dos anos 80, o Programa de Conscientização e Preparação para Emergências em Nível Local (APELL) visou inicialmente, assistir comunidades com risco químico na

prevenção e preparação para acidentes industriais, sendo estendido posteriormente para os desastres naturais. Consiste de uma ferramenta metodológica focada em nível local para identificar possíveis riscos industriais e naturais, aumentar a conscientização e criar ou reforçar a capacidade local para respostas imediatas em caso de ocorrer uma emergência.

O objetivo do APELL é promover um cenário voltado para a comunidade a fim de identificar e criar a consciência sobre os riscos em comunidades industrializadas, de modo a implementar medidas de redução e mitigação do risco e desenvolver uma preparação coordenada entre as indústrias, autoridades locais e as comunidades, através de parcerias entre as partes interessadas. Para proteger totalmente a si mesmas, as comunidades devem considerar vários riscos industriais e naturais que podem representar uma ameaça, bem como as potenciais interações entre esses perigos.

De acordo com a Divisão de Tecnologia, Indústria e Economia - UNEP DTIE, o programa APELL dá à população local a informação e estrutura de tomada de decisão para enfrentar os riscos em sua comunidade. Quando se acredita que um risco em potencial possa estar presente na comunidade, as autoridades locais ou a indústria estabelecem um grupo de coordenação, que incluem todas as partes interessadas envolvidas. Este grupo organiza uma identificação inicial dos riscos locais, e estabelece um plano de ação em dez passos:



Figura 2: Plano de ação em dez etapas do APELL
 Fonte: Manual do APELL, 2010.

O grupo de coordenação é o núcleo do programa APELL sendo crucial para aumentar a preparação da comunidade. As partes interessadas mais importantes podem incluir: representantes da indústria; agências governamentais responsáveis pelos serviços de emergência, de saúde pública e proteção ambiental; residentes e empresas locais; e especialistas técnicos, como engenheiros, geólogos e cientistas. Todas as partes potencialmente afetadas têm um interesse legítimo nas escolhas feitas em matéria de planejamento de emergência, e grandes esforços devem ser feitos para garantir que os representantes de todos os grupos relevantes sejam incluídos. Este grupo também deve escolher um indivíduo (ou um pequeno grupo de indivíduos) para liderar e gerenciar as atividades do grupo, além de conduzir reuniões, oficinas e resolver impasses.

O papel do grupo de coordenação é atuar como uma ponte entre as várias partes interessadas com um interesse ou responsabilidade na preparação para emergências e

conduzir o processo de avaliação de risco e planejamento de emergência adiante. O grupo de coordenação não desempenha um papel direto nas atividades de resposta a emergência quando um acidente ou desastre natural ocorre, mas é responsável por avaliar os riscos e níveis de preparação em curso, coordenar os planos de emergência existentes, desenvolver um plano de emergência integrado e conduzir treinamento e educação sobre os aspectos do plano de emergência. Os membros do grupo de coordenação devem estabelecer procedimentos para dinamizar o programa APELL, atribuindo responsáveis pelas tarefas. Após a conclusão do plano, o grupo deverá fazer uma avaliação de modo a aperfeiçoá-lo [58].

Muitas comunidades locais precisam se preparar para riscos potenciais. Esta preparação da comunidade, de acordo com a metodologia APELL significa que:

1. A comunidade deve:
 - Conhecer os sinais de alarme
 - Seguir os planos de evacuação
 - Saber o que fazer em um acidente
 - Adaptar suas residências
 - Conectar-se a serviços de notícias adequados em situações de crise
2. Os serviços de resgate precisam:
 - Equipamento e treinamento
 - Mapas de riscos locais
 - Manter contato com serviços de resgate privado
 - Modalidades de gerenciamento do tráfego
 - Canais de comunicação com o público durante a crise
3. A indústria deve providenciar para:
 - Compartilhar os resultados da análise de risco e suas consequências

- Implementar o risco
 - Medidas de redução
 - Conectar os seus serviços de resgate
 - Comunicar com o público durante a crise
 - Estabelecer zonas de segurança
4. Autoridades do governo devem tomar medidas para:
- Planejamento de uso seguro do solo
 - Transporte seguro de produtos químicos
 - Disponibilizar ao público a legislação sobre procedimentos e processos de risco
 - Disponibilizar serviços médicos prontos para uma crise
5. As autoridades nacionais podem:
- Contribuir para a preparação local, interligando com os programas nacionais de gerenciamento de desastres.



Figura 3: grupo de coordenação APELL
 Fonte: manual do APELL (2010)

Um dos primeiros passos na redução da vulnerabilidade a acidentes e desastres da comunidade é avaliar os diferentes riscos presentes na comunidade. A Matriz Multi-Risco é uma ferramenta simples que pode ser utilizada para o conhecimento inicial dos riscos existentes na comunidade (APELL, 2010).

3.5.1. MATRIZ MULTI-RISCO

A Matriz Multi-Risco é uma ferramenta de classificação de risco que utiliza um conjunto de dez critérios para julgar o(s) tipo(s) e a(s) intensidade(s) do(s) risco(s) a que uma determinada comunidade está exposta. A matriz multi-riscos fornece uma maneira sistemática para avaliar o nível de risco e vulnerabilidade associada com os vários perigos identificados. Cada fonte de perigo identificado é avaliado através de dez critérios de risco diferentes, e atribuído um número entre 1 e 5 para cada critério de risco. O número 1 é atribuído para uma situação favorável (como um risco baixo, baixo grau de vulnerabilidade, ou um nível suficiente de controle de risco), enquanto 5 é atribuído para uma situação desfavorável (como um perigo que ocorre com frequência, ou falta de medidas de proteção). Os critérios de risco são:

- Presença: a primeira pergunta a ser feita é se a fonte de perigo está presente na área estudada. Se o risco não está presente, então os outros critérios de risco não precisam ser avaliados. É o único critério que só aceita o valor 0 ou 5.

- Intensidade: qual é a possível extensão do dano e a área impactada?

- Frequência / Probabilidade: com que frequência este evento ocorre?

- Elementos em risco/exposição de ativos: quais ativos humanos, econômicos ou ambientais poderiam ser afetados por esse perigo? Ativos potenciais que devem ser considerados incluem pessoas, indústrias, empresas, infra-estrutura, recursos agrícolas, abastecimento de água e habitats sensíveis.

- **Vulnerabilidade:** a vulnerabilidade de um grupo de ativos descreve a sua capacidade de resistir aos danos de um acidente ou desastre. Por exemplo, certos segmentos da população (como os idosos ou internados em hospital) são mais vulneráveis a desastres, requerendo uma evacuação rápida.

- **Conhecimento do risco:** como está o entendimento do perigo? Precisa de mais informações para compreender plenamente a fonte de perigo?

- **Prevenção:** estão em vigor medidas para reduzir, o quanto possível, a probabilidade de riscos? Por exemplo, a legislação de controle de transporte de mercadorias perigosas e os sistemas de gestão de segurança em instalações industriais podem evitar acidentes.

- **Proteção:** estão em vigor medidas para atenuar os efeitos de um perigo? As medidas de proteção podem incluir diques para evitar inundações, paredes de reforço capazes de resistir a uma explosão, ou restrições de uso da terra para evitar construções nos locais mais vulneráveis.

- **Planejamento de emergência:** existem procedimentos em vigor para responder a uma emergência quando ocorrer? São esses planos regularmente atualizados com base em avaliações de riscos e uma avaliação realista dos recursos disponíveis?

- **Resiliência:** resiliência caracteriza a capacidade de uma comunidade em se recuperar depois de um acidente. Vários aspectos de uma comunidade contribuem para a sua capacidade de resiliência, tais como a existência de planejamento de recuperação de desastres, a capacidade econômica, sistema de saúde e o acesso ao conhecimento.

A Matriz Multi-Risco está representada a seguir:

Critérios de Risco	Avaliação	Fontes de Perigo								
		Indústria	Transporte de produtos perigosos	Ciclones Tropicais	Inundação	Incêndio florestal	Vulcão	Terremoto	Deslizamento de terra	Tsunami
Presença	0-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Intensidade	1-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Frequência	1-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Elementos em risco	1-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Vulnerabilidade	1-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Conhecimento do risco	1-5	1	5	5	5	5	5	5	5	5
Prevenção	1-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Proteção	1-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Planejamento de emergência	1-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Resiliência	1-5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Figura 4: Matriz Multi-Risco
 Fonte: Manual do APELL, 2010

No exemplo acima, a matriz foi preenchida com seus valores máximos (5), exceto o critério “Conhecimento do Risco” para acidentes industriais. O critério de risco “Presença” é o único que só aceita valor zero ou cinco, ou seja, o perigo está ou não está presente. Os demais critérios são avaliados em uma escala de 1 a 5 desde que o perigo esteja presente, caso contrário, não são avaliados.

O preenchimento da matriz é feito de acordo com os valores obtidos pela Ferramenta Community Risk Profile (CRP) a qual possui uma planilha com várias perguntas para cada critério de risco.

3.5.2. FERRAMENTA COMMUNITY RISK PROFILE (CRP)

De acordo com o manual do CRP [59], esta ferramenta fornece uma estimativa dos vários tipos de risco na qual a comunidade é exposta, apoiando o processo de tomada de decisão, especialmente quanto a possibilidade de se fazer ou não outras avaliações. A CRP não é, portanto, uma ferramenta de avaliação de risco. É uma ferramenta que fornecerá ao usuário uma abordagem qualitativa para caracterizar um nível esperado de risco e assim decidir sobre a necessidade de uma avaliação mais aprofundada. Também é uma ferramenta que pode ser usada para apoiar as atividades de conscientização e capacitação. Foi projetada para uma gama de usuários envolvidos na avaliação de risco ou gerenciamento de comunidades, com foco em autoridades locais responsáveis por questões relacionadas com desastres e planejamento de uso da terra, bem como seguradoras e agências de ajuda que desejam investigar o risco de uma determinada área da comunidade.

A CRP é produzida automaticamente uma vez que as perguntas contidas nas várias planilhas vão sendo respondidas. Cada perigo identificado e cada um dos critérios considerados na Matriz Multi-Risco tem uma planilha com perguntas específicas para ajudar a caracterizar os riscos associados aos diferentes tipos de perigos. Cada pergunta específica está relacionada a uma equação matemática, geralmente baseada na média aritmética ou na teoria da probabilidade. Uma vez que as questões são respondidas, as equações calculam automaticamente uma pontuação para o critério medido.

Todos os critérios são medidos numa escala de 0 a 5, e sempre com a mesma orientação. Se não houver nenhuma fonte de perigo presente na área em estudo, o usuário irá definir o critério de presença para zero (0), indicando "ausência" de qualquer fonte de perigo.

Quando uma fonte de perigo está presente, o critério de presença é ajustado a 5 e todos os outros parâmetros são, então, avaliados numa escala de 1 a 5. Para o critério de "perigo", uma configuração de 1 para a categoria vulnerabilidade corresponde a baixo risco, baixo nível de elementos em risco e baixa vulnerabilidade. Por outro lado, 5 indica uma alta pontuação de risco, um nível elevado de elementos em risco e grande vulnerabilidade.

Para os critérios de "redução de risco", a pontuação 1 indica eficiente prevenção, proteção e preparação para emergências, bem como alta resiliência e um bom conhecimento do risco. A situação de todos os critérios, ilustrado pela figura 3, pode ser resumida como: 1 indica uma situação favorável, 5 uma desfavorável.



Figura 5: Interpretação das escalas

Fonte: manual do CRP.

O CRP é dividido em duas partes: a Matriz Multi-Risco (Figura 2), onde todos os resultados são resumidos, e os gráficos CRP (Figura 4), que fornecem uma representação gráfica em diferentes dimensões de cada risco específico.

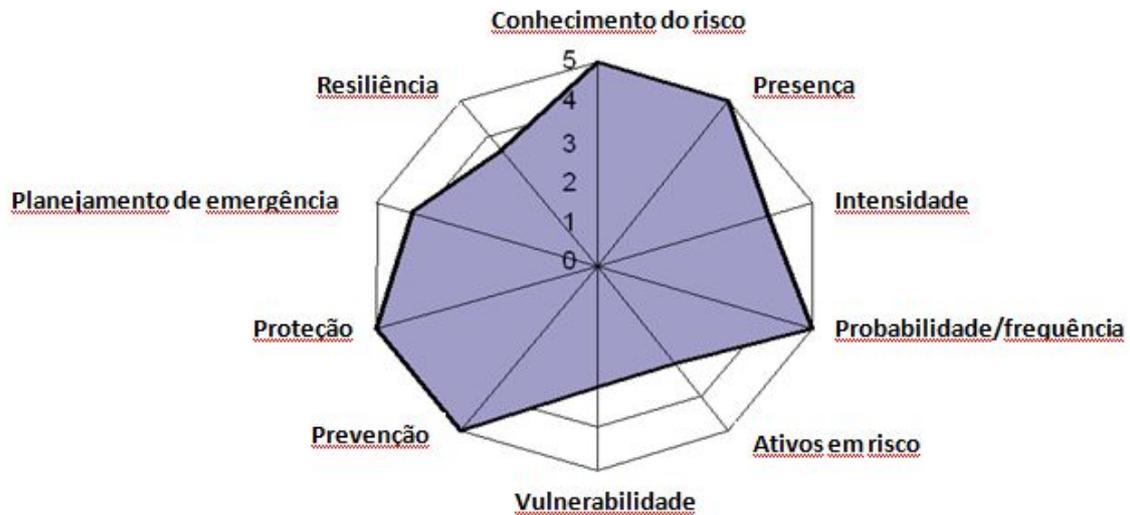


Figura 6: gráfico CRP
 Fonte: manual do CRP

Os gráficos CRP podem ser divididos em três áreas principais:

- Perigo: parte superior direita
- Vulnerabilidade: parte inferior direita
- Atividades de controle do risco: toda metade esquerda.

Ao interpretar os gráficos CRP (figura 6), também é importante ter em mente a definição de risco estabelecida anteriormente. Se a área da superfície da parte superior direita do gráfico é grande, então a pontuação de perigo é alta. No entanto, de acordo com a definição, isto não significa necessariamente que o risco é elevado. Se a área da parte inferior direita é pequena, há poucos elementos em situação de risco e a vulnerabilidade é baixa. O risco é, portanto, baixo e, se um acidente ocorresse, ele poderia causar apenas danos limitados. Além disso, se as medidas preventivas forem consideradas adequadas, a probabilidade de ocorrência de um acidente, também é baixa.

A Ferramenta CRP é um ótimo recurso para se obter uma radiografia detalhada de uma comunidade. De forma pontual, ela vai realçar as limitações e vulnerabilidades da comunidade estudada. Quando dispomos de um cenário em que existem diversas localidades potencialmente expostas aos perigos, os governantes estabelecem

prioridades nos investimentos para as mais necessitadas. A simples comparação das planilhas CRP não atenderia fielmente a hierarquização das comunidades devido aos seguintes motivos:

- A maioria dos fatores de risco é tratada de maneira determinística (crisp). Assim, perguntas do tipo: “a comunidade está em uma área costeira?” e “Existem alarmes em caso de inundação?” Possuem como resposta sim ou não, desprezando a distância da comunidade ao litoral ou a quantidade de alarmes distribuídos pela comunidade. Deste modo, duas comunidades terão o mesmo grau de risco, independente de suas efetivas distâncias ao mar ou do número de alarmes instalados.
- As perguntas contidas em um mesmo critério de risco possuem a mesma importância para o cálculo, independente do grau de relevância. A seguinte pergunta “É a região ou a área a montante sujeita a episódios de chuva intensa?” possui o mesmo peso que a pergunta “Existem partes do solo a montante naturalmente impermeáveis?” Neste caso, faz-se necessário a atribuição de pesos para melhor avaliação.
- O resultado final para cada critério de risco atinge o valor máximo de 5, porém ao somar os valores de cada pergunta da planilha, esse valor é ultrapassado, mas é automaticamente reduzido a 5, distorcendo o resultado.

Para a hierarquização das comunidades de acordo com os seus graus de exposição aos riscos, faz-se necessária uma metodologia mais realista em termos de comparação dos critérios de risco. Para tal, a utilização de uma ferramenta com Lógica Fuzzy resolveria os problemas acima mencionados de forma simplificada.

3.6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES – CEPED-UFSC

Esta metodologia foi desenvolvida pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED-UFSC) o qual gerou o Relatório de vulnerabilidade dos setores de risco do Município de Navegantes-SC. O projeto definiu os seguintes fatores de vulnerabilidade a desastres:

- Fatores Socioeconômicos: indica características sociais, de gênero, idade, renda e outras variáveis domiciliares da população que habita áreas suscetíveis a inundações e deslizamentos.
- Fator Físico-ambiental: indica as características físicas das edificações, vegetação, preservação ambiental, proximidade ao agente desencadeador do evento e outras variáveis que evidenciam a vulnerabilidade a deslizamentos ou inundações sob o ponto de vista da localização, qualidade e condições dos materiais das estruturas físicas.
- Fator saúde: indica o acesso aos serviços de saúde, pessoas com doenças crônicas ou deficiências, entre outros aspectos, nas áreas investigadas.
- Fator Educação: indica o nível de formação e escolaridade das pessoas residentes nas áreas investigadas.
- Percepção de Risco: indica o conhecimento, a relação da população local com os riscos de desastres a que estão sujeitas.
- Infraestrutura Urbana e Ocupação do solo: indica as condições de infraestrutura e urbanização da área ocupada.

A seleção dos fatores e variáveis decorreu dos dados disponíveis em bases de dados do IBGE e de algumas informações possíveis de serem coletadas em campo. As

tabelas a seguir apresentam as variáveis selecionadas, onde se pode observar que foi dada ênfase as variáveis que expressam maior vulnerabilidade (alta e muito alta).

Os pesos foram dados de acordo com a relevância da variável e sua expressão no conjunto de variáveis, em relação ao fator de vulnerabilidade a que corresponde. Os pesos foram atribuídos considerando, também, as ameaças específicas determinadas pelo Instituto de Geologia do Brasil (CPRM) para as áreas estudadas. Além disso, foram dados pesos aos fatores para elaboração dos mapas finais, considerando a relevância do fator e a condição do conjunto de variáveis de expressar e diferenciar as edificações investigadas.

Para determinação dos valores dos pesos utilizou-se a lógica de Fibonacci³. A classificação de vulnerabilidade dos mapas foi realizada em 5 níveis, de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 1: níveis de vulnerabilidade por pesos
Fonte: CEPED-UFSC [60]

Grau de Vulnerabilidade da Variável	Peso
Muito Alta Vulnerabilidade	0,988650571
Alta Vulnerabilidade	0,617906607
Moderada Vulnerabilidade	0,370743964
Baixa Vulnerabilidade	0,247162643
Muito Baixa Vulnerabilidade	0,123581321

Apresenta-se a seguir os pesos determinados aos fatores de vulnerabilidade elegidos.

³ A lógica ou sequência de Fibonacci é uma sequência de números inteiros, começando normalmente por 0 e 1, na qual cada termo subsequente corresponde a soma dos dois anteriores. Na matemática, a sequência é iniciada pelo primeiro termo $F_1 = 1$: $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$.

Tabela 2: pesos dos fatores de vulnerabilidade selecionados
 Fonte: CEPED-UFSC

Fatores de Vulnerabilidade	Pesos
Fator Socioeconômico	0,247162643
Fator Saúde	0.370743964
Fator Educação	0,123581321
Fator Físico ambiental	0.988650571
Fator Infraestrutura urbana e ocupação	0,617906607
Fator Percepção de Risco	0.370743964

Os dados retirados da base de dados do IBGE se referem aos setores censitários, os quais não correspondem estreitamente aos setores de risco indicados pelo CPRM. Já os dados coletados em campo se referem apenas aos setores de risco de Navegantes. Foram dados pesos às variáveis selecionadas e, também, aos 6 fatores de vulnerabilidade. Os mapas foram elaborados por meio de análises geoestatísticas e modelos computacionais.

A análise decorrente dos fatores de vulnerabilidade possibilitou a produção de mapas pontuais dos setores de risco indicados pelo CPRM, indicando quais as áreas do setor são mais vulneráveis relativas aos aspectos apresentados na tabela. Sendo assim, foram produzidos a partir da confluência de todos os fatores utilizados:

- Mapas finais de vulnerabilidade a desastre, por setor de risco;
- Mapas de vulnerabilidade de infraestrutura urbana e ocupação, por setor de risco de desastre.

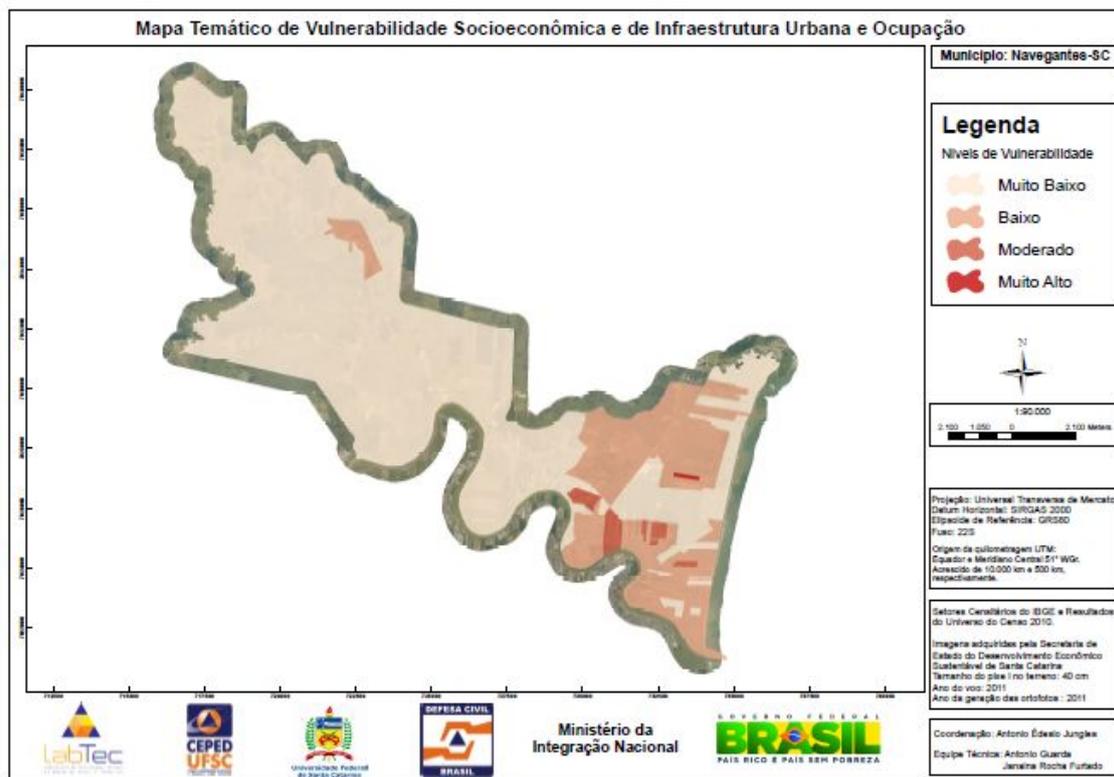


Figura 7: mapa de vulnerabilidade socioeconômica de Navegantes
 Fonte: CEPED-UFSC

3.7. METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS – COPPETEC – LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE

Este estudo, desenvolvido pelo Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente da Fundação COPPETEC [61] contribuiu para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Esta metodologia utiliza no processamento informações extraídas dos relatórios da Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro visando determinar o grau de vulnerabilidade à inundação. Procurou-se realizar o cruzamento do grau de impacto com a frequência do evento para cada local. Para obter o grau de impacto do desastre, foram adotadas as categorias de danos existentes nos relatórios da Defesa Civil bem como estabelecidas pontuações para cada categoria de acordo com a tabela 3 abaixo:

Tabela 3: Pontuação máxima e mínima de acordo com a categoria do dano

Danos	Pontuação Máxima	Pontuação Mínima
Danos Humanos	50	0
Danos a Serviços Públicos	20	0
Danos a Bens Públicos	15	0
Danos a Serviços Privados	10	0
Danos a Bens Privados	5	0

Cada categoria de danos e as premissas estabelecidas para nortear a aplicação da metodologia são expostas a seguir:

- Danos Humanos: considera-se que existem danos humanos quando do evento resultam:
 - Mortes;
 - Desabrigados;
 - Desalojados;
 - Outros danos (feridos, enfermos, deslocados)

Em caso de morte decorrente das inundações, atribui-se a esta categoria o valor máximo que é de 50 pontos; caso não existam vítimas fatais em decorrência das inundações, avaliam-se:

1. A quantidade de desabrigados.
 - Se o número de desabrigados for maior que 30% do número de desalojados, atribui-se 40 pontos;
 - Caso contrário atribui-se 30 pontos.
2. A quantidade de desalojados
 - Se o número de desalojados for maior que 100 habitantes, atribui-se 40 pontos;
 - Se o número de desalojados for maior que 30 habitantes e menor do que 100 habitantes, atribui-se 30 pontos;

- Se o número de desalojados for menor que 30 habitantes, atribui-se pontuação 0;
- 3. Se o número de enfermos ou feridos ou deslocados for maior que 20 habitantes, atribui-se 20 pontos;
- 4. Se qualquer outro dano a vida humana atingir mais de 30 habitantes, atribui-se 20 pontos.

A pontuação final da categoria de danos humanos corresponde ao maior valor atribuído a um dos componentes avaliados, e não a soma deles.

➤ Danos a Serviços Públicos Essenciais: são considerados Serviços Públicos Essenciais, os serviços de:

- Abastecimento de água;
- Fornecimento de energia elétrica;
- Sistemas de transportes; e
- Sistemas de comunicação.

A pontuação foi estabelecida pelos seguintes critérios:

- Serviço de abastecimento de água:
 - Se o Sistema de Abastecimento d'Água for destruído, atribui-se 20 pontos;
 - Se o Abastecimento d'Água for danificado, atribui-se 18 pontos;
- Serviço de fornecimento de eletricidade:
 - Se a infraestrutura de fornecimento de energia elétrica for destruída, atribui-se 20 pontos;
 - Se o fornecimento de energia elétrica for danificado, atribui-se 18 pontos;
- Serviço de transporte na região atingida
 - Se o sistema de transportes for destruído, atribui-se 15 pontos;
 - Se o sistema de transportes for danificado, atribui-se 13 pontos;
- Serviço de comunicações na região atingida

- Se o sistema de comunicação for destruído, atribui-se 10 pontos;
- Se o sistema de comunicação for danificado, atribui-se 8 pontos.

Neste caso, os valores atribuídos a cada componente da categoria são somados, porém, o valor total é limitado ao valor máximo da categoria para dano a serviços públicos essenciais que é de 20 pontos.

➤ Danos a Bens Públicos

São considerados bens públicos:

- Obras de arte (pontes, viadutos, passarelas);
- Estradas;
- Via urbana;
- Estabelecimentos (escolas, postos de saúde);
- Outras edificações (repartições);
- Vias rurais.

A pontuação é atribuída de acordo com os seguintes critérios:

- Obras de arte
 - Quando são destruídas, atribui-se 15 pontos;
 - Quando são danificadas, atribui-se 10 pontos;
- Estradas
 - Quando são destruídas, atribui-se 10 pontos;
 - Quando são danificadas, atribui-se 5 pontos;
- Vias urbanas
 - Quando é destruída, atribui-se 5 pontos;
 - Quando é danificada, atribui-se 3 pontos;
- Estabelecimentos

- Quando um estabelecimento é destruído, atribui-se 5 pontos;
- Quando seu uso é restringido, atribui-se 4 pontos;
- Outras edificações
 - Quando edifícios são destruídos, atribui-se 4 pontos;
 - Quando os serviços nos edifícios são restringidos, atribui-se 2 pontos;
- Vias Rurais
 - Se houve via rural destruída, atribui-se 3 pontos;
 - Se a via rural for danificada, atribui-se 1 ponto;

Neste caso, os valores atribuídos a cada componente são somados, porém, o valor total é limitado ao valor máximo da categoria dano a “Bens Públicos” que é de 15 pontos.

➤ Danos a Serviços Privados: São considerados bens privados os estabelecimentos industriais e comerciais. A pontuação é atribuída seguindo os seguintes critérios:

- Estabelecimento industrial.
 - Para indústria destruída, atribui-se 10 pontos;
 - Para indústria danificada, atribui-se 8 pontos;
- Estabelecimento comercial
 - Para estabelecimento comercial destruído, atribui-se 8 pontos;
 - Para estabelecimento comercial danificado, atribui-se 6 pontos;

Os valores atribuídos a cada item são somados, porém o valor total é limitado ao valor máximo da categoria dano a “Serviços Privados” que é de 10 pontos.

➤ Danos a Bens Privados: São considerados bens privados os edifícios residenciais. A pontuação é atribuída de acordo com os seguintes critérios:

- Para residência destruída, atribui-se 5 pontos;
- Para residência danificada, atribui-se 3 pontos.

Os valores dos danos são somados não podendo ultrapassar o valor máximo de 5 pontos, que é a pontuação máxima para os danos a “Serviços Públicos Essenciais”. A classificação final do impacto do desastre é dada pelo somatório dos valores de cada categoria.

Tabela 4: Classificação dos eventos

Pontuação	Classificação
0 a 30	Baixo Impacto
31 a 69	Médio Impacto
70 a 100	Alto Impacto

A frequência dos desastres foi classificada considerando-se o total de ocorrências no período de análise, que foi de 2000 a 2012. Foram estabelecidas as seguintes escalas de frequência:

Alta: Quando se têm 3 ou mais ocorrências no período;

Média: Quando se têm 2 ocorrências no período;

Baixa: Quando se têm 1 ou nenhuma ocorrência no período.

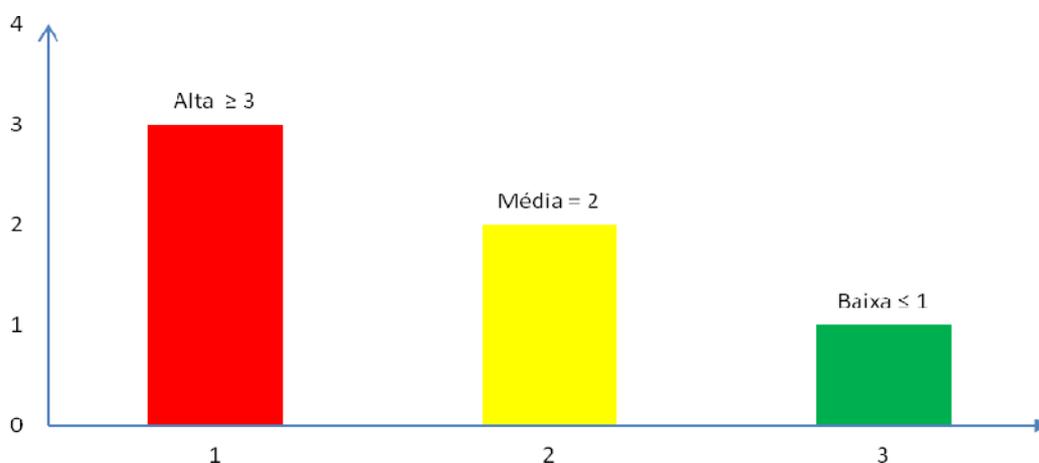


Gráfico 2: Intervalos de frequência da ocorrência de inundações.

A vulnerabilidade dos locais atingidos foi determinada através do cruzamento da frequência dos desastres com a dos impactos decorrentes. A metodologia adotada define a vulnerabilidade conforme a figura 8:

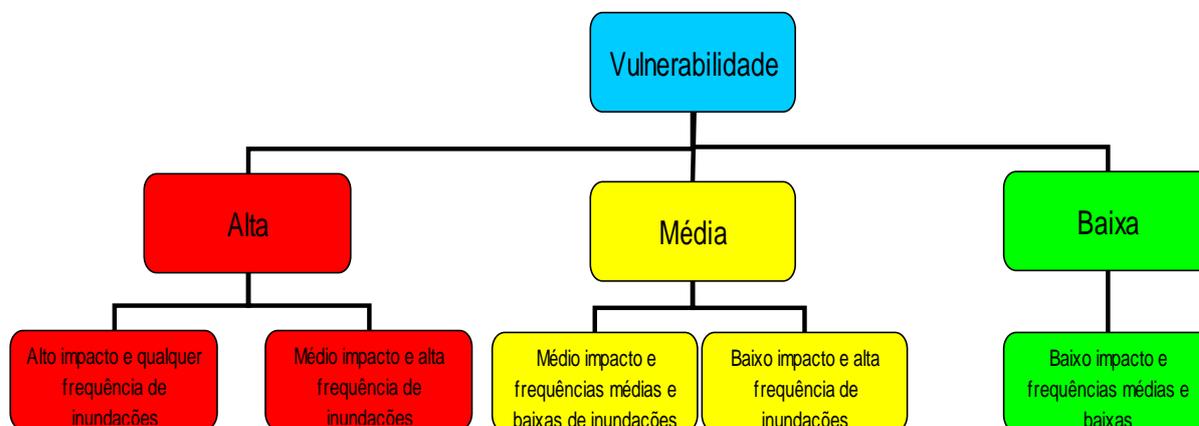


Figura 8: Definição do grau de vulnerabilidade

A tabela 5 a seguir corresponde a um extrato parcial da classificação do grau de vulnerabilidade local do município de Angra dos Reis-RJ aplicando a metodologia descrita. Observa-se que as localidades de Bracuí e Japuíba obtiveram classificação alta para o grau de vulnerabilidade:

Tabela 5: Classificação da vulnerabilidade local

Município	Bairro / Localidade	Número de ocorrências			Vulnerabilidade
		Baixo Impacto	Médio Impacto	Alto Impacto	
ANGRA DOS REIS	ANGRA DOS REIS	1	1	0	Média
	BAIRRO PONTAL	0	1	0	Média
	BRACUÍ	3	4	0	Alta
	ARIRÓ	0	1	0	Média
	BAIRRO BELÉM	1	2	0	Média
	BAIRRO DIVINEIA	1	1	0	Média
	CAMPO BELO	1	0	0	Baixa
	CENTRO	0	1	0	Média
	ENCRUZADO DA ENSEADA	0	1	0	Média
	FRADE	0	1	0	Média
	GAMBOA DO BELÉM	0	1	0	Média
	GAMBOA DO BRACUÍ	1	1	0	Média
	JAPUIBA	2	3	0	Alta
	MATARIZ	0	1	0	Média
	MONSUABA	1	0	0	Baixa
	MORRO DO CARMO	0	1	0	Média

3.8. ANÁLISE DAS METODOLOGIAS

A pesquisa realizada neste estudo não esgota todas as metodologias existentes na literatura, mas produziu uma amostra representativa das diferentes abordagens

utilizadas a nível mundial e nacional. Uma importante limitação em algumas metodologias analisadas diz respeito à confiabilidade, amplitude e cobertura das bases de dados utilizadas.

É consensual a constatação de que dados globais confiáveis em relação aos resultantes de desastres se limitam aos dados de mortalidade e frequência. Diante disto, outros indicadores de risco se fariam necessários para que análises mais aprofundadas pudessem ser efetuadas, isto porque muitos desastres causam impactos sociais e econômicos muito sérios sem produzir mortalidade relevante.

A utilização somente de dados estatísticos de desastres já ocorridos, como mortalidade e frequência, não é suficiente para uma classificação adequada da vulnerabilidade, principalmente em nível local, pois os cenários são dinâmicos, com um crescimento urbano desordenado aliado ao aumento das ameaças decorrentes da variação climática. Segue abaixo um quadro comparativo com as metodologias estudadas:

Tabela 6: Quadro comparativo das metodologias

	Escala	Perigos	Dados	Participação da comunidade
DRI	nacional	inundação, estiagem, ciclone tropical	quantitativos	NÃO
HOTSPOTS	subnacional	inundação, estiagem, ciclone tropical e deslizamento	quantitativos	NÃO
Tyndall Centre	nacional	todos	quantitativos	NÃO
SoVI	subnacional	todos	quantitativos	NÃO
APELL	subnacional	todos	quantitativos e qualitativos	SIM
CEPED-UFSC	subnacional	inundação e deslizamento	quantitativos e qualitativos	SIM
COPPETEC	subnacional	inundação	quantitativos	NÃO

A realização de estudos em escalas intermediárias, como a subnacional, é de importância primordial para superar as limitações de escala verificadas nos estudos

internacionais. Também são importantes para comprovar a validade das hipóteses e a capacidade de generalização dos resultados obtidos por metodologias que adotam a escala nacional. Desta forma, os trabalhos em âmbito microrregional, a nível local, seriam capazes de produzir resultados mais precisos e identificar padrões de distribuição espacial do risco e da vulnerabilidade internos aos estados da federação.

Algumas metodologias podem ser utilizadas para todo tipo de fonte de perigo, sejam elas naturais ou tecnológicas (produzidas pelo homem), contudo, cabe observar que todos os estudos incluíram o perigo de inundação devido a sua elevada frequência mundial. Quanto aos dados de entrada, o uso de dados qualitativos se torna presente quando há um envolvimento da população em torno do problema, o que enriquece substancialmente o resultado da avaliação do risco.

Dentre as metodologias analisadas, o Programa APELL se mostrou a mais completa e adequada, sendo aderente às recomendações dos programas de redução de riscos a desastres, com abrangência a nível local e participação da comunidade. Esta metodologia serviu de base para o modelo proposto neste trabalho.

CAPÍTULO 4 - MODELO PROPOSTO DE HIERARQUIA DE COMUNIDADES VULNERÁVEIS A DESASTRES

Neste capítulo é apresentado, de maneira teórica, o modelo proposto neste estudo – Modelo Fuzzy de Risco em Comunidades (MFRC). Para a construção do modelo, foi necessário estabelecer um marco conceitual, em virtude das diversas definições existentes na literatura sobre o assunto. Foram estabelecidas as seguintes definições, adaptadas de Trajber [62]:

- **Desastre:** séria interrupção do funcionamento de uma comunidade causando mortes e/ou perdas materiais ou ambientais, as quais excedem a capacidade da comunidade afetada de lidar com a situação. Assim, o desastre é o resultado da combinação de ameaças/perigo, condições de vulnerabilidade e da insuficiente capacidade para reduzir as consequências negativas do risco.

- **Risco de desastre:** é a probabilidade de que a população e seus bens materiais sofram consequências prejudiciais ou perdas (mortes, lesões, danos em propriedades, interrupção de atividade econômica etc.) diante de um impacto de perigos (ameaças) naturais (terremotos, ciclones etc.), ou antropogênicas (consequência das atividades humanas como industriais: poluição, explosão etc.). O desastre é um risco que se concretizou, sendo que sua intensidade depende de condições de vulnerabilidade em interação com as ameaças.

- **Perigos:** são todas as fontes de ameaças, naturais ou antropogênicas, que podem acarretar efeitos danosos sobre as pessoas, as economias e o meio ambiente (terremotos, tsunamis, rompimento de barragem etc.)

- **Vulnerabilidade:** conjunto de condições sociais, econômicas, políticas, culturais, técnicas, educativas e ambientais que deixam as pessoas mais expostas ao perigo.

- **Resiliência:** é a capacidade de uma comunidade exposta aos perigos de resistir, adaptar-se e recuperar o seu nível de funcionamento e estrutura após um desastre. Pode ser entendida como inversamente proporcional à vulnerabilidade.

A partir do marco conceitual, foram estabelecidas as seguintes definições utilizadas no MFRC:

- **Fatores de Risco (FR):** são todos os fatores que contribuem para a probabilidade de ocorrência e a intensidade dos desastres.

- **Nível de Proteção ao Risco (NPR):** indica a capacidade da comunidade em se contrapor ao perigo, sendo associado a cada Fator de Risco.

- **Índice de Resiliência da comunidade (IRC):** indica a capacidade de uma comunidade retornar ao seu nível aceitável de funcionamento após um desastre. No MFRC, teremos o IRC parcial, resultado da associação da relevância de cada FR com o Nível de Proteção ao Risco (NPR). Já o IRC total é a soma de todos os IRC's parciais.

Após a análise de algumas metodologias de avaliação de risco e identificação de vulnerabilidades a desastres existentes na literatura, observaram-se as seguintes características para construção do modelo:

- Simplicidade, de modo a facilitar a utilização prática do usuário final.
- Avaliação das vulnerabilidades para desastres naturais e industriais.
- Abrangência a nível local de forma a comparar comunidades com características físicas e ambientais semelhantes.
- Flexibilidade de modo a permitir alterações de cenários e fatores de risco de acordo com a região estudada.
- Hierarquização dos fatores de risco com atribuição de graus de relevância.

Os usuários finais do modelo seriam os gestores públicos responsáveis por alocar recursos de investimento em infraestrutura e capacitação nas comunidades mais

vulneráveis identificadas. Contudo, todas as partes interessadas como população, indústria, órgãos de defesa civil e de saúde também se beneficiariam. Considerou-se os desastres naturais e industriais bem como a possibilidade de reação em cadeia, o que agravaria o risco de uma comunidade. Assim, foi delimitada uma abrangência a nível municipal de forma a obter uma comparação mais realista entre comunidades expostas a características físicas e ambientais semelhantes, onde os mesmos fatores de risco seriam avaliados além de permitir uma maior participação da população. Como o modelo é flexível, permite a alteração dos fatores de risco ou dos seus graus de relevância pelos especialistas, dependendo da região estudada.

Foi utilizado o Modelo de Hierarquia Fuzzy COPPE-COSENZA que, apesar de desenvolvido como uma ferramenta de apoio a decisão em problemas de localização industrial, foi adaptado neste estudo para hierarquizar comunidades expostas a riscos de desastres. Essa escolha deve-se ao fato do referido modelo apresentar as seguintes características que tornam sua metodologia bastante adequada para o MFRC:

- **Utilização de princípios de Lógica Fuzzy:** a definição da melhor localização para uma indústria bem como a avaliação dos riscos e identificação de vulnerabilidades a desastres em uma comunidade muitas vezes depara-se com variáveis que não podem ser conhecidas com exatidão, não sendo possível uma análise matemática precisa. Através de conjuntos Fuzzy, pode-se trabalhar melhor com essa realidade onde imprecisões, incertezas e subjetividades estão presentes.
- **Captação de recursos que extrapolam os estritamente necessários:** o Modelo de Hierarquia Fuzzy apresenta uma formulação matemática a qual permite que na hierarquização das áreas de localização sejam levados em consideração os recursos adicionais oferecidos por uma determinada região. No caso do MFRC, consideram-se os

recursos adicionais oferecidos por cada comunidade para se contrapor ao risco e aumentar sua resiliência.

- **Resultados obtidos consideram possibilidades de interferência:** o Modelo de Hierarquia Fuzzy prevê a possibilidade de se intervir nas condições de oferta de uma determinada região, melhorando sua capacidade competitiva. Da mesma forma, alguns níveis de risco presentes em uma comunidade podem ser manipulados no modelo MFRC, simulando, por exemplo, obras de infraestrutura. Em se tratando da elaboração de políticas habitacionais, esse aspecto é de grande importância, auxiliando no planejamento de ações que venham a viabilizar, num determinado horizonte de tempo, áreas de expansão de moradias.

A partir da definição das comunidades a serem analisadas, a MFRC vai depender de um conjunto de informações (inputs) dado por especialistas que são: a) definição dos Fatores de Risco (FR); b) relevância desses fatores; c) determinação dos níveis de risco; e d) classificação dos Fatores de Risco nas comunidades.

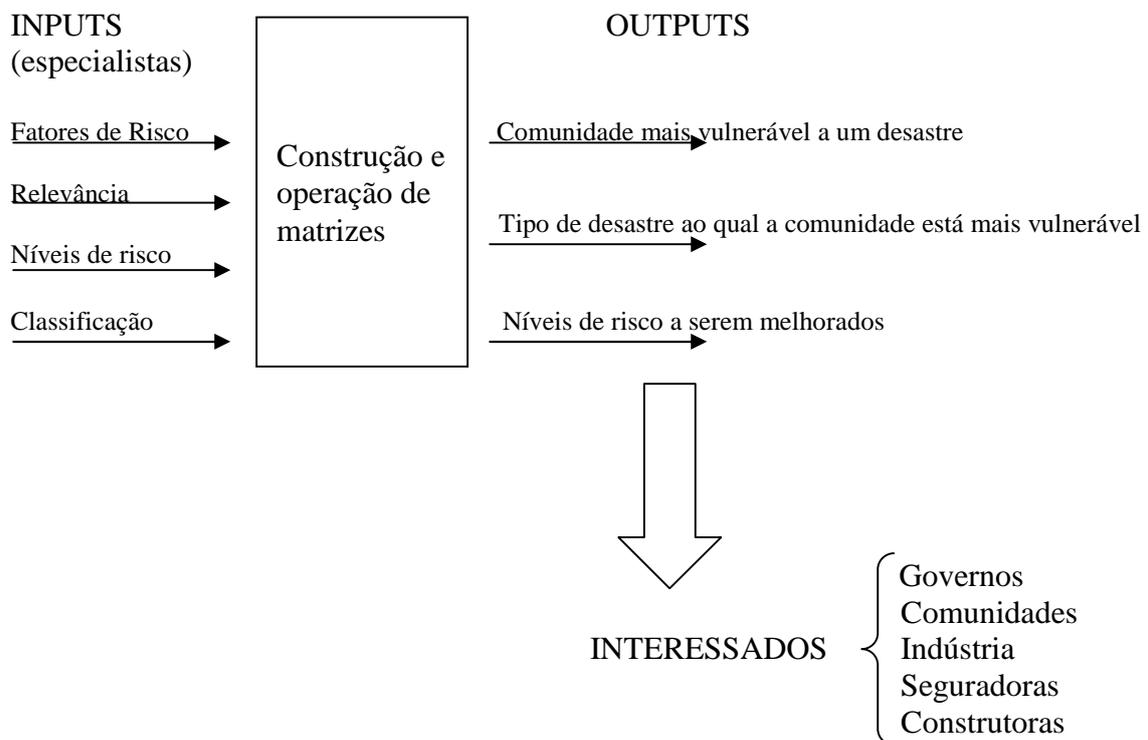


Figura 9: Diagrama de inputs/outputs do MFRC

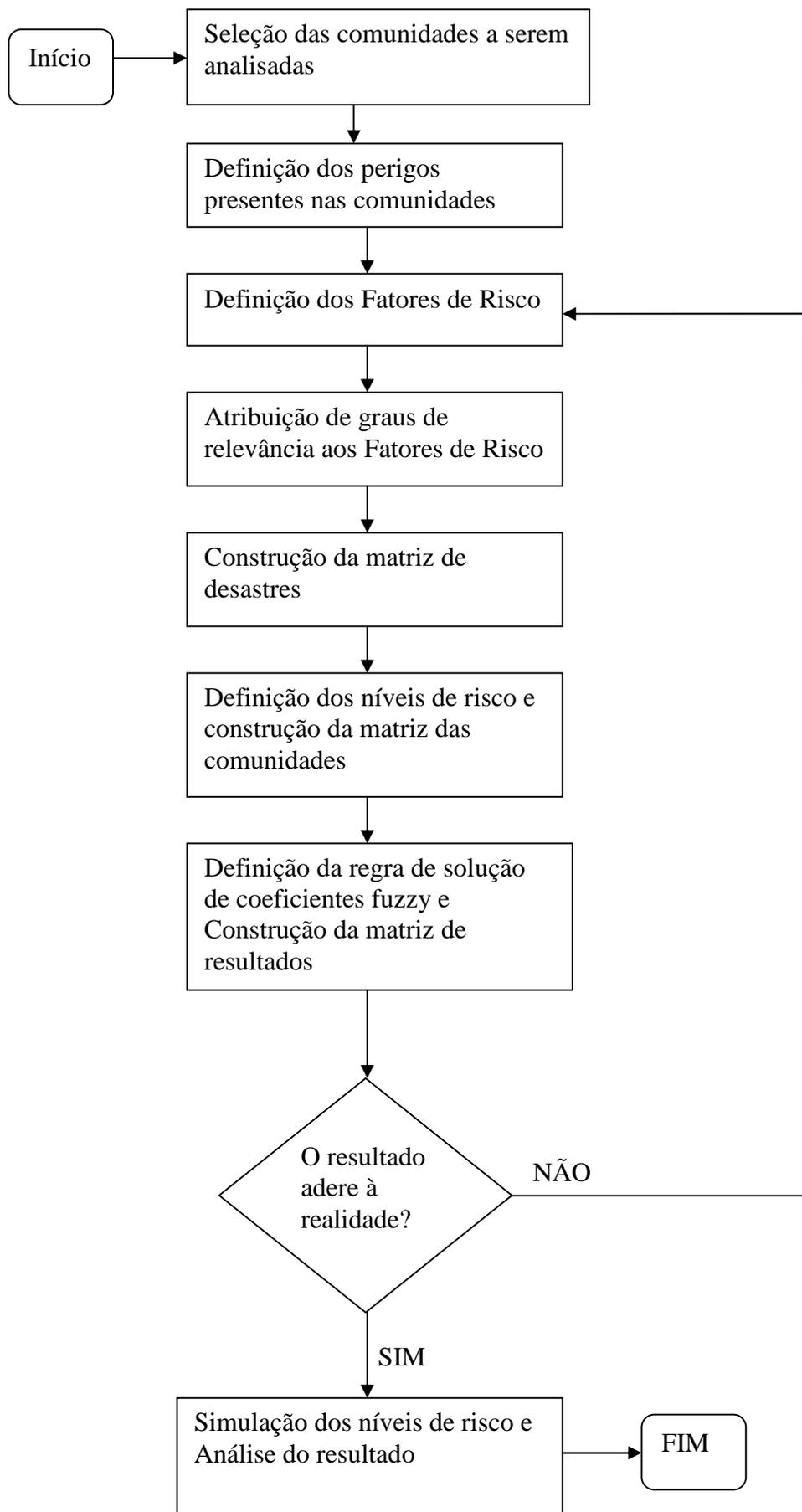


Figura 10: Fluxograma do MFRC

Analogamente ao Modelo de Hierarquia Fuzzy, o MFRC desenvolve-se a partir do confronto entre os perigos e as comunidades com fatores de risco, atribuindo-se a cada um desses fatores um peso de acordo com sua relevância ou potencial de gerar danos. Para tal, são elaboradas a matriz de desastres e a matriz de comunidades, cujo produto entre elas gera a matriz de resultados que irá apresentar de forma hierarquizada as comunidades mais vulneráveis para cada um dos desastres que compõem o universo do estudo. O fluxograma da figura 10 descreve a sequência das diversas operações que compõem o MFRC.

Uma vez detectados os fatores de risco as quais as comunidades estão mais vulneráveis, faz-se uma análise de caráter prospectivo, onde são determinados que fatores podem ser melhorados num determinado horizonte de tempo, fazendo-se simulações para verificar o impacto dessas melhorias na capacidade de se contrapor ao risco.

4.1. DEFINIÇÃO DOS FATORES DE RISCO E SUA RELEVÂNCIA

A definição dos Fatores de Risco é a etapa mais importante do modelo, pois vai determinar a hierarquização das comunidades com relação aos perigos associados à região em estudo. Consistem de perguntas sobre a vulnerabilidade da comunidade possuindo características gerais e específicas. Para uma hierarquização mais realista, as comunidades devem, preferencialmente, estar dentro da mesma região em estudo, de modo a possuírem características sócio-ambientais semelhantes.

A seleção do conjunto dos Fatores de Risco pode variar conforme o julgamento dos tomadores de decisão quanto à inclusão ou não de um determinado fator na avaliação. Essa liberdade de trabalhar com o conjunto de fatores que cada tomador de decisão considera mais conveniente torna o modelo flexível, permitindo que novos

fatores venham a ser incorporados ou mesmo excluídos. Trata-se de um aspecto importante se for considerado que as avaliações de risco são dinâmicas, o que faz com que fatores que outrora não existiam, como por exemplo, uma fábrica recém inaugurada, entre no conjunto dos Fatores de Risco. Em contrapartida, uma obra de contenção de encosta concluída pode diminuir a importância ou excluir determinado fator.

Uma excelente base para seleção dos Fatores de Risco é o estudo feito pela UNEP no Programa APELL, onde se utiliza a Ferramenta CRP comentada na seção 3.5.1. e o estudo realizado pelo CEPED da UFSC. No MFRC, o conjunto dos Fatores de Risco obtidos das fontes foi adaptado pelos especialistas e classificado em gerais e específicos.

4.1.1. FATORES DE RISCO GERAIS

São os fatores que podem ser avaliados por todas as comunidades em estudo, independente do tipo de perigo a que estão expostas. Pode-se dizer que são fixos. Dividem-se em duas categorias:

- Vulnerabilidade: avalia a capacidade da comunidade para suportar os efeitos de um perigo ou em que grau os danos serão sustentados. Aborda aspectos demográficos, sociais, econômicos e ambientais.
- Preparação para emergências: avaliam todas as ações que contribuem para a intervenção eficiente no caso de uma emergência.

Para exemplificar, podemos visualizar a seguir um questionário padrão de avaliação dos Fatores de Risco Gerais:

Tabela 7: Exemplo de Fatores de Risco Gerais

Categoria	Fator de Risco
Vulnerabilidade	Qual a densidade humana da área em risco?
	Qual o nível sócio-econômico da população?
	Qual o tipo de moradia mais comum da área em risco?
	Qual a percepção do risco da população?
Preparação para emergências	Existe um plano de emergência que abranja todos os perigos identificados?
	Existe um sistema de comunicações para alertar a comunidade?
	Existe procedimento de evacuação e alocação em instalações definidas?
	São realizados treinamentos periódicos de ações de resposta, uso de equipamentos, segurança e primeiros socorros para a comunidade e equipes de resgate?

O questionário acima é apenas um modelo padrão. O tomador de decisão poderá incluir Fatores de Risco caso sejam pertinentes.

4.1.2. FATORES DE RISCO ESPECÍFICOS

São fatores relacionados ao tipo de perigo presente na comunidade. As fontes de perigo a serem relacionadas são as constantes da Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE). Neste estudo, Os Fatores de Risco Específicos foram divididos nas categorias físico ambiental, prevenção e proteção:

- Físico ambiental: avalia a presença ou não do perigo bem como sua intensidade e frequência.
- Prevenção: para a adoção de medidas preventivas eficientes, é essencial que a comunidade tenha um bom conhecimento do risco a que está exposta.
- Proteção: são medidas capazes de atenuar os efeitos de um perigo identificado na comunidade.

Para exemplificar, foram selecionados Fatores de Risco Específicos para o perigo de deslizamento de solo e rocha conforme a tabela a seguir:

Tabela 8: Exemplo de Fatores de Risco Específicos

Categoria	Fator de Risco
Físico ambiental	A comunidade está localizada em terreno de encosta com aclive superior a 5°?
	Há evidência geomorfológica ou histórico de deslizamentos de terra do passado?
	É parte da comunidade construída em solos que são altamente reativos a saturação de água?
	A comunidade é acometida com episódios de chuva intensa?
Prevenção	É a cobertura florestal mantida em áreas sujeitas a movimentos no solo?
	Existem pessoas habitando áreas interditadas pela Defesa Civil?
	Existem estruturas de estabilização construídas em áreas sujeitas a movimentos no solo?
	Existe gerenciamento adequado da água subterrânea para reduzir os danos devido ao fluxo de água?
Proteção	A comunidade está protegida da queda de rochas e lama?
	As estradas estão protegidas da queda de rochas e lama?

A tabela acima é apenas um modelo baseado na realidade brasileira. Cada região vai possuir características específicas que podem ser levadas em consideração para a escolha dos Fatores de Risco, como por exemplo, se a comunidade é dominada pelo crime organizado, o que dificulta o acesso dos órgãos do estado em obras de infraestrutura. Conforme mencionado, a lista dos Fatores de Risco possui caráter flexível e dinâmico, podendo ser modificada de uma região para outra ou ainda atualizada de acordo com a necessidade do tomador de decisão.

4.1.3. ATRIBUIÇÃO DOS GRAUS DE RELEVÂNCIA

Após a elaboração do questionário de Fatores de Risco (FR), os especialistas devem atribuir um grau de relevância para cada FR. Esta classificação vai contribuir para a hierarquização do modelo. Os graus de relevância foram atribuídos conforme a seguir:

- Crucial (Cr) – afeta gravemente a comunidade.
- Condicionante (Co) – produz danos significativos na comunidade.

- Pouco Condicionante (PC) – produz danos pouco significativos na comunidade.
- Irrelevante (Ir) – não afeta ou produz danos mínimos na comunidade.

A escolha de quatro graus de relevância (Cr, Co, PC, Ir) evita a tendência humana de, sempre no caso de qualquer dúvida, optar pela posição central, perdendo-se um pouco o verdadeiro julgamento. Assim como os FR, os graus de relevância também podem ser modificados de acordo com o tomador de decisão.

4.2. CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE DESASTRES

A Matriz de Desastres (A) vem a ser a matriz que relaciona a importância dos Fatores de Risco (FR) para cada um dos perigos analisados. Tem-se assim: $A = [a_{ij}]_{d \times f}$ onde d = perigos relacionados a região de estudo, f = Fatores de Risco e a_{ij} = grau de relevância do Fator de Risco para cada tipo de perigo (1- crucial, 2- condicionante, 3- pouco condicionante, 4- irrelevante).

Tabela 9: Matriz de Desastres

FR Perigos	f_1	f_2	f_3	...	f_j
d_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1j}
d_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2j}
d_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3j}
:	:	:	:	:	:
d_i	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	...	a_{ij}

4.3. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO AO RISCO (NPR)

Para cada FR, são estabelecidos parâmetros representados por grandezas numéricas ou termos lingüísticos indicando qual o nível de proteção ao risco a comunidade pode se encontrar. Estes requisitos foram estabelecidos por especialistas que especificaram quatro níveis de risco para as comunidades levando em consideração a capacidade das mesmas em se contrapor ao perigo:

- Supera (A) – condição **ótima** de se contrapor ao perigo

- Atende (B) – condição **boa** de se contrapor ao perigo
- Insuficiente (C) – condição **ruim** de se contrapor ao perigo
- Inexistente (D) – condição **péssima** de se contrapor ao perigo

Esta classificação vai mostrar a gradação do melhor para o pior cenário, ou seja, de uma situação de pouco risco para elevado risco, como ilustrado no exemplo abaixo:

Tabela 10 : Exemplo de parâmetros

FR	Unidade	Supera A	Atende B	Insuficiente C	Inexistente D
FR1	Km	>5	$2 < x < 5$	$2 < X < 0,5$	<0,5
FR2	peçoas/km ²	<12	$10 < x < 22$	$22 < x < 30$	> 30
FR3	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR4	Unidade	>5	$2 < x < 5$	$2 < X < 0,5$	<0,5
FR5	Km ²	<20	$20 < x < 30$	$25 < x < 40$	> 35

4.4. CONSTRUÇÃO DA MATRIZ NPR

A Matriz NPR (B) apresenta os níveis de proteção ao risco a um determinado perigo aos quais se encontram as comunidades frente aos Fatores de Risco (FR). Tem-se assim: $B = [b_{jk}]_{f \times m}$, onde f = Fatores de Risco, m = comunidades analisadas, e b_{jk} = NPR (A- Supera, B- Atende, C-Insuficiente e D- Inexistente).

Tabela 11: Matriz NPR

Comunidades FR	m_1	m_2	m_3	...	m_k
f_1	b_{11}	b_{12}	b_{13}	...	b_{1k}
f_2	b_{21}	b_{22}	b_{23}	...	b_{2k}
f_3	b_{31}	b_{32}	b_{33}	...	b_{3k}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
f_j	b_{j1}	b_{j2}	b_{j3}	...	b_{jk}

4.5. CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE RESULTADOS

A Matriz de Resultados é obtida a partir do confronto entre a matriz de desastres e a matriz das comunidades, indicando tanto o nível de resiliência quanto de vulnerabilidade de uma comunidade a um tipo de perigo. Desse modo, $C = [c_{ik}]_{d \times m}$ onde

d = perigos relacionados a região de estudo, m = comunidades analisadas, e c_{ik} = índice de resiliência da comunidade k ao desastre i , que pode ser entendido da seguinte forma: quanto maior for c_{ik} , a comunidade será mais resiliente e menos vulnerável e quanto menor for c_{ik} a comunidade será menos resiliente e mais vulnerável.

Tabela 12: Matriz de Resultados

Comunidades perigos	m_1	m_2	m_3	...	m_k	M
d_1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	...	c_{1k}	$\sum_{n=1}^k c_{1n}$
d_2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	...	c_{2k}	$\sum_{n=1}^k c_{2n}$
d_3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	...	c_{3k}	$\sum_{n=1}^k c_{3n}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
d_i	c_{i1}	c_{i2}	c_{i3}	...	c_{ik}	$\sum_{n=1}^k c_{in}$
D	$\sum_{n=1}^i c_{n1}$	$\sum_{n=1}^i c_{n2}$	$\sum_{n=1}^i c_{n3}$...	$\sum_{n=1}^i c_{nk}$	

O interesse do estudo está em identificar as comunidades mais vulneráveis para que possam ser investidos recursos em melhorias de infraestrutura e treinamentos.

Assim, observa-se:

- $\min_k \{c_{ik}\} = c_i$, indica a comunidade mais vulnerável ao desastre i
- $\min_i \{c_{ik}\} = c_k$, indica o desastre ao qual a comunidade k está mais vulnerável
- $\sum_{n=1}^i c_{nk}$ indica a vulnerabilidade total da comunidade k aos desastres relacionados à região de estudo
- $\sum_{n=1}^k c_{in}$ indica a vulnerabilidade total das comunidades analisadas ao desastre i

A variável c_{ik} é definido como Índice de Resiliência da Comunidade (IRC) e resulta do somatório dos produtos $a_{ij} \times b_{jk}$ obtidos da multiplicação da Matriz de desastres (A) pela Matriz NPR (B), obedecendo a uma regra de solução de coeficientes Fuzzy estabelecida pelo pesquisador, onde são confrontados o grau de relevância do FR com o Nível de Proteção ao Risco da comunidade como exemplificada abaixo:

Tabela 13: Regra de solução Fuzzy

NPR	Supera-A	Atende-B	Insuficiente-C	Inexistente-D
REL				
Cr	$1+4/n$	1	$1-4/n$	0
Co	$1+3/n$	1	$1-3/n$	$1/(n-16)!$
PC	$1+2/n$	1	$1-2/n$	$1/(n-17)!$
Ir	$1+1/n$	1	$1-1/n$	$1/(n-18)!$

Onde n = número de Fatores de Risco

A definição da regra de solução de coeficientes Fuzzy não é fixa. Vai depender do grau de aderência do modelo à realidade e do número de Fatores de Risco. A regra de solução apresentada na tabela 12 só permite valores de n maiores que 18 e, para n maior que 30, os valores da coluna D (inexistente) vão ser muito próximos a zero. A partir deste ponto, o IRC para cada fator de risco será maior ou menor de acordo com o grau de relevância e do NPR. Desta forma, um FR considerado crucial em uma comunidade que está no melhor cenário (supera-A) terá um IRC maior que outra comunidade que está num pior cenário (insuficiente-C) para o mesmo FR.

A Matriz de Resultados, através do IRC, apresenta individualmente a vulnerabilidade de uma comunidade a um desastre, mostra qual o tipo de desastre a qual ela está mais vulnerável e a vulnerabilidade total a todos os desastres relacionados à região de estudo. Para exemplificar, ao analisar uma região sujeita à inundações, deslizamentos de terra e riscos industriais, as comunidades dentro desta região terão níveis de vulnerabilidade para cada tipo de perigo presente e para todos os perigos em conjunto, indicando aquele com maior potencial de danos à comunidade. Aumentando a abrangência a nível regional, se somarmos as vulnerabilidades de cada comunidade a um tipo de desastre, teremos a vulnerabilidade regional.

CAPÍTULO 5 - HIERARQUIZAÇÃO DE COMUNIDADES COM RISCO DE DESASTRES HIDROLÓGICOS – ESTUDO DE CASO

Este risco foi escolhido porque a cada ano cerca de 195 milhões de pessoas em mais de 90 países, incluindo o Brasil, estão expostas a inundações catastróficas. De todos os desastres naturais, as inundações afetam o maior número de pessoas no mundo e tem o maior potencial de causar danos. Quando ocorrem em países menos desenvolvidos, as inundações podem resultar em milhares de mortes e levar a epidemias, bem como, efetivamente acabando com décadas de investimentos em infraestrutura e abalando seriamente a prosperidade econômica [63].

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais referente ao período de 1990 a 2010, as inundações bruscas (diretamente ligadas a enxurradas) e graduais (diretamente relacionadas às cheias dos rios) corresponderam a 33% do total de desastres naturais mais recorrentes no Brasil ficando atrás apenas de secas e estiagens.



Gráfico 3: Desastres naturais mais recorrentes no Brasil
Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais

Todavia, a quantidade de mortos pelas inundações corresponde a 62% do total de mortos por tipo de desastre, ficando em primeiro lugar no número de óbitos [64].

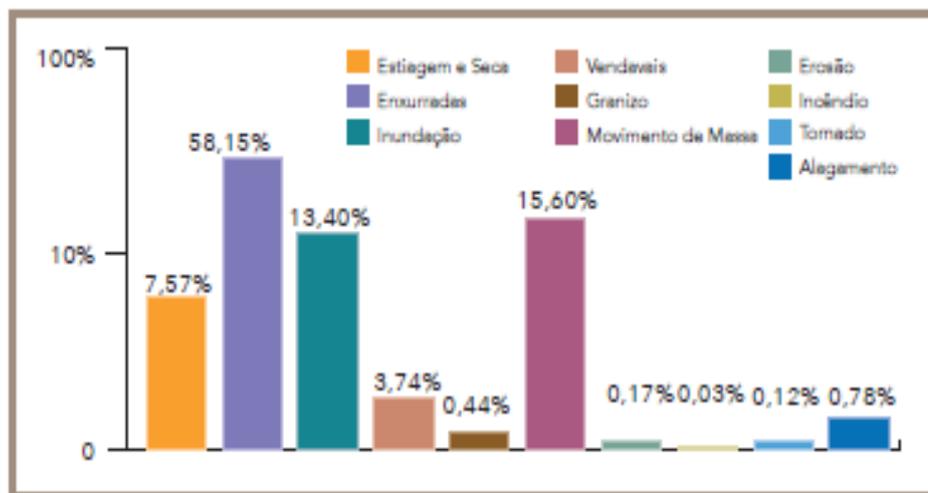


Gráfico 4: Porcentagem de óbitos por tipo de desastre
 Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais

Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), os desastres naturais hidrológicos são divididos em [65]:

- **Inundações** - submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.
- **Enxurradas** - escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.
- **Alagamentos** - extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Ressalta-se que o termo “inundação” é adotado neste estudo de modo genérico, abrangendo não apenas os desastres relacionados ao incremento das precipitações hídricas descritos acima bem como inundações litorâneas provocadas pela brusca invasão do mar (comumente conhecidas como ressacas), transbordamento de dique ou represa e rompimento de barragem.

A identificação e o mapeamento dos locais vulneráveis a inundações tiveram como origem 3 fontes distintas, a saber:

- informações extraídas de estudos sobre inundações já realizados;
- indicação de bacias hidrográficas mais problemáticas; e
- o histórico dos registros de ocorrência de desastres da Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro.

No presente estudo, foram escolhidos os bairros da Praça da Bandeira, Rio das Pedras e Acari na Cidade do Rio de Janeiro, contidas na região hidrográfica da Baía de Guanabara, onde são registradas as maiores ocorrências de inundação e a maior concentração populacional do estado do Rio de Janeiro.

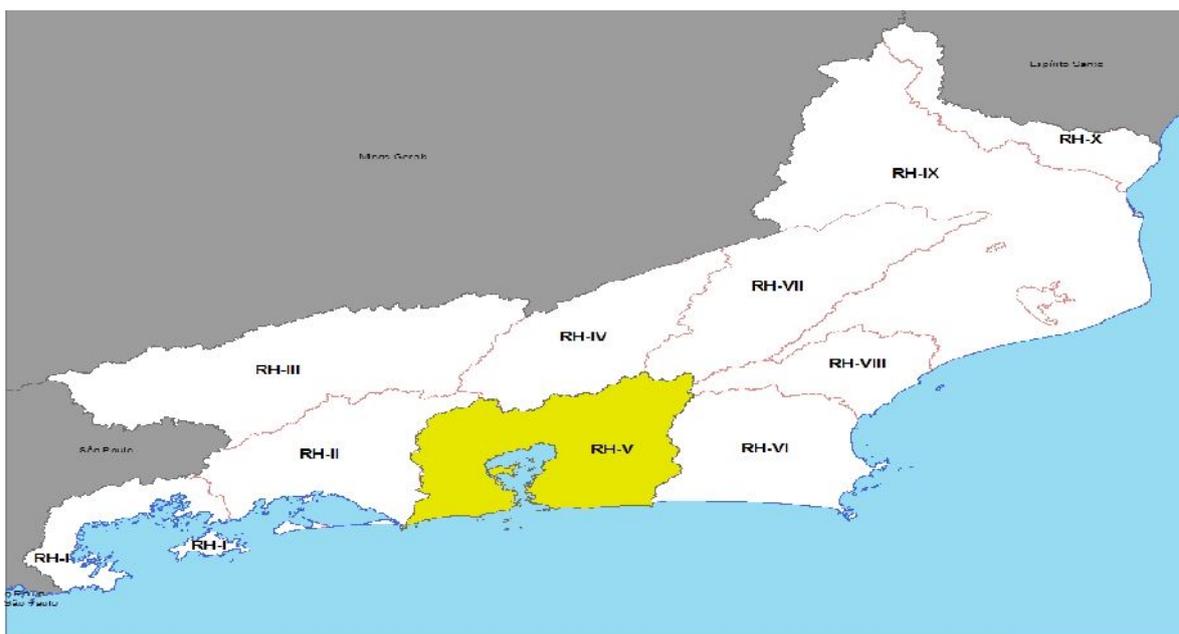


Figura 11: Regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro

Para a definição dos Fatores de Risco, atribuição de relevância e dos níveis de risco, foram consultados especialistas em gerenciamento de risco além dos especialistas de diferentes órgãos como: Subsecretaria de Defesa Civil do Município do Rio de Janeiro, Secretaria de Estado de Defesa Civil, Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de

Janeiro (RIO-ÁGUAS), Centro de Operações Rio e Departamento de Hidrologia da COPPE-UFRJ.

5.1. FATORES DE RISCO GERAIS E ESPECÍFICOS

A tabela 14 a seguir mostra a listagem completa dos Fatores de Risco selecionados pelos especialistas neste estudo:

Tabela 14: Fatores de Risco para inundações

Categoria	Fatores de Risco (FR)	
Vulnerabilidade	FR1	Qual a densidade humana da área em risco?
	FR2	Qual o nível sócio-econômico da população?
	FR3	Qual o tipo de moradia mais comum da área em risco?
	FR4	Qual a percepção do risco da população?
Preparação para Emergências	FR5	Existe um plano de emergência que abranja todos os perigos identificados?
	FR6	Existe um sistema de comunicações para alertar a comunidade?
	FR7	Existe procedimento de evacuação e alocação em instalações definidas?
	FR8	São realizados treinamentos periódicos de ações de resposta, uso de equipamentos, segurança e primeiros socorros para a comunidade e equipes de resgate?
Físico ambiental	FR9	A comunidade está em um vale de rio?
	FR10	A comunidade está localizada em uma bacia hidrográfica íngreme?
	FR11	A comunidade está em uma área costeira?
	FR12	É a comunidade localizada abaixo do nível da água de uma grande reserva de água (lago ou mar) contida por um dique ou uma barragem?
	FR13	A comunidade está em uma área urbana (com grandes superfícies impermeáveis artificiais)?
	FR14	É a região ou a área a montante sujeita a episódios de chuva intensa?
	FR15	A comunidade foi inundada no passado?
Prevenção	FR16	A rede urbana de coleta de águas residuais e da chuva está dimensionada para episódios de chuva pesada?
	FR17	É o leito do rio devidamente mantido(ou seja, livre de materiais que poderiam constituir obstáculos ao fluxo)?
Proteção	FR18	As moradias foram construídas ou reforçadas para suportar o fluxo de água?
	FR19	As redes críticas (electricidade, água, gás, etc.), estão seguras da inundação?
	FR20	Existem reservatórios profundos de água para controle de enchentes?

Foram selecionados 20 Fatores de Risco pelos especialistas, sendo 8 gerais divididos nas categorias Vulnerabilidade (densidade humana, nível sócio-econômico, tipo de moradia e percepção do risco) e Preparação para Emergências (plano de emergência, sistema de comunicações, evacuação e treinamentos). Os 12 Fatores de Risco Específicos para o perigo de inundação foram distribuídos nas categorias Físico-ambiental (localização, chuva intensa e histórico de inundações), Prevenção (rede urbana de coleta de água e manutenção de rios) e Proteção (moradias reforçadas, redes críticas seguras e reservatórios profundos)

5.2. MATRIZ DE DESASTRES

Os graus de relevância dos Fatores de Risco para cada tipo de perigo foram atribuídos pelos especialistas obedecendo a seguinte nomenclatura: 1- crucial, 2- condicionante, 3- pouco condicionante e 4- irrelevante:

Tabela 15: Matriz de desastres hidrológicos

FR	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	f ₁₄	f ₁₅	f ₁₆	f ₁₇	f ₁₈	f ₁₉	f ₂₀
Inundação	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1
Enxurrada	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Alagamento	1	2	2	2	1	3	2	1	4	2	3	1	1	1	2	1	3	4	1	1

Podemos observar na matriz acima, que o grau de relevância do FR pode variar de acordo com o perigo especificado. Apesar dos perigos utilizados neste estudo terem a mesma origem (hidrológicos), existem particularidades que os diferenciam. Tomando como exemplo o FR 18 (as moradias foram construídas ou reforçadas para suportar o fluxo de água?), que é um FR crucial para uma enxurrada, onde o fluxo de água é muito elevado, mas é irrelevante para o caso de um alagamento.

5.3. NÍVEIS DE PROTEÇÃO AO RISCO

Valores e intervalos numéricos, bem como Termos Linguísticos são fornecidos pelos especialistas para indicar a capacidade que a comunidade possui frente aos Fatores de Risco:

Tabela 16: Grandezas e termos linguísticos

FR	Unidade	Supera A	Atende B	Insuficiente C	Inexistente D
FR1	Habitantes/ha	100	100 < x 150	150 < x 250	> 250
FR2	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR3	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR4	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR5	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR6	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR7	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR8	Treinamentos/ano	>2	2	1	0
FR9	Km	>5	5 x < 2	2 x 0,5	<0,5
FR10	Km	>5	5 x < 2	2 x 0,5	<0,5
FR11	Km	>5	5 x < 2	2 x 0,5	<0,5
FR12	Diques ou barragens	0	1	2	>2
FR13	% de impermeabilização	<20	20 x < 60	60 x 80	>80
FR14	chuva intensa/ano	< 2	2 x < 4	4 x <6	6
FR15	Unidade	0	1 x 3	3 < x 5	> 5
FR16	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR17	Manutenção/2 anos	> 2	2	1	0
FR18	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR19	Termos Linguísticos	ótimo	bom	ruim	Péssimo
FR20	Unidade	> 2	2	1	0

Os termos linguísticos foram utilizados nos Fatores de Risco em que não se consegue estabelecer valores ou intervalos numéricos, sendo a forma mais adequada de classificação. A simples resposta SIM ou NÃO, de maneira “crisp”, não atenderia por completo a pergunta se “Existe um plano de emergência que abranja todos os perigos identificados?”

5.4. MATRIZ NPR

Indica o Nível de Proteção ao Risco (NPR) da comunidade para determinado FR em relação a um perigo, ou seja, a capacidade das comunidades em se contrapor aos FR (A- Supera, B- Atende, C-Insuficiente e D- Inexistente). A tabela 17 abaixo indica o NPR das 3 comunidades analisadas para o perigo de inundação:

Tabela 17: Matriz NPR inundação

Comunidades	Praça da Bandeira	Rio das Pedras	Acari
f ₁	B	B	C
f ₂	B	D	D
f ₃	A	C	D
f ₄	B	C	C
f ₅	C	D	D
f ₆	C	D	B
f ₇	B	C	D
f ₈	B	D	D
f ₉	A	B	C
f ₁₀	A	B	C
f ₁₁	A	A	A
f ₁₂	A	A	A
f ₁₃	D	C	C
f ₁₄	C	C	C
f ₁₅	D	D	D
f ₁₆	B	C	C
f ₁₇	A	B	C
f ₁₈	A	D	D
f ₁₉	B	D	D
f ₂₀	A	D	D

Pela matriz acima, percebemos que os NPR para inundação em Acari e Rio das Pedras estão em sua maioria Insuficientes – C ou Inexistentes – D, o que acarretará em baixos valores para seus IRC. Neste estudo, considerou-se as matrizes NPR para enxurrada e alagamento idênticas à matriz NPR inundação.

5.5. MATRIZ DE RESULTADOS

É o resultado da multiplicação da Matriz de Desastres pela Matriz NPR, observando a regra de solução de coeficientes FUZZY para vinte Fatores de Risco (n=20):

Tabela 18: Regra de solução de coeficientes Fuzzy para n=20

	Supera-A	Atende-B	Insuficiente-C	Inexistente-D
1 – Cr	1,20	1	0,80	0
2 – Co	1,15	1	0,85	0,04
3 – PC	1,10	1	0,90	0,17
4 - Ir	1,05	1	0,95	0,50

Cada elemento da Matriz de Resultados representa o somatório dos Índices de Resiliência da Comunidade (IRC) parciais para cada um dos vinte Fatores de Risco, gerando o IRC total. Por exemplo, mostraremos o cálculo do IRC para o perigo de inundação no bairro da Praça da Bandeira:

Tabela 19: IRC para inundação na Praça da Bandeira

FR	Relevância	NPR	IRC
f ₁	1	B	1
f ₂	2	B	1
f ₃	1	A	1,2
f ₄	2	B	1
f ₅	1	C	0,8
f ₆	2	C	0,85
f ₇	1	B	1
f ₈	1	B	1
f ₉	1	A	1,2
f ₁₀	1	A	1,2
f ₁₁	1	A	1,2
f ₁₂	1	A	1,2
f ₁₃	1	D	0
f ₁₄	1	C	0,8
f ₁₅	2	D	0,04
f ₁₆	2	B	1
f ₁₇	1	A	1,2
f ₁₈	2	A	1,15
f ₁₉	1	B	1
f ₂₀	1	A	1,2
Total			19,04

Podemos observar na tabela acima, que cinco Fatores de Risco tiveram IRC parcial menor que 1 e o IRC total foi de 19,04, o que representa o Índice de Resiliência

da Comunidade da Praça da Bandeira para o perigo de inundação, ocupando a posição c_{11} (primeira linha da primeira coluna) da matriz de resultados (tabela 20).

Realizando a mesma operação sucessivamente para todos os elementos, obteremos a Matriz de Resultados a seguir:

Tabela 20: Matriz de Resultados analisados

Comunidades Perigos	Praça da Bandeira	Rio das Pedras	Acari	M
Inundação	19,04	11,46	10,02	40,52
Enxurrada	18,94	11,28	9,88	40,1
Alagamento	18,54	12	10,71	41,25
D	56,52	34,74	30,61	

Podemos observar na matriz acima, os IRC para cada perigo identificado. Quanto menor o IRC, maior é a vulnerabilidade da comunidade ao perigo. A linha D da matriz mostra a vulnerabilidade total de cada comunidade para todos os perigos identificados enquanto a coluna M mostra a vulnerabilidade total das comunidades estudadas a um determinado perigo.

O detalhamento dos cálculos da matriz de resultados analisados é apresentado no apêndice A deste estudo.

5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O cálculo dos IRC mostrou que a comunidade de Acari ficou com a menor avaliação para os três tipos de perigos estudados, indicando que é a comunidade mais vulnerável das três analisadas, seguida bem de perto pela comunidade de Rio das Pedras, a segunda pior avaliação. Este resultado reflete exatamente a classificação pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) desenvolvido pela ONU bem como pelo Índice de Desenvolvimento Social (IDS), baseado no IDH, criado pela Prefeitura do Rio de Janeiro.

Um fato que pode ter contribuído para a baixa avaliação de Acari é a presença ostensiva do crime organizado, o que pode inibir ou prejudicar as ações dos órgãos públicos dentro da comunidade.

Ao visualizarmos a avaliação individual de Acari para o perigo de inundação, podemos identificar quais FR possuem NPR insuficiente (C) e inexistente (D), gerando IRC's parciais menores que 1.

Tabela 21: IRC para inundação em Acari

FR	Relevância	NPR	IRC
f ₁	1	C	0,8
f ₂	2	D	0,04
f ₃	1	D	0
f ₄	2	C	0,85
f ₅	1	D	0
f ₆	2	B	1
f ₇	1	D	0
f ₈	1	D	0
f ₉	1	C	0,8
f ₁₀	1	C	0,8
f ₁₁	1	A	1,2
f ₁₂	1	A	1,2
f ₁₃	1	C	0,8
f ₁₄	1	C	0,8
f ₁₅	2	D	0,04
f ₁₆	2	C	0,85
f ₁₇	1	C	0,8
f ₁₈	2	D	0,04
f ₁₉	1	D	0
f ₂₀	1	D	0
Total			10,02

Podemos observar na tabela 21 acima, 17 FR com valor de IRC parcial menor que 1 (em vermelho) o que denota a vulnerabilidade da Comunidade de Acari que obteve IRC 10,02 representando o elemento c_{13} da matriz de resultado. A tabela 22 a seguir descreve os FR com IRC parcial menor que 1:

Tabela 22: Fatores de Risco com IRC parcial menor que 1

FR	DESCRIÇÃO	IRC _{Parcial}
FR1	Qual a densidade humana da área em risco?	0,8
FR2	Qual o nível sócio-econômico da população?	0,04
FR3	Qual o tipo de moradia mais comum da área em risco?	0
FR4	Qual a percepção do risco da população?	0,85
FR5	Existe um plano de emergência que abranja todos os perigos identificados?	0
FR7	Existe procedimento de evacuação e alocação em instalações definidas?	0
FR8	São realizados treinamentos periódicos de ações de resposta, uso de equipamentos, segurança e primeiros socorros para a comunidade e equipes de resgate?	0
FR9	A comunidade está em um vale de rio?	0,8
FR10	A comunidade está localizada em uma bacia hidrográfica íngreme?	0,8
FR13	A comunidade está em uma área urbana (com grandes superfícies impermeáveis artificiais)?	0,8
FR14	É a região ou a área a montante sujeita a episódios de chuva intensa?	0,8
FR15	A comunidade foi inundada no passado?	0,04
FR16	A rede urbana de coleta de águas residuais e da chuva está dimensionada para episódios de chuva pesada?	0,85
FR17	É o leito do rio devidamente mantido(ou seja, livre de materiais que poderiam constituir obstáculos ao fluxo)?	0,8
FR18	As moradias foram construídas ou reforçadas para suportar o fluxo de água?	0,04
FR19	As redes críticas (electricidade, água, gás, etc.), estão seguras da inundação?	0
FR20	Existem reservatórios profundos de água para controle de enchentes?	0

Pela tabela 22 acima, identificamos todos os FR de inundação da Comunidade de Acari que precisam aumentar o IRC parcial. Para que isto se concretize, o investimento público deverá ser realizado de modo a melhorar o NPR (atingir o nível B- ATENDE) de cada FR e, conseqüentemente, elevar seus respectivos IRC ao valor de 1.

Observamos que os nove FR com IRC parcial 0 ou 0,04 tiveram uma contribuição mais forte na baixa avaliação. Desta maneira, serão feitas duas análises através de simulação do NPR, a primeira vai aumentar para 1 os IRC's parciais com valor 0 e 0,04 e a segunda vai aumentar todos os IRC's abaixo de 1 para 1.

CAPÍTULO 6 - SIMULAÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO AO RISCO

Ao observarmos os Fatores de Risco considerados para avaliação das comunidades, notamos que a capacidade destas em se contrapor a determinados FR, ou seja, o Nível de Proteção ao Risco, pode ser elevado ao nível ATENDE (B), através de ações governamentais em conjunto com a participação da população.

Nesta seção, vamos simular diversos cenários elevando o NPR e analisando o impacto associado no IRC para inundação referente a comunidade de Acari. Primeiramente identificamos quais os FR com baixo IRC parcial (menor que 1) e em seguida selecionamos os NPR que podem ser elevados. No exemplo de Acari, dos dezessete FR com baixo IRC parcial (tabela 21), nove podem ser incrementados por meio de obras de infraestrutura, treinamentos e campanhas de conscientização: FR4, FR5, FR7, FR8, FR16, FR17, FR18, FR19, FR20. Em contrapartida, devida a própria descrição dos Fatores de Risco FR1, FR2, FR3, FR9, FR10, FR13, FR14 e FR15, estes não são possíveis de alteração.

A tabela 23 faz uma correlação entre os FR e as ações a empreender, classificando-as de acordo com a complexidade. A classificação da complexidade é diretamente proporcional ao custo e ao tempo para empreender as ações. Por exemplo, considerou-se que a elaboração de um plano de emergência, por mais completo que seja, é bem menos complexo que a construção de reservatórios profundos de água. Outro exemplo seriam as campanhas de conscientização junto à população sobre os riscos existentes na comunidade, inclusive nas escolas. Outras ações de baixo custo seriam as manutenções preventivas de infraestrutura, o que poderiam reduzir a intensidade dos desastres e evitariam ações emergenciais que geralmente são de custo elevado.

Tabela 23: Ações a empreender em Acari

FR	DESCRIÇÃO	AÇÃO	COMPLEXIDADE
FR4	Qual a percepção do risco da população?	Campanhas de conscientização do risco na comunidade	baixa
FR5	Existe um plano de emergência que abranja todos os perigos identificados?	Elaboração de um plano de emergência	baixa
FR7	Existe procedimento de evacuação e alocação em instalações definidas?	Elaboração de um plano de emergência	baixa
FR8	São realizados treinamentos periódicos de ações de resposta, uso de equipamentos, segurança e primeiros socorros para a comunidade e equipes de resgate?	Realização de treinamentos	baixa
FR16	A rede urbana de coleta de águas residuais e da chuva está dimensionada para episódios de chuva pesada?	Alargamento e desobstrução da rede urbana	média
FR17	É o leito do rio devidamente mantido(ou seja, livre de materiais que poderiam constituir obstáculos ao fluxo)?	Dragagem, limpeza e manutenção do leito do rio	média
FR18	As moradias foram construídas ou reforçadas para suportar o fluxo de água?	Reforço estrutural das moradias	média
FR19	As redes críticas (electricidade, água, gás, etc.), estão seguras da inundação?	reestruturação das redes principais	alta
FR20	Existem reservatórios profundos de água para controle de enchentes?	construção de reservatórios	alta

As ações a serem empreendidas pelos governantes vão depender da quantidade de recursos financeiros e tempo disponível, assim podemos visualizar a variação do NPR da comunidade ao simular cenários de curto prazo (onde seriam empreendidas somente ações de baixa complexidade), médio prazo (ações de baixa e média complexidade) e de longo prazo (empreendidas todas as ações).

6.1. SIMULAÇÃO DE CURTO PRAZO

Neste cenário, somente as ações de baixo custo e tempo relativamente curto seriam empreendidas. Os FR4, FR5, FR7 e FR8 teriam seus NPR elevados para B (atende) através de campanhas de conscientização do risco junto à comunidade, da elaboração de um bom plano de emergência e a realização de dois treinamentos anuais para a comunidade e equipes de resgate. A partir da tabela 21, foi elaborada a tabela 24 a seguir com os novos valores de IRC parcial obtidos pela simulação do NPR:

Tabela 24: Simulação curto prazo

FR	Relevância	NPR	IRC	NPR _{NOVO}	IRC _{NOVO}
FR4	Condicionante	C	0,85	B	1
FR5	Crucial	D	0	B	1
FR7	Crucial	D	0	B	1
FR8	Crucial	D	0	B	1
TOTAL			0,85	TOTAL _{NOVO}	4

Na tabela acima, percebemos que com a elevação do NPR aos FR de baixa complexidade, o incremento no IRC total foi de 3,15. Assim, o IRC total de Acari que era de 10,02 (tabela 21) passou a ser 13,17, gerando a nova matriz de resultado abaixo:

Tabela 25: Matriz resultado curto prazo

Comunidades Desastres	Praça da Bandeira	Rio das Pedras	Acari	M
Inundação	19,04	11,46	13,17	43,67
Enxurrada	18,94	11,28	13,03	43,25
Alagamento	18,54	12	13,82	44,36
D	56,52	34,74	40,02	

Notamos que a comunidade de Acari melhorou sua posição em relação a comunidade de Rio das Pedras, sendo esta agora, o principal alvo de investimentos. Observa-se como pequenas ações podem fazer grande diferença e salvar vidas.

6.2. SIMULAÇÃO DE MÉDIO PRAZO

Neste cenário, além de todas as ações de curto prazo, seriam implementadas ações que demandariam mais tempo e maiores investimentos do governo, sendo caracterizadas de média complexidade como: reparo e manutenção da rede urbana e dos leitos dos rios além de reforço estrutural em moradias. A tabela 26 a seguir mostra o impacto dessas ações no IRC total:

Tabela 26: Simulação médio prazo

FR	Relevância	NPR	IRC	NPR _{novo}	IRC _{novo}
FR4	Condicionante	C	0,85	B	1
FR5	Crucial	D	0	B	1
FR7	Crucial	D	0	B	1
FR8	Crucial	D	0	B	1
FR16	Condicionante	C	0,85	B	1
FR17	Crucial	C	0,8	B	1
FR18	Condicionante	D	0,04	B	1
		TOTAL	2,54	TOTAL _{novo}	7

Notamos que a adoção de medidas de média complexidade gera um incremento no IRC total de 4,46. Por outro lado, se compararmos com o IRC de curto prazo, o incremento é de 1,31. Neste caso, o IRC total de Acari vai passar de 10,02 para 14,48 e a nova matriz de resultados de médio prazo é a seguinte:

Tabela 27: Matriz resultado médio prazo

Comunidades Desastres	Praça da Bandeira	Rio das Pedras	Acari	M
Inundação	19,04	11,46	14,48	44,98
Enxurrada	18,94	11,28	14,38	44,6
Alagamento	18,54	12	14,62	45,16
D	56,52	34,74	43,48	

O aumento no IRC de Acari não foi suficiente para melhorar sua posição relativa, continuando a ser a segunda melhor avaliada.

6.3. SIMULAÇÃO DE LONGO PRAZO

Neste cenário, as ações de alta, média e baixa complexidade seriam implementadas. Obras complexas como o reforço estrutural de moradias, reestruturação das redes de água, gás e eletricidade além da construção de dois reservatórios profundos de água seriam realizadas. O impacto no IRC total é visualizado na tabela 26 abaixo:

Tabela 28: Simulação longo prazo

FR	Relevância	NPR	IRC	NPR _{novo}	IRC _{novo}
FR4	Condicionante	C	0,85	B	1
FR5	Crucial	D	0	B	1
FR7	Crucial	D	0	B	1
FR8	Crucial	D	0	B	1
FR16	Condicionante	C	0,85	B	1
FR17	Crucial	C	0,8	B	1
FR18	Condicionante	D	0,04	B	1
FR19	Crucial	D	0	B	1
FR20	Crucial	D	0	B	1
TOTAL			2,54	TOTAL _{novo}	9

Neste caso, o incremento no IRC total foi de 6,46. Comparando com o IRC de médio prazo, o incremento foi de 2. Com as ações de longo prazo concluídas, o IRC total obteve o valor de 16,48, que seria o valor a ser atingido para atender a capacidade da Comunidade de Acari em se contrapor ao risco de inundação.

Apesar da manutenção relativa no ranking, a comunidade de Acari se tornou mais resiliente com as ações de longo prazo, como mostrado na matriz de simulação a seguir:

Tabela 29: Matriz resultado longo prazo

Comunidades	Praça da Bandeira	Rio das Pedras	Acari	M
Desastres				
Inundação	19,04	11,46	16,33	46,83
Enxurrada	18,94	11,28	16,28	46,5
Alagamento	18,54	12	16,42	46,96
D	56,52	34,74	49,03	

Percebe-se que com a implementação de todas as medidas para se contrapor aos Fatores de Risco, a comunidade de Acari melhoraria consideravelmente sua avaliação,

aproximando-se do bairro da Praça da Bandeira que continuaria sendo a melhor avaliada.

O gráfico 5 a seguir mostra a evolução do resultado obtido pelo MFRC para o IRC de Acari. A partir do resultado, foram feitas simulações de baixa, média e alta complexidade:

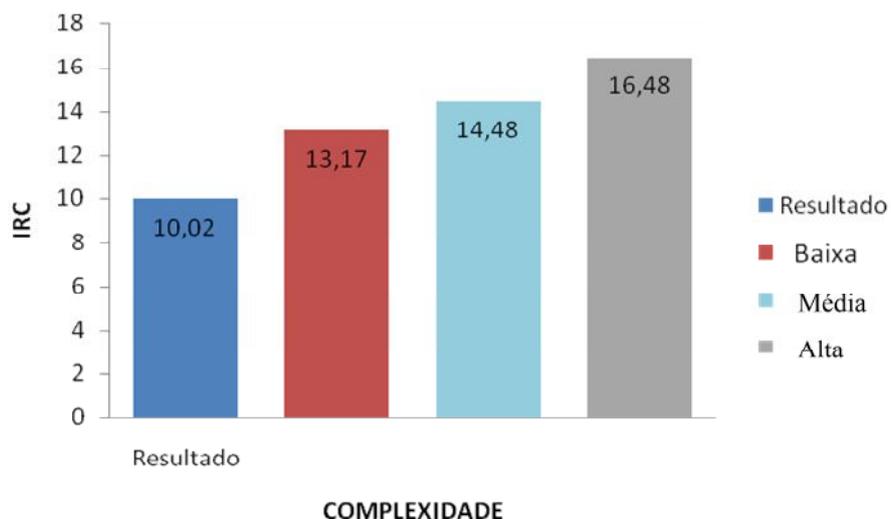


Gráfico 5: simulação do IRC de Acari

Neste exemplo específico de Acari, percebemos que a maior variação relativa do IRC deu-se por intermédio das ações de baixa complexidade que se caracterizam pelo baixo custo e curto prazo de implementação. Este aspecto é importante, pois dependendo da situação, não compensaria investir tantos recursos em ações de média e alta complexidade em uma comunidade onde o ganho em resiliência seria pequeno.

6.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Por se tratar de um estudo de caso, sua aplicação foi restrita aos bairros da Praça da Bandeira, Rio das Pedras e Acari no Município do Rio de Janeiro, portanto, a modelagem do problema não pode ser generalizada para todas as regiões, devido as características físico-ambientais diversas, onde outros Fatores de Risco poderiam ser incluídos ou descartados.

O estudo de caso foi limitado a vinte Fatores de Risco inerentes ao perigo de inundação, mas pode ser utilizado para qualquer tipo de perigo e para todos os Fatores de Risco presentes na área de analisada. Como a avaliação de risco de desastres é um processo dinâmico, algumas informações podem estar desatualizadas com a situação vigente.

CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tendência mundial de aumento do risco de desastres pode ser explicado pela conjunção de inúmeros fatores como alteração climática, urbanização desordenada das cidades, plantas industriais obsoletas ou fora dos padrões de segurança dentre outros que aumentam o grau de exposição e a vulnerabilidade da população. Como ilustração, o estudo realizado por Boshier e Dainty [66] mostra que a estimativa do número de pessoas que vivem em risco de enchentes devastadoras no mundo passará de um bilhão, contabilizado em 2004, para dois bilhões em 2050.

Diante deste quadro, foi estabelecido o Marco de Ação de Sendai [67] para a redução do risco de desastres no período 2015-2030, compreendendo quatro prioridades de ação:

- Prioridade 1: compreensão do risco de desastres.
- Prioridade 2: fortalecimento da governança e gerenciamento do risco de desastres.
- Prioridade 3: investir na redução do risco de desastres para a resiliência
- Prioridade 4: melhorar a preparação para desastres para uma resposta eficaz na reconstrução, recuperação e reabilitação.

A compreensão do risco de desastres passa pelo aumento da percepção do risco por todas as partes interessadas como destacado no referido documento: “ampliar o conhecimento de funcionários do governo de todos os níveis, sociedade civil, comunidades e voluntários, bem como do setor privado, por meio do compartilhamento de experiências, lições aprendidas, boas práticas, formação e educação sobre a redução de risco de desastres”. Neste sentido, a campanha da UNISDR em parceria com a Secretaria Nacional de Defesa Civil - Rio de Janeiro em busca da resiliência frente

chuvas fortes – é um ótimo exemplo para o incremento da conscientização das comunidades [68]. Dentre as principais medidas implementadas destacam-se:

- Operação de um novo radar meteorológico
- Fortalecimento da Defesa Civil Municipal e demais órgãos do Sistema de Defesa Civil
- Inauguração do Centro de Operações Rio
- Mapeamento das áreas de risco
- Instalação do sistema de alerta e alarme comunitário
- Criação dos Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDEC's)
- Projetos educativos de cidadania e proteção comunitária nas escolas
- Delimitação legal e física das áreas de risco
- Ações contínuas de conservação e limpeza
- Reassentamento de moradores das áreas de alto risco
- Realização de reflorestamento
- Obras de infraestrutura e estabilização de encostas
- Elaboração de um plano de emergências com atribuições e responsabilidades
- Simulação de desocupação emergencial das comunidades

Como podemos observar, as formas de intervenção para redução de riscos e aumento da resiliência incluem soluções estruturais e não estruturais que envolvem esforços intersetoriais e, portanto, nos levam a mapear os atores envolvidos no problema.

CAPÍTULO 8 - CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Há algum tempo os órgãos internacionais de prevenção e redução de riscos abandonaram a meta do risco zero, ou seja, devido ao atual quadro de urbanização e ocupação, a única certeza é quando e onde o próximo desastre ocorrerá. Neste panorama, a meta a ser atingida é o aumento da resiliência.

Este estudo apresentou a proposta de uma nova metodologia utilizando o Modelo de Hierarquia Fuzzy COPPE-COSENZA, o Modelo Fuzzy de Risco em Comunidades (MFRC) que permite hierarquizar de forma mais realista e coerente as comunidades expostas a riscos, utilizando variáveis qualitativas e quantitativas para se obter o Índice de Resiliência da Comunidade (IRC). Este índice vai permitir aos gestores públicos a identificação das comunidades mais necessitadas em investimentos. Simulações de cenários foram realizadas e analisadas quanto ao impacto no IRC, contribuindo para o correto dimensionamento das ações e de recursos para mitigar o risco de inundação.

Com relação ao estudo de caso, a metodologia mostrou-se aderente à realidade, pois identificou a comunidade mais vulnerável ao risco de inundação de acordo com a opinião de especialistas e o cruzamento de dados geofísicos e de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

Os resultados obtidos com a utilização da MFRC irão depender dos seguintes inputs: dos fatores de risco considerados na estruturação do modelo, da importância atribuída a esses fatores e da situação das comunidades frente os fatores de risco. Para garantir a confiabilidade dos resultados, a opinião dos especialistas é indispensável, pois são os responsáveis pelos inputs do modelo.

A metodologia pode ser utilizada para diversos tipos de perigo ao mesmo tempo ou apenas para um perigo de cada vez, dependendo da conveniência do usuário quanto ao arranjo dos Fatores de Risco.

Como recomendação de trabalhos futuros, a estruturação do modelo torna desejável a elaboração de um software em que basta os inputs serem fornecidos para que se extraia o resultado. O software facilitaria em muito a aplicação do MFRC como permitiria simular diversas situações em que as condições ambientais e estruturais de uma comunidade poderiam ser alteradas, o que seria de interesse para a tomada de decisão dos gestores públicos quanto a alocação de investimentos e definição de políticas habitacionais. O software disponibilizaria ainda, uma simulação visual a fim de enfatizar os efeitos de um possível desastre.

Quando os recursos disponíveis são insuficientes para combater integralmente os Fatores de Risco de uma comunidade, o conhecimento dos índices de resiliência poderia auxiliar na otimização dos recursos a serem investidos, o qual seria feito de forma a maximizar o IRC total, tendo como restrição o limite disponível no orçamento. Assim, para cada IRC referente a um FR (basicamente os contidos nas categorias de Preparação para Emergências; Prevenção e Proteção), teria que ter uma relação conhecida com seus custos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Silva, D. S, (1998) Os Desastres não são Fatalidades Incontornáveis, Considerações sobre Planeamento e Gestão de Crises em Vales a jusante de Barragens. Em: Santos, M. A.; Silva, D. S. (Orgs.) *Risco e Gestão de Crises em Vales a Jusante de Barragens*. LNEC/IST, Lisboa, Portugal.
- [2] Nações Unidas. 2009. *Terminologia sobre reducción del riesgo de desastres*. UNISDR, Ginebra, Suiza: 38 p.
- [3] Almeida, L. (2009) Desastres Naturais: no Brasil não há gestão de risco. *Jornal da Ciência*, SBPC. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br>. Acessado em 12/10/2014.
- [4] Cardona , O.D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. *In: Bankoff , G.; Frerks, G.; Hilhorst, D. (Eds.). Mapping vulnerability:disasters, development, and people*. London: Earthscan Publications, 2004. p. 37-51.
- [5] Brauch , H.G. Treats, challenges, vulnerabilities and risks in environmental and human security. Bonn: SOURCE (Studies of the University: research, counsel, education)/UNU-EHS, n. 1, 2005.
- [6] Soriano, E. Os desastres naturais, a cultura de segurança e a gestão de desastres no Brasil. V Seminário Internacional de Defesa Civil - DEFENCIL São Paulo – 18, 19 e 20 de Novembro de 2009.
- [7] O'KEEFE, P.; WESTGATE K.; WISNER, B. Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature*, v. 260, p. 566–567, 1976.
- [8] Cardona O. D. et al. System of indicators for disaster risk management: main technical report. Manizales – Washington: Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia / Inter-American Development Bank, 2005.

- [9] UNDP. *Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report*. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP, 2004.
- [10] Cutter, S. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 2011.
- [11] França RF. *As inter-relações entre a Defesa Civil e a Saúde Pública [Monografia]*. Rio de Janeiro (RJ): Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca; 2005.
- [12] United Nations Conference on Sustainable Development (UNCSD). *Disaster-Resilient Societies – Facts and figures*. 2012 [acessado 2012 jan 12]. [cerca de 2 p.]. Disponível em: <http://www.un.org/en/sustainablefuture/disasters.shtml>
- [13] International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Risk and poverty in a changing climate Invest today for a safer tomorrow*. Geneva: United Nations; 2009.
- [14] United Nations Conference on Sustainable Development (UNCSD). *Disaster Risk Reduction and Resilience Building*. [documento da internet]. 2012 [acessado 2012 jan 12], [4 p.]. Disponível em: <http://www.uncsd2012.org/rio20/index.php?page=view>.
- [15] Organización Panamericana de la Salud (OPAS/OMS). *El terremoto y tsunami del 27 de febrero en Chile. Crónica y lecciones aprendidas en el sector salud*. Santiago de Chile: OPS; 2010.
- [16] Pan American Health Organization (PAHO). *Health response to the earthquake in Haiti January 2010: Lessons to be learned for the next massive suddenonset disaster*. Washington DC: PAHO; 2011.
- [17] Marcelino EV, Nunes LH, Kobiyama M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. *Caminhos da Geografia*. 2006; 6(19): 130-149 acesso em 27 ago. 2015. Disponível em <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>.

[18] Monteiro, J. B. & Pinheiro, D. R. C., O desastre natural como fenômeno induzido pela sociedade: abordagens teóricas e metodologias operacionais para identificação/mitigação de desastres naturais; Revista de Geografia – UFRJ- PP GEO - v. 2, nº 1 (2012). Disponível em www.ufjf.br/revistageografia.

[19] World Bank (WB), United Nations (UN). Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention. Washington DC: WB/UN; 2010.

[20] Lozano MA & Estremera M^aTP. 2000. Los efectos de los desastres naturales en América Latina: 1990-2000. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 20: 219-233

[21] EIRD ONU. Estratégia Internacional para a Redução de Desastres das Nações Unidas. *Marco de Ação de Hyogo 2005-2015: Aumento da resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres*. Versão resumida. Genebra, Suíça, 2007. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/cidadesresilientes/pdf/mah_ptb_brochura.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2013.

[22] Galleno M. Políticas públicas e o meio ambiente: a questão dos desastres ambientais e seus efeitos na sociedade de risco do Brasil. Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM. UNLP. La Plata Argentina. 2012.

[23] IPCC WGII. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability - AR5 Summary for Policymakers*. WGII AR5 Phase I, Report Launch 1, 31 March 2014. Disponível em: <http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved.pdf>. Acesso em: 5 abr.2014.

[24] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special report of the intergovernmental panel on climate change*. IPCC: 2012. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf>. Acesso em: 12 jul.2013.

[25] EIRD ONU. Estratégia Internacional para a Redução de Desastres das Nações Unidas. *Marco de Ação de Hyogo 2005-2015: Aumento da resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres*. Versão resumida. Genebra, Suíça, 2007. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/cidadesresilientes/pdf/mah_ptb_brochura.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2013.

[26] UNISDR. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. UN world conference on disaster risk reduction, 2015. March 14–18, Sendai, Japan. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction; 2015. Disponível em: <http://www.wcdrr.org/uploads/Sendai_Framework_for_Disaster_Risk_Reduction_2015-2030.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2015.

[27] Freitas CM et al. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência – lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(6):1577-1586, 2012.

[28] UNISDR (2013) *From Shared Risk to Shared Value –The Business Case for Disaster Risk Reduction*. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR).

[29] World Bank. 2013. *World Development Report 2014: Risk and Opportunity—Managing Risk for Development*. Washington, DC: World Bank. doi: 10.1596/978-0-8213-9903-3. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0.

[30] Borgo R., Silva D., Redução de riscos de desastres. As conferências regionais da UNISDR em 2014 e as perspectivas de cooperação internacional em ciências e tecnologias. *NUPEAT–IESA–UFG*, v.4, n.1, Jan./Jun., 2014, p. 83-96, Artigo 55.

[31] Consideraciones de los representantes de los sectores académicos, técnicos y científicos que participaron en la Cuarta Sesión de la Plataforma Regional para la Reducción de Riesgos de Desastres en las Américas. (Guayaquil, Ecuador – 27-29 Mayo 2014).

[32] WEST, D. M.; ORR, M. Race, Gender, and Communications in Natural Disasters. *The Policy Studies Journal*, v. 35, n. 4, p. 569-586, 2007.

[33] Brito Junior, I., De Rosis, C.H., Carneiro, P., et al. Proposta de um programa de treinamento de desastres naturais considerando o perfil das vítimas. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo v. XVII, n. 4, p. 153-176, out.-dez. 2014.

[34] Rodríguez, Havidán. *¿Por qué los Desastres no son “Naturales?”: Un Análisis sobre los Aspectos Sociales de los Desastres.* Presented at the Conference “Cuándo la Tierra Tiembla”. University of Puerto Rico-Arecibo, May 2, 2000. Disponível em: <<http://www.prsn.uprm.edu/Spanish/tsunami/investigacion/modulo-tierra- iemblasocial.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2013.

[35] Shaw, Rajib; Ishiwatari, Mikio; Arnold, Margaret. *Nonstructural Measures Communitybased Disaster Risk Management - Knowledge note 2-1 cluster 2*. Kyoto University, World Bank, 2012. Disponível em: <http://wbi.worldbank.org/wbi/Data/wbi/wbicms/files/drupalacquaia/wbi/drm_kn2-1.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2014.

[36] Frandalozo, J. A redução de vulnerabilidades como estratégia no enfrentamento de desastres. Hacia una transición en las prácticas comunicativas ante la irreversibilidad del cambio climático, el previsible fin del petróleo fácil y la escasez de recursos Número 91 Septiembre – noviembre 2015. www.razonypalabra.org.mx.

[37] Dilley, M.R.S.; Chen, B.; Deichmann, U.; Lerner-Lam, A.; Arnold, M. *Natural disaster hotspots: a global risk analysis*. Washington: World Bank Publications, 2005.

[38] Valencio, N; Siena, M; Marchezini, V.(2009) Maquetes Interativas: fundamentos teóricos, metodológicos e experiências de aplicação. Em: Valencio, N.; Siena, M; Marchezini, V; Gonçalves, J. C.(Orgs) *Sociologia dos Desastres: construção, interfaces e perspectivas no Brasil*.(PP. 199-215) São Carlos: Rima editora.

[39] Nações Unidas. 2011. *GAR 2011: EIRD/ONU Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres*. Ginebra, Suiza: Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas. Oxford, Reino Unido: Information Press: 168 p.

[40] BRASIL. Governo Federal do Brasil (National Plan Risk Management and Disaster Response Federal Government of Brazil). Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, 2012a. Disponível em:<<http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/d0d2a5b6f24df2fea75e7f5401c70e0d.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

[41] THOMAS, A.S.; KOPCZAK, L.R. From logistics to supply chain management: The path forward in the humanitarian sector. San Francisco: Fritz Institute, 2005. Disponível em: <<http://www.fritzinstitute.org/PDFs/WhitePaper/Fromlogisticsto.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2011.

[42] Braga, T. M., Oliveira, E. L., Givisiez, G. N.; Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 1, p. 81-95, jan./mar. 2006.

[43] Cardona, O. D.; et al, 2012: Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108. Disponível em:www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srex. Acesso em:6 jun. 2015.

[44] Cosenza, C., & Toledo, O., *Um caso de aplicação da Lógica Fuzzy – o Modelo Coppe-Cosenza de Hierarquia Fuzzy*. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 2003.

[45] VERGARA, S.C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. São Paulo: Atlas,2000. Métodos de pesquisa em administração, v.3, 2009.

[46] GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, v.5, p.61, 2002.

[47] Klir, J., & Yuan, B., *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall, New Jersey, 1995.

- [48] Cosenza, C., *Localização Industrial: delineamento de uma metodologia para a hierarquização das potencialidades regionais*, Universidade Federal do Rio de Janeiro.1998.
- [49] Zadeh, L., *Fuzzy Sets - Information and Control*, pp. 338-352, 1965.
- [50] BANKS, J. e CARSON, J.S., 1984, *Discrete-Event System Simulation*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs N.J.
- [51] DE OLIVEIRA, M.J.F.,1994, “A patient-oriented modeling of emergency admission system of a Brazilian hospital”, *EURO XIII*, Glasgow, July, pp.19-22.
- [52] TAVARES, L.V. et al, 1996, *Investigação Operacional*, Portugal, MacGraw-Hill.
- [53] GONÇALVES, A.A., 2004, *Gestão da Capacidade de Atendimento em Hospitais de Câncer*, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- [54] Braga, T. M., Oliveira, E. L., Givisiez, G. N.; Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 1, p. 102-110, jan./mar. 2006.
- [55] CIESIN. Gridded Population of the World (GPW). Version 3 (beta). Palisades, NY: CIESIN, Columbia University, 2004. Acesso em: beta.sedac.ciesin.columbia.edu.
- [56] Adger , N.; Brooks, N.; BENTHAM, G.; AGNEW, M.; ERIKSEN, S. *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research Technical Report, n. 7, 2004.
- [57] Cutter, Susan; Boruff, Bryan; Shirley, Lynn (2003),“Social Vulnerability to Environmental Hazards”, *Social Science Quarterly*, 84(1), 242-261 Consultado em http://webra.cas.sc.edu/hvri/pubs/2003_SocialVulnerabilitytoEnvironmentalHazards.pdf
- [58] United Nations Environment Programme (UNEP). APELL Multi-Hazard Training Kit for Local authorities. APELL manual. 2010. <http://www.unep.fr/shared>.

[59] United Nations Environment Programme (UNEP). Assessing the vulnerability of local communities to disasters: an interactive guide and methodology – Community Risk Profile Tool. CRP manual. 2010. <http://www.unep.fr/shared/publications>.

[60] Relatório de vulnerabilidade dos setores de risco – município de navegantes. CEPED-UFSC. 2014.

[61] Relatório técnico Vulnerabilidade a eventos críticos, volume 1, Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente, Fundação COPPETEC, Rio de Janeiro. 2013.

[62] Trajber, R., Olivato, D., Marchezine, V., Conceitos e termos para a gestão de riscos de desastres na educação. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. 2016.

[63] United Nations Environment Programme (UNEP). APELL Multi-Hazard Training Kit for Local authorities. APELL manual. 2010. <http://www.unep.fr/shared>.

[64] Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012. Universidade Federal de Santa Catarina -Centro Universitário de Pesquisas em desastres - CEPED, Florianópolis, Santa Catarina. 2013. Disponível em <http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/>.

[65] Classificação e Codificação Brasileira de Desastres. BRASIL. Ministério da Integração.

[66] Boshier L, Dainty A. Disaster risk reduction and ‘built-in’ resilience: towards overreaching principles for construction practices. *Disaster* 2011; 35(1):1-18.

[67] UNISDR. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. UN world conference on disaster risk reduction, 2015. March 14–18, Sendai, Japan. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction; 2015. Disponível em: <http://www.wcdrr.org/uploads/Sendai_Framework_for_Disaster_Risk_Reduction_2015-2030.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2015.

[68] Secretaria Nacional de Defesa Civil. Rio de Janeiro em busca da resiliência frente chuvas fortes. 2013. Disponível em www.rio.gov.br/riodejaneiroresiliente_2013.

9. APÊNDICES

9.1. Cálculos da matriz de resultados

Dada a matriz de desastres hidrológicos abaixo:

FR	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	f ₁₄	f ₁₅	f ₁₆	f ₁₇	f ₁₈	f ₁₉	f ₂₀
Inundação	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1
Enxurrada	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Alagamento	1	2	2	2	1	3	2	1	4	2	3	1	1	1	2	1	3	4	1	1

E considerando-se a matriz NPR comum para os perigos de inundação, enxurrada e alagamento conforme a seguir:

Comunidades	Praça da Bandeira	Rio das Pedras	Acari
FR			
f ₁	B	B	C
f ₂	B	D	D
f ₃	A	C	D
f ₄	B	C	C
f ₅	C	D	D
f ₆	C	D	B
f ₇	B	C	D
f ₈	B	D	D
f ₉	A	B	C
f ₁₀	A	B	C
f ₁₁	A	A	A
f ₁₂	A	A	A
f ₁₃	D	C	C
f ₁₄	C	C	C
f ₁₅	D	D	D
f ₁₆	B	C	C
f ₁₇	A	B	C
f ₁₈	A	D	D
f ₁₉	B	D	D
f ₂₀	A	D	D

O IRC será calculado pela multiplicação associativa entre a matriz de desastres e a matriz NPR obedecendo a regra de solução de coeficientes Fuzzy para n=20 a seguir:

	Supera-A	Atende-B	Insuficiente-C	Inexistente-D
1 – Cr	1,20	1	0,80	0
2 – Co	1,15	1	0,85	0,04
3 – PC	1,10	1	0,90	0,17
4 - Ir	1,05	1	0,95	0,50

9.2. Cálculo IRC Praça da Bandeira

FR	Inundação			Enxurrada			Alagamento		
	Rel	NPR	IRC	Rel	NPR	IRC	Rel	NPR	IRC
f ₁	1	B	1	1	B	1	1	B	1
f ₂	2	B	1	2	B	1	2	B	1
f ₃	1	A	1,2	1	A	1,2	2	A	1,15
f ₄	2	B	1	2	B	1	2	B	1
f ₅	1	C	0,8	1	C	0,8	1	C	0,8
f ₆	2	C	0,85	1	C	0,8	3	C	0,9
f ₇	1	B	1	1	B	1	2	B	1
f ₈	1	B	1	1	B	1	1	B	1
f ₉	1	A	1,2	1	A	1,2	4	A	1,05
f ₁₀	1	A	1,2	1	A	1,2	2	A	1,15
f ₁₁	1	A	1,2	3	A	1,1	3	A	1,1
f ₁₂	1	A	1,2	1	A	1,2	1	A	1,2
f ₁₃	1	D	0	1	D	0	1	D	0
f ₁₄	1	C	0,8	1	C	0,8	1	C	0,8
f ₁₅	2	D	0,04	2	D	0,04	2	D	0,04
f ₁₆	2	B	1	2	B	1	1	B	1
f ₁₇	1	A	1,2	1	A	1,2	3	A	1,1
f ₁₈	2	A	1,15	1	A	1,2	4	A	1,05
f ₁₉	1	B	1	1	B	1	1	B	1
f ₂₀	1	A	1,2	1	A	1,2	1	A	1,2
	Total		19,04	Total		18,94	Total		18,54

9.3. Cálculo IRC Rio das Pedras

FR	Inundação			Enxurrada			Alagamento		
	Rel	NPR	IRC	Rel	NPR	IRC	Rel	NPR	IRC
f ₁	1	B	1	1	B	1	1	B	1
f ₂	2	B	0,04	2	B	0,04	2	B	0,04
f ₃	1	A	0,8	1	A	0,8	2	A	0,85
f ₄	2	B	0,85	2	B	0,85	2	B	0,85
f ₅	1	C	0	1	C	0	1	C	0
f ₆	2	C	0,04	1	C	0	3	C	0,17
f ₇	1	B	0,8	1	B	0,8	2	B	0,85
f ₈	1	B	0	1	B	0	1	B	0
f ₉	1	A	1	1	A	1	4	A	1
f ₁₀	1	A	1	1	A	1	2	A	1
f ₁₁	1	A	1,2	3	A	1,1	3	A	1,1
f ₁₂	1	A	1,2	1	A	1,2	1	A	1,2
f ₁₃	1	D	0,8	1	D	0,8	1	D	0,8
f ₁₄	1	C	0,8	1	C	0,8	1	C	0,8
f ₁₅	2	D	0,04	2	D	0,04	2	D	0,04
f ₁₆	2	B	0,85	2	B	0,85	1	B	0,8
f ₁₇	1	A	1	1	A	1	3	A	1
f ₁₈	2	A	0,04	1	A	0	4	A	0,5
f ₁₉	1	B	0	1	B	0	1	B	0
f ₂₀	1	A	0	1	A	0	1	A	0
	Total		11,46	Total		11,28	Total		12

9.4. Cálculo IRC Acari

FR	Inundação			Enxurrada			Alagamento		
	Rel	NPR	IRC	Rel	NPR	IRC	Rel	NPR	IRC
f ₁	1	B	0,8	1	B	0,8	1	B	0,8
f ₂	2	B	0,04	2	B	0,04	2	B	0,04
f ₃	1	A	0	1	A	0	2	A	0,04
f ₄	2	B	0,85	2	B	0,85	2	B	0,85
f ₅	1	C	0	1	C	0	1	C	0
f ₆	2	C	1	1	C	1	3	C	1
f ₇	1	B	0	1	B	0	2	B	0,04
f ₈	1	B	0	1	B	0	1	B	0
f ₉	1	A	0,8	1	A	0,8	4	A	0,95
f ₁₀	1	A	0,8	1	A	0,8	2	A	0,85
f ₁₁	1	A	1,2	3	A	1,1	3	A	1,1
f ₁₂	1	A	1,2	1	A	1,2	1	A	1,2
f ₁₃	1	D	0,8	1	D	0,8	1	D	0,8
f ₁₄	1	C	0,8	1	C	0,8	1	C	0,8
f ₁₅	2	D	0,04	2	D	0,04	2	D	0,04
f ₁₆	2	B	0,85	2	B	0,85	1	B	0,8
f ₁₇	1	A	0,8	1	A	0,8	3	A	0,9
f ₁₈	2	A	0,04	1	A	0	4	A	0,5
f ₁₉	1	B	0	1	B	0	1	B	0
f ₂₀	1	A	0	1	A	0	1	A	0
	Total		10,02	Total		9,88	Total		10,71

Calculados todos os IRC, podemos construir a matriz de resultados que é mostrada abaixo:

Comunidades Perigos	Praça da Bandeira	Rio das Pedras	Acari	M
Inundação	19,04	11,46	10,02	40,52
Enxurrada	18,94	11,28	9,88	40,1
Alagamento	18,54	12	10,71	41,25
D	56,52	34,74	30,61	