

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ZONENSEIN, JULIANA

Índice de Risco de Cheia como
Ferramenta de Gestão de Enchentes. [Rio
de Janeiro] 2007

X, 105 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M.Sc., Engenharia Civil, 2007)

Dissertação - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, COPPE

1. Risco de Cheia, 2. Índice, 3. Multi-
critério, 4. Sistemas de Informação
Geográfica

I. COPPE/UFRJ II. Título (série).

AGRADECIMENTOS

Os (pouco mais de) dois anos dedicados ao curso de mestrado, que culmina com a entrega deste trabalho, não foram os mais usuais. Apesar da minha dedicação e esforço, estou certa de que não teria chegado ao êxito de sua conclusão, não fosse o apoio de algumas pessoas, as quais devo minha gratidão.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador Flávio Mascarenhas por haver me concedido a oportunidade de realizar este trabalho, sob sua supervisão, podendo constantemente contar com seu auxílio.

Também devo agradecer ao meu orientador Marcelo Miguez, que acompanhou de perto cada etapa do desenvolvimento deste estudo, incentivando-me ao celebrar seus resultados. Apesar de todos os seus compromissos, ele sempre se mostrou muito solícito e pode encontrar o tempo necessário para me atender, oferecendo-me valiosa contribuição. Sua tranquilidade e confiança em meu trabalho foram fundamentais. Muito obrigada.

Ao professor Paulo Canedo, que conquistou minha admiração por sua paixão pela profissão, agradeço por ser tão exigente, me ajudando a organizar adequadamente meu estudo e a elaborar um trabalho de qualidade. Me esforcei para acatar suas sugestões, sempre muito sensatas.

Ao professor José Paulo de Azevedo, devo minha gratidão por haver me orientado antes mesmo do meu ingresso no mestrado. Agradeço por sua confiança.

Ao professor Elson do Nascimento, obrigada por sua disponibilidade em participar deste trabalho.

Ao querido professor Manuel Gómez, da Universidade Politécnic da Catalunya, que carinhosamente contribuiu não só com opiniões de grande importância, mas que também não mediu esforços para garantir a logística requerida para a conclusão deste trabalho.

A professora Nieves Lantada, da Universidade Politécnic da Catalunya, a quem devo um agradecimento especial, por haver me apresentado às maravilhas dos SIGs. Agradeço, ademais, por sua paciência para responder minhas infundáveis dúvidas.

Agradeço imensamente à colaboração dos profissionais da Rio-Águas, Alexandre De Bonis e Alexandre Pinto que gentilmente contribuíram para que este trabalho pudesse ter potencial de aplicabilidade prática.

Devo agradecer à cooperação indispensável de Valmir Lino Rodrigues, da CET-Rio e Carlos Lessa, do IBGE, que disponibilizaram informações essenciais a este trabalho.

Às minhas colegas de mestrado Mariana Villas Boas e Camila Lopes, com quem pude dividir todos os sucessos e fracassos, pessoais e profissionais, ao longo deste período e se tornaram grandes amigas.

Aos colegas do LHC, que direta ou indiretamente influenciaram este trabalho e colaboraram para criar um ambiente divertido e agradável. Meus sinceros agradecimentos a Magali Mattos, Cáren Pereira, Felipe Araújo, Eduardo Tenório e especialmente, Bruno Colonese, que ainda ajudou com a aquisição de dados.

Aos meus caríssimos amigos internacionais, Julia Ciancio, Viviane Golçalves, Anna Gilewska e Gonzalo Olivares, que mais de perto acompanharam este período e cujo apoio constante foi fundamental.

Meu eterno agradecimento aos meus pais, Marcelo e Sarita Zonensein e aos meus “irmãos” Carolina Zonensein Horner e Dan Horner, pela fiel torcida, apoio, carinho e amor, ao longo de toda a minha vida e em especial, nos últimos anos. Todos eles são exemplos a serem seguidos.

Por fim, não há palavras que possam expressar minha gratidão a Luiz Paulo Canedo de Magalhães, meu grande amor, que além de admirável profissional, inspirador das idéias deste trabalho e meu mais severo orientador, foi também exímio companheiro e amigo leal, independente da distância. Agradeço a ele por todo o seu carinho, paciência, solicitude, atenção e amor.

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

ÍNDICE DE RISCO DE CHEIA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE ENCHENTES

Juliana Zonensein

Junho/2007

Orientadores: Flávio César Borba Mascarenhas
Marcelo Gomes Miguez

Programa: Engenharia Civil

Tradicionalmente, análises de risco de inundação apresentam dificuldades devido à subjetividade da avaliação e à inexistência de uma metodologia padronizada, resultando na simples determinação de presença ou ausência de zonas críticas. Em vista disso, o objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento de um procedimento de análise de risco de cheia que solucione alguns desses inconvenientes. Trata-se de uma análise multi-critério, representada por um índice quantitativo, denominado Índice de Risco de Cheia (IRC), variável de 0 a 100, capaz de conjugar fatores relacionados tanto às propriedades da enchente quanto às características sócio-econômicas da população e da região afetada. Uma vez normalizados, cada um desses fatores é operado, a partir de uma formulação relativamente simples, composta por somatórios e produtórios ponderados. Assim, o índice constitui uma ferramenta de suporte à decisão que permite: comparação quantitativa entre zonas críticas e comparação quantitativa de soluções ou cenários para uma mesma região. O IRC foi aplicado a um estudo de caso na região da bacia do rio Joana, no município do Rio de Janeiro, utilizando, para isso, um sistema de informações geográficas. Os resultados obtidos são coerentes com a situação mensurada através dos indicadores que compõem o IRC, sendo ademais, sensíveis a variações da ponderação, o que fornece base para sua potencial aplicação prática.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Máster of Science (M.Sc.)

FLOOD RISK INDEX AS A FLOOD MANAGEMENT TOOL

Juliana Zonensein

June/2007

Advisors: Flávio César Borba Mascarenhas
Marcelo Gomes Miguez

Department: Civil Engineering

Traditionally, flood risk assessments face difficulties due to the subjective nature of the evaluation and to the inexistence of a standardized methodology, resulting in the simple determination of presence or absence of critical zones. For those reasons, the main objective of this work is the development of a risk assessment procedure that means to overcome such inconveniences. It comprises a multicriteria analysis, represented by a quantitative index, named Flood Risk Index (FRI), ranging from 0 to 100, which is able to conjugate factors related both to the flood properties and to the social-economic characteristics of the people and region affected. Once normalized, each of these factors is operated according to a relatively simple formulation, composed by weighted sums and products. Therefore, the index constitutes a decision support tool that allows comparison between critical zones or comparison between different alternatives or scenarios for the same zone. The FRI was applied in a case study, in the region of the Joana river basin, in the city of Rio de Janeiro, using, for this purpose, a geographical information system. The results achieved are coherent with the conditions measured by the indicators that compose the index, being, moreover, sensitive to weight variations, which demonstrates its potential for practical application.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	CONCEITOS BÁSICOS.....	4
2.1.	Risco e seus Componentes	5
2.2.	Classificação das Conseqüências	7
3.	METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO	10
3.1.	Metodologias de Análise Multi-Critério	11
3.1.1.	Histórico	12
3.1.2.	Conceitos básicos e etapas de implementação.....	14
4.	INDICADORES E ÍNDICES	17
4.1.	Características dos Indicadores.....	18
4.1.1.	Normalização linear por distância	20
4.1.2.	Normalização por intervalos ou classes.....	21
4.1.3.	Normalização por função	22
4.2.	Exemplos de Índices.....	23
4.2.1.	Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA).....	23
4.2.2.	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).....	25
4.2.3.	Índice de Qualidade da Água (IQA)	26
5.	SIG COMO FERRAMENTA DE SUPORTE À DECISÃO	28
5.1.	Etapas da Construção de um SIG	30
5.2.	SIG e Planejamento Urbano	31
5.3.	Suporte à Decisão Multi-Critério Espacial	33
6.	METODOLOGIA	34
6.1.	Formulação e Escala do IRC	36
6.1.1.	Produtório podenrado:	38
6.1.2.	Somatório podenrado:.....	39
6.2.	Escolha dos Indicadores e Normalização.....	40
6.2.1.	Sub-índice Propriedades da Inundação (PI).....	41

6.2.2.	Sub-índice Conseqüências (C)	54
6.2.3.	Estrutura final do IRC	64
6.3.	Atribuição de Pesos	64
6.4.	Domínio do IRC	68
7.	ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO JOANA	70
7.1.	Caracterização da Região de Estudo	70
7.2.	Propriedades da Inundação	75
7.2.1.	MODCEL: modelo de células para escoamento em bacias urbanas....	75
7.2.2.	Cálculo dos indicadores de PI.....	78
7.2.3.	Cálculo do sub-índice PI	85
7.3.	Conseqüências da Inundação	86
7.3.1.	Uso de dados censitários para o cálculo de indicadores	87
7.3.2.	Uso de dados da rede viária para o cálculo do indicador I_T^C	92
7.3.3.	Cálculo do sub-índice C	94
7.4.	Cálculo do IRC	97
8.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	100
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Relação entre os componentes do risco.....	7
Figura 3.1 – Estrutura de zonas de aceitabilidade de risco.....	10
Figura 4.1 – Considerações quanto à constituição do índice.....	18
Figura 4.2 – O indicador, cujo domínio é superior ao do índice, deve ser discretizado.....	19
Figura 4.3 – O indicador, cujo domínio é inferior ao do índice, deve ser agregado.....	20
Figura 4.4 – Interpolação com função constante.....	22
Figura 4.5 – Interpolação com função linear.....	22
Figura 4.6 – Exemplo de função de normalização empírica.....	23
Figura 4.7 – Normalização do indicador “território” para o cálculo do índice.....	24
Figura 4.8 – Exemplo de curva média de variação para o indicador OD.....	27
Figura 5.1 – Componentes do SIG (Fonte: Adaptado de MAANTAY e ZIEGLER, 2006).....	28
Figura 5.2 – Conceito de estruturação de informações por camadas (Fonte: Adaptado de MAANTAY e ZIEGLER, 2006).....	29
Figura 5.3 – Exemplo de SIG para áreas inundáveis no Reino Unido.....	31
Figura 5.4 – Exemplo de SIG interativo do Projeto Brasil das Águas.....	32
Figura 6.1 – Inundação invadindo residências (Fonte: O Globo, 10/01/2007, Fotogaleria “Eu-Repórter – Chuva em Minas: ruas inundadas em Muriaé”).....	42
Figura 6.2 – Perigo da inundação para indivíduos (Fonte: O Globo, 10/01/2007, Fotogaleria “Eu-Repórter – Chuva em Minas: ruas inundadas em Muriaé”).....	42
Figura 6.3 – Marcas da inundação em parede de escola (Fonte: O Globo, 30/11/2006, Fotogaleria “Chuvas em Nova Iguaçu”).....	42
Figura 6.4 – Estragos da inundação no interior das residências (Fonte: O Globo, 28/11/2006, Fotogaleria “Eu-Repórter: Chuvas no Estado do Rio”).....	43
Figura 6.5 – Curva profundidade-dano para diferentes tipos de propriedades residenciais (Fonte: PENNING-ROUSELL <i>et al.</i> , 2003 <i>apud</i> MESSNER <i>et al.</i> , 2006).....	44
Figura 6.6 – Curva profundidade-dano para diferentes durações de inundação (Fonte: PENNING-ROUSELL <i>et al.</i> , 2003 <i>apud</i> MESSNER <i>et al.</i> , 2006).....	44
Figura 6.7 – Curva representativa da normalização da profundidade.....	45
Figura 6.8 – Representação das faixas de normalização da profundidade.....	46
Figura 6.9 – Curva de normalização por faixas para I_{Cot}^{PI} , com interpolação linear entre limites ($y = I_{Cot}^{PI}$ e $x =$ Cota (cm)).....	46
Figura 6.10 – Águas turbulentas (Fonte: O Globo, 28/11/2006, Fotogaleria “Eu-Repórter: Chuvas no Estado do Rio”).....	47
Figura 6.11 – Carros arrastados pela força das águas (Fonte: O Globo, 28/11/2006, Fotogaleria “Eu-Repórter: Chuvas no Estado do Rio”).....	47
Figura 6.12 – Combinação de velocidades e cotas necessárias para mover uma casa inundada. Água direcionada contra o comprimento da casa (BLACK, 1975 <i>apud</i> RESCDAM, 2003).....	48
Figura 6.13 – Resultados de testes: perda de estabilidade ou mobilidade (RESCDAM, 2003).....	49
Figura 6.14 – Curva de normalização por faixas para I_{FV}^{PI} , com interpolação linear entre limites ($y = I_{FV}^{PI}$ e $x =$ FV (m^2/s)).....	50
Figura 6.15 – Permanência da inundação na área de residências (Fonte: O Globo, 28/11/2006, Fotogaleria “Eu-Repórter: Chuvas no Estado do Rio”).....	52
Figura 6.16 – Dificuldades para transeuntes devido a cheia (Fonte: O Globo, 12/2/2007, Fotogaleria “Eu-Repórter: fotos da Chuva no Rio”).....	52
Figura 6.17 – Funções de normalização para t_{10} , t_{30} e t_{50}	54
Figura 6.18 – Funções de normalização para t_{10} , t_{30} e t_{50}	56
Figura 6.19 – Curva de profundidade-dano para classes sócio-econômicas A e B do setor habitacional de Itajubá.....	57
Figura 6.20 – Curva de profundidade-dano para classes sócio-econômicas C e D do setor habitacional de Itajubá.....	57
Figura 6.21 – Comparação entre curvas profundidade-dano para diferentes classes sócio-econômicas... 57	57
Figura 6.22 – Representação geométrica das suposições sobre a normalização da renda.....	58
Figura 6.23 – Curva de normalização da renda.....	59
Figura 6.24 – Longos engarrafamentos provocados pela cheia (Fonte: O Globo, 16/3/2007, Fotogaleria “Mais um dia de caos: chuva transtorna a sexta-feira em SP”).....	59
Figura 6.25 – Variação do indicador de tráfego em função do tamanho do domínio.....	60
Figura 6.26 – Normalização discreta da hierarquia viária para $I_{tráf}^{IC}$	61
Figura 6.27 – Águas sujas da inundação (Fonte: O Globo, 10/01/2007, Fotogaleria “Eu-Repórter – Chuva em Minas: ruas inundadas em Muriaé”).....	62
Figura 6.28 – Lixo arrastado pela inundação (Fonte: O Globo, 16/3/2007, Fotogaleria “Mais um dia de caos: chuva transtorna a sexta-feira em SP”).....	62
Figura 6.29 – Perigo de contaminação no contato com a água (Fonte: O Globo, 5/1/2007, Fotogaleria “Chuva no Rio: chuva deixa mais de 20 mortos no estado”; O Globo, 16/3/2007, Fotogaleria “Mais um dia de caos: chuva transtorna a sexta-feira em SP”).....	63

Figura 6.30 – Curva de normalização do indicador I_S^c (I_S).....	63
Figura 6.31 – Exemplo de escala de preferência relativa	65
Figura 6.32 – Matriz <i>payoff</i>	66
Figura 6.33 – Matriz <i>payoff</i> completa.....	66
Figura 7.1 – Destaque da bacia do canal do Mangue e do rio Joana no município do Rio de Janeiro	71
Figura 7.2 – Destaque dos bairros da bacia do rio Joana e da bacia do Canal do Mangue	72
Figura 7.3 – Pontos importantes da bacia (Fonte: Google Maps).....	72
Figura 7.4 – Rede de macro-drenagem da bacia do rio Joana	73
Figura 7.5 – Funcionamento esquemático de uma célula de escoamento	76
Figura 7.6 – Representação esquemática de uma região dividida em células, mostrando interfaces dos escoamentos superficiais.	77
Figura 7.7 – Divisão da bacia do rio Joana em células para aplicação do MODCEL.....	79
Figura 7.8 – Cálculo dos indicadores para cada célula.....	79
Figura 7.9 – Hipótese de que os indicadores são homogêneos sobre a área das células.....	79
Figura 7.10 – Mapa de I_{Cot}^{PI}	80
Figura 7.11 – (a) Mapa de T_{10} ; (b) Mapa de T_{30} ; (c) Mapa de T_{50} ; (d) Mapa de I_{FP}^{PI} , após ponderação dos anteriores.	82
Figura 7.12 – Curva geral representativa da evolução temporal do alagamento	82
Figura 7.13 – Determinação da declividade máxima de uma célula	83
Figura 7.14 – Perfil de rua considerado no cálculo da velocidade	83
Figura 7.15 – Comparação entre topografia e I_{FV}^{PI}	84
Figura 7.16 – (a) Resultado de PI para o cenário PI-C1; (b) Resultado de PI para o cenário PI-C2; (c) Resultado de PI para o cenário PI-C3; (d) Resultado de PI para o cenário PI-C4; (e) Resultado de PI para o cenário PI-C5	86
Figura 7.17 – Setores censitários considerados de acordo com o limite das células do MODCEL: (a) antes da interseção; (b) depois da interseção.....	87
Figura 7.18 – Resultados do indicador I_{Dd}^c	88
Figura 7.19 – Resultados do indicador I_R^c	89
Figura 7.20 – Relação entre zonas de baixa renda e favelas	90
Figura 7.21 – Resultados do indicador I_{Si}^c	92
Figura 7.22 – Rede viária hierarquizada do município do Rio de Janeiro	93
Figura 7.23 – (a) Sobreposição da malha de células (em azul) e de setores (em vermelho); (b) Malha resultante da interseção	93
Figura 7.24 – Transferência de informação das vias para regiões e resultados para I_T^c	94
Figura 7.25 – Valores de (a) I_{Dd}^c , (b) I_R^c e (c) I_{Si}^c , convertido à malha de interseção	94
Figura 7.26 – Resultado dos indicadores I_{Dd}^c , I_R^c , I_{Si}^c	95
Figura 7.27 – (a) Resultados de C para o cenário C-C1; (b) Resultado de C para o cenário C-C2; (c) Resultado de C para o cenário C-C3; (d) Resultado de C para o cenário C-C4; (e) Resultado de C para o cenário C-C5	97
Figura 7.28 – (a) Resultados do IRC para o cenário IRC-C1; (b) Resultado do IRC para o cenário IRC-C2; (c) Resultado do IRC para o cenário IRC-C3	99

1. INTRODUÇÃO

As enchentes resultam de um processo natural, no qual o aumento da vazão dos rios, faz com que a água, normalmente contida em seu canal principal, ultrapasse estes limites e atinja áreas marginais. No entanto, o desenvolvimento urbano gera impactos negativos sobre este fenômeno, pois tem como consequência a criação de grandes áreas impermeáveis e maior geração de lixo e sedimentos. Isso provoca o incremento das vazões máximas, contaminação e obstrução da rede de macro-drenagem e, por vezes, insuficiência ou ineficiência da rede de micro-drenagem.

Assim, as enchentes passam a ser mais severas e frequentes nas áreas urbanas. Além disso, os impactos sobre a população resultam também da ocupação irregular de encostas e de áreas ribeirinhas, naturalmente alagáveis, contribuindo para o aumento dos prejuízos consequentes. Os principais danos provocados por inundações incluem perdas materiais e humanas, interrupção da atividade econômica e de serviços de infra-estrutura, além de contaminação por doenças de veiculação hídrica. No Brasil, as perdas tangíveis diretas decorrentes de inundações foram estimadas em U\$ 1 bilhão/ano, em 2001. No ano de 2004, esse valor aumentou para U\$ 3 bilhões/ano. (PROHIMET/CYTED/WMO, 2007)

Somam-se às atuais tendências de crescimento e de concentração populacional em zonas urbanas, as alarmantes previsões sobre aquecimento global. Se verificadas, o quadro das enchentes tende a se tornar ainda mais grave, devido à perspectiva de ocorrência de chuvas intensas de maiores proporções e frequência.

As soluções para o problema de inundação, sejam elas preventivas ou mitigadoras, não se restringem a medidas estruturais. O correto planejamento do uso do solo, bem como manejo adequado dos corpos hídricos e educação da população permitem alcançar bons resultados na gestão de enchentes, constituindo-se em algumas das chamadas medidas não-estruturais de controle de cheia.

No entanto, previamente à adoção e implementação dessas medidas por parte de gestores, devem-se identificar zonas onde são necessárias intervenções, realizar estudos de impacto do crescimento urbano sobre a drenagem e comparar alternativas de solução.

Para isso, é conveniente realizar uma análise de risco de inundação. Tradicionalmente, essa análise resulta na simples identificação de zonas críticas (presença/ausência), não sendo possível compará-las ou estimar o impacto de

distintas alternativas para gestão do problema. A tarefa de gestores é dificultada pela inexistência de uma metodologia padronizada de análise de risco ou mesmo de consenso quanto a definição deste conceito.

Com isso, o risco é avaliado de forma subjetiva, levando-se em conta somente alguns dos fatores que contribuem para o problema e deixando de lado outros vários que sabidamente afetam sua criticidade. A avaliação é feita de acordo com um julgamento particular, com base em informações técnicas disponíveis e em conhecimento e experiência anteriores. Isso, portanto, inviabiliza qualquer tentativa de justificar ou repetir a análise. Tampouco é feita qualquer distinção quanto à importância relativa de cada fator.

Em vista disso, o objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia de análise de risco de cheia. Ela considera não só as propriedades da enchente, mas também características sócio-econômicas da população e da região afetada. Ademais, cada um desses fatores pode apresentar importância diferenciada na avaliação, que é conjugada em um índice quantitativo, variável de 0 a 100, denominado Índice de Risco de Cheia (IRC). Áreas com baixo risco de inundação apresentam valores reduzidos de IRC, enquanto regiões mais críticas recebem valores mais altos deste índice.

O IRC constitui, assim, uma metodologia simples de análise multi-critério. A combinação destes fatores leva a uma avaliação mais realista quanto ao potencial de perdas tangíveis e intangíveis ocasionados pela cheia. Este índice pode ser usado como ferramenta de suporte à decisão, ao permitir comparação quantitativa entre zonas críticas, útil na hierarquização de obras e na justificativa de alocação de investimentos públicos, por exemplo; e comparação quantitativa de soluções ou cenários para uma mesma região, podendo viabilizar estimativas do impacto do desenvolvimento da bacia de inundação ou servir de auxílio na elaboração de plano diretor de drenagem.

A bacia do rio Joana, localizada na Zona Norte do município do Rio de Janeiro, foi escolhida para o desenvolvimento de um estudo de caso, considerando a metodologia proposta. Os dados referentes às propriedades da cheia são resultado da avaliação desta bacia através do uso do MODCEL, uma robusta ferramenta de simulação hidrodinâmica e hidrológica. Dados censitários e de domínio público, facilmente disponíveis, foram usados para caracterizar a população e a região.

Para a associação entre informações espaciais e não-espaciais é conveniente o uso de um sistema de informações geográficas (SIG). Seu uso torna as tarefas de armazenamento, processamento, análise e, sobretudo, apresentação de dados e resultados extremamente mais simples e inteligível. Com isso, o resultado final pode ser apresentado na forma de um mapa de risco, que expõe a distribuição espacial do IRC, facilitando a interpretação dos resultados obtidos.

2. CONCEITOS BÁSICOS

Este capítulo visa esclarecer alguns dos conceitos que serão intensamente utilizados ao longo dos capítulos seguintes e está baseado, em grande parte, nos documentos produzidos pelo projeto *FLOODsite* (SAMUELS, 2006).

O Projeto Integrado *FLOODsite*, iniciado em 2004 e com duração estimada de cinco anos, é a maior pesquisa em gerenciamento de riscos de inundação financiada pela União Européia. Ela é formada por um consórcio de 36 parceiros, nos quais se incluem as principais instituições e universidades européias, representadas por cerca de 150 gestores, pesquisadores e profissionais do governo e do setor privado. O *FLOODsite* é uma iniciativa interdisciplinar que avalia os aspectos físicos, ambientais, ecológicos e sócio-econômicos das inundações. Ele está dividido em cinco áreas temáticas (bases de conhecimento em análise de risco de cheia; medidas mitigadoras e sustentáveis de gestão de risco de cheia; estrutura para integração tecnológica; sítios de aplicação piloto; atividades de treinamento), às quais estão relacionadas tarefas específicas. Em linhas gerais, o projeto visa:

- Elaborar uma metodologia européia integrada para avaliação e gestão de riscos de inundação
- Determinar uma abordagem consistente quanto às causas, impactos e controle dos diferentes tipos de inundação
- Definir técnicas e produzir conhecimento de apoio à gestão efetiva dos riscos de inundação
- Disseminar conhecimento, incluindo a produção de material didático para treinamento
- Formar uma rede de integração e intercâmbio de pesquisas entre países.

Os produtos do projeto são divulgados através de relatórios parciais e artigos científicos publicados em revistas e conferências. Ao final do segundo ano de projeto, o grupo de pesquisa já produziu mais de 130 publicações, além de 10 relatórios, muitos dos quais estão disponíveis no sítio do projeto (SAMUELS, 2006).

Devido a reconhecida relevância desta pesquisa, que integra o estado da arte em gestão de riscos de inundação, os documentos elaborados até agora, juntamente com outras fontes bibliográficas, serão utilizados neste estudo.

2.1. Risco e seus Componentes

O conceito de risco possui significado variável, de acordo com o contexto em que está inserido, seja ele social, econômico ou ambiental. Frequentemente, esta diversidade de definições gera interpretações errôneas, dificultando a tarefa de análise de risco. A busca por uma definição única, aplicável a todas essas esferas, é desaconselhável, devido às dificuldades em se abordar aspectos tão distintos e específicos de cada uma delas. No entanto, é necessário que a interpretação particular adotada seja esclarecida previamente a qualquer análise, devendo também ser coerente com o tema abordado (GOULDBY e SAMUELS, 2005).

No âmbito da estatística, o risco costuma ser usado como sinônimo da probabilidade de um evento indesejável. Do ponto de vista econômico, o risco é entendido como a variabilidade ou volatilidade inesperada do retorno financeiro, ou como a possibilidade de um investimento perder seu valor. No campo da engenharia, o risco está relacionado tanto à probabilidade de ocorrência de um evento, quanto à expectativa de perdas causadas por ele.

Considerando esta última definição, o risco estaria, portanto, dividido em dois componentes básicos: um que se refere à probabilidade de ocorrência de um evento e outro, relativo às suas conseqüências. Em se tratando do risco de cheia, em particular, esta é a definição tradicionalmente utilizada e aceita, sendo, portanto, adotada doravante.

O risco está condicionado à existência de um perigo, ou seja, um evento ou fonte de origem do risco. No caso do risco de inundação, a chuva representa o perigo. No entanto, a simples ocorrência deste evento não determina a presença de risco, que também dependerá da avaliação quanto à vulnerabilidade de pessoas e/ou bens passíveis de serem afetados, assim como do valor associado a estes.

É comum que os termos risco e perigo (do inglês *risk* e *hazard*, respectivamente) sejam confundidos na linguagem cotidiana. Ainda que estes conceitos estejam de fato relacionados, eles não devem ser utilizados como sinônimos na terminologia técnica. Neste contexto, perigo refere-se à situação que tem potencial para causar danos e ameaça a existência ou os interesses de pessoas, propriedades ou meio ambiente (CETESB, 2003). Sendo assim, destaca-se que o perigo é um evento inerente a determinada situação e não pode, portanto, ser controlado ou reduzido. O risco, por

sua vez, é passível de ser gerenciado, alterando-se sua probabilidade ou suas conseqüências.

A componente do risco de cheia relativa à probabilidade pode ser associada ao conceito de tempo de recorrência da chuva que dá origem à inundação (T_r). O tempo de recorrência de uma precipitação (medido em anos) designa o intervalo de tempo médio em que este evento é igualado ou superado. É, também, o inverso da freqüência anual com que a precipitação é igualada ou superada. Desta forma, o tempo de recorrência está associado a uma altura máxima de chuva, que, por sua vez, determinará características específicas da inundação, tais como altura, área, velocidade e duração da cheia.

Quanto à componente do risco relativa às conseqüências da cheia, ela pode ser definida em função da exposição e vulnerabilidade dos elementos sob risco. A exposição ao risco refere-se à quantidade e qualidade dos elementos (número de pessoas e propriedades) que podem ser afetados por um evento perigoso, enquanto a vulnerabilidade resulta da susceptibilidade e do valor associado a estes elementos. Ou seja, a vulnerabilidade representa as propriedades de um sistema que descrevem seu potencial de ser danificado (GOULDBY e SAMUELS, 2005).

Outro fator que influencia a vulnerabilidade é a percepção do risco, definida como o julgamento intuitivo de um indivíduo ou grupo social acerca do risco ao qual está submetido. Esta avaliação é realizada com base nas informações, incertezas e experiências anteriores deste indivíduo ou coletividade. Uma baixa percepção do risco – resultante, por exemplo, do fato de inundações serem raras em determinada região ou da ausência de experiências anteriores – induz ao despreparo para situações de emergência. Por isso, é importante que as partes intevidsvez,

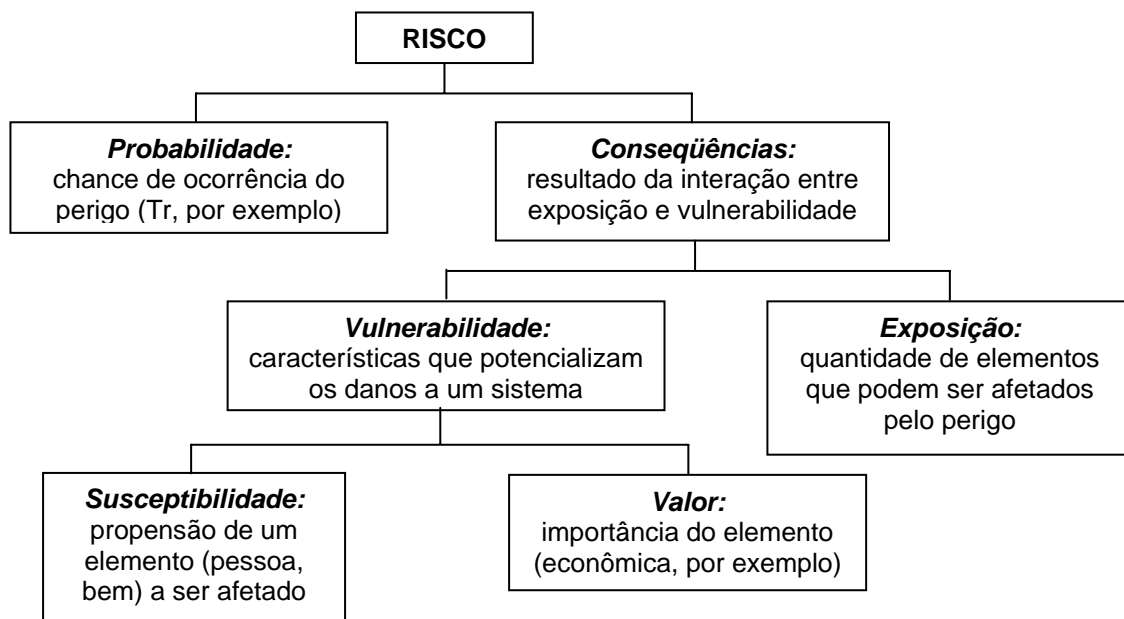


Figura 2.1 – Relação entre os componentes do risco

2.2. Classificação das Conseqüências

Conforme visto na seção anterior, as conseqüências de inundações referem-se a todo tipo de dano com efeitos prejudiciais a pessoas, saúde, propriedades, infra-estrutura, sistemas ecológicos, produção industrial e economia (MACHADO *et al.*, 2005, MESSNER *et al.*, 2006). É possível classificar as conseqüências de acordo com a facilidade em valorá-la em termos monetários e em relação ao contato com a água da inundação.

Danos tangíveis são aqueles cujo valor econômico associado é bem definido, tal como danos físicos a construções (sua estrutura e conteúdo). Já danos à saúde, fatalidades e impactos ambientais são classificados como intangíveis, devido à sua difícil estimativa monetária.

Danos diretos são os resultantes do contato direto com a água da inundação e referem-se basicamente à deterioração física de bens e pessoas. Os principais danos indiretos, por sua vez, decorrem de perturbações físicas e econômicas do sistema produtivo, além de custos emergenciais por causa da inundação e podem afetar áreas significativamente maiores do que aquela diretamente afetada pela inundação. Incluem custos de limpeza e de serviços de emergência, lucro cessante, transtornos ao tráfego de veículos, interrupção de serviços de telecomunicação e perda de valor da propriedade.

A Tabela 2.1 exemplifica cada um dos tipos de danos, de acordo com o setor afetado.

Tabela 2.1 – Classificação de danos causados por inundações

SETOR	DANOS TANGÍVEIS		DANOS INTANGÍVEIS	
	DIRETOS	INDIRETOS	DIRETOS	INDIRETOS
Habitacional	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza, alojamento, medicamentos	Fatalidades	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde
Comércio e Serviços	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo Perdas e danos ao estoque	Custos de limpeza Lucro cessante Desemprego Perda de banco de dados	Fatalidades	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde
Industrial	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo Perdas e danos ao estoque de matérias-primas	Custos de limpeza Lucro cessante Desemprego Perda de banco de dados	Fatalidades	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde
Serviços públicos e infra-estrutura	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços Custos de serviços de emergência	Fatalidades	Estado psicológico de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos a longo prazo à saúde Inconvenientes de interrupção de serviços
Patrimônio histórico cultural	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços	Fatalidades	Inconvenientes de interrupção de serviços

Fonte: MACHADO *et al.*, 2005

Uma parte importante da análise de risco é a decisão sobre quais destas conseqüências serão consideradas e como serão estimadas. Devido às dificuldades em se contabilizar estes impactos sócio-econômicos, alguns indicadores, tais como número de pessoas e propriedades impactadas, seu respectivo valor, condições pré-existent de saúde e salubridade, idade das pessoas sinistradas, são utilizados para este fim (MACHADO *et al.*, 2005).

Na literatura, há maior disponibilidade de dados, informações e modelos acerca de danos diretos causados ao setor habitacional e, em menor parte, comercial e de serviços. Também é possível encontrar informações sobre o setor industrial, mas surgem dificuldades em padronizá-las, já que se observa grande variabilidade em

função do tipo de tecnologia e organização. O setor de serviços públicos e de infraestrutura inclui instituições de saúde, ensino, lazer, redes viárias, sanitárias, de abastecimento, entre outros. Portanto, o distúrbio ou interrupção destes serviços implica, quase sempre, em severos danos indiretos, podendo gerar uma situação de crise.

De acordo com MACHADO *et al.* (2005), MESSNER *et al.* (2006) e MESSNER e MEYER (2005), em geral, a estimativa das conseqüências costuma levar em conta apenas efeitos diretos e tangíveis. Os efeitos indiretos, especialmente sobre a economia local, ainda que muito significativos, deixam de ser analisados por causa da falta de dados empíricos e das dificuldades em comprovar sua relação com outros efeitos diretos da inundação. Algumas vezes, observa-se uma compensação entre a redução da atividade econômica da área afetada e o aumento da atividade em zonas não atingidas. Além disso, apesar de existirem métodos para valoração econômica dos danos intangíveis, como a perda de vidas, eles ainda são bastante controversos e muitas vezes rejeitados do ponto de vista ético.

Destaca-se que a avaliação dos danos decorrentes de inundações não deve ser realizada exclusivamente com base em análises econômicas de custo-benefício. Mesmo que técnicas para estimação de danos indiretos e intangíveis evoluam, sempre haverá alguns cuja valoração econômica não é socialmente aceita, incluindo fatalidades e danos de longo prazo à saúde. Apesar de as atuais abordagens de avaliação das conseqüências de cheias não levá-los em conta, pesquisas empíricas demonstram que estes são os efeitos de maior impacto sobre as pessoas e comunidades. Também é importante que aspectos econômicos, sociais, ambientais e políticos sejam considerados, ao mesmo tempo, na avaliação do risco. Portanto, para que eles possam ser considerados na análise de risco, métodos de análise multi-critério podem ser desenvolvidos e empregados, fornecendo suporte a decisões na fase de gerenciamento dos riscos (MESSNER e MEYER, 2005).

3. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO

De acordo com CETESB (2003), a análise de risco compreende a atividade voltada para o desenvolvimento de uma estimativa, qualitativa ou quantitativa, do risco, baseada em uma metodologia estruturada para promover a combinação entre a probabilidade de ocorrência e as conseqüências de um evento perigoso.

A tarefa de avaliação de riscos utiliza os resultados desta análise para a tomada de decisão quanto ao seu gerenciamento, através da comparação com critérios de tolerabilidade, previamente estabelecidos. A definição destes limiares é uma das principais questões tratadas por tomadores de decisão.

De forma geral, pode-se determinar critérios de aceitabilidade de risco através de uma estrutura de três zonas, definida pelos seguintes elementos:

- um nível superior, acima do qual o risco é considerado inaceitável;
- um nível inferior, abaixo do qual o risco é aceitável;
- uma região intermediária, onde é necessário redução do risco de forma a alcançar níveis “tão baixos quanto razoavelmente praticável” (*ALARP*: “*as low as reasonably practicable*”).

Esta estrutura é ilustrada na Figura 3.1. Apesar de simples, a definição de limites de tolerabilidade do risco varia enormemente e nem sempre é possível chegar a um consenso.

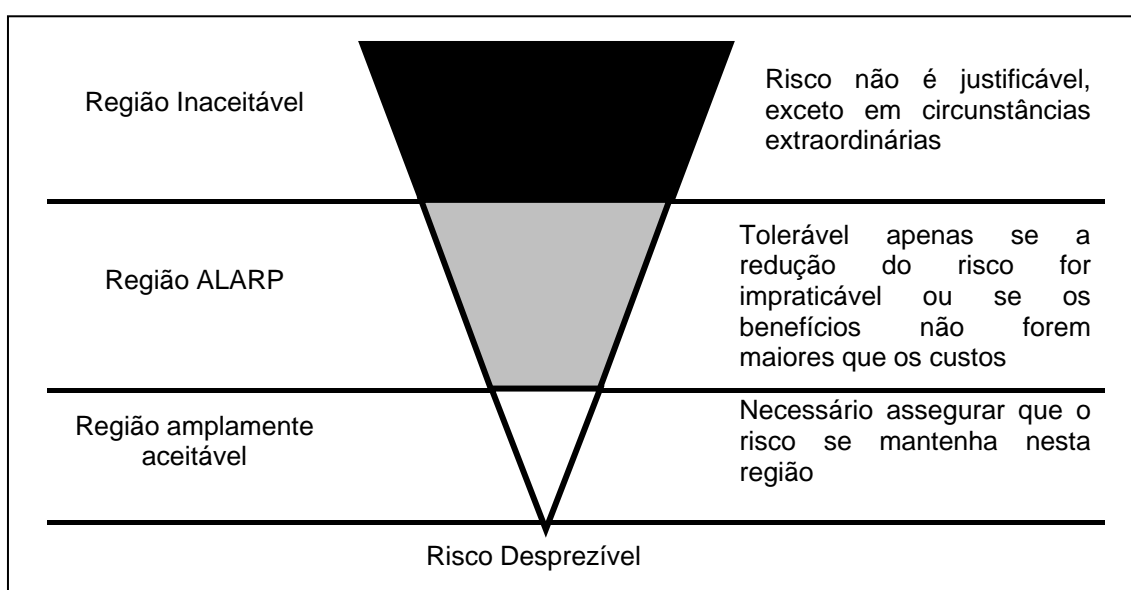


Figura 3.1 – Estrutura de zonas de aceitabilidade de risco

A análise e avaliação destas situações de risco podem ser desenvolvidas através de diversas abordagens, entre elas, a análise de custo-benefício e a análise multi-critério.

A análise de custo-benefício é uma abordagem econômica tradicional, na qual avalia-se se os benefícios esperados decorrentes da implementação de uma ação redutora de risco (necessária para atingir determinado nível de segurança) são superiores aos seus custos. Esta metodologia exige uma análise holística de todos os custos e benefícios envolvidos e ainda que não resulte na determinação direta dos níveis de tolerabilidade, eles podem ser inferidos a partir dos custos envolvidos na redução do risco. A maior crítica a este método se deve ao fato de todos os custos e benefícios serem quantificados em termos monetários e agregados em um único valor, impossibilitando a associação de importância relativa aos fatores que contribuem ao risco (GOULDBY e SAMUELS, 2005).

A análise multi-critério, por sua vez, permite combinar, em uma mesma avaliação, situações de natureza diferentes, considerando sua importância relativa e sem a necessidade de conversão monetária dos resultados envolvidos na análise. Por isso, esta abordagem é recomendável para análise de risco de inundações e será explicada em maiores detalhes a seguir.

3.1. Metodologias de Análise Multi-Critério

Análises multi-critério são metodologias desenvolvidas para resolução de problemas complexos, envolvendo equipes multidisciplinares e considerando diversos objetivos, alternativas (em geral, conflitantes) e fatores que as influenciam (MENDOZA e MACOUN, 1999). Nestes casos, torna-se difícil atingir um consenso. Assim como a análise custo-benefício, esta técnica também exige uma visão holística do problema, mas permite medir as conseqüências de uma ação em diferentes unidades, tanto quantitativas, quanto qualitativas, e atribuir a elas diferentes pesos, de acordo com o julgamento do decisor ou parte interessada.

Desta forma, é possível levar em consideração as distintas percepções do problema, em uma tentativa de tornar explícitas as subjetividades inerentes à tomada de decisão. Para isso, são utilizados modelos aceitos por todos, a partir de uma base de informações comum, que permitem chegar a uma solução negociada, com tendência de acordo entre o grupo. Segundo ZUFFO (1998), a explicitação de alternativas a

comparar, assim como a definição dos critérios adotados costumam ser de difícil determinação e dependem, inclusive, da disponibilidade de dados.

Estes modelos permitem que as alternativas sejam comparadas, selecionadas ou ordenadas através de um procedimento formal de tomada de decisão. O processo decisório está naturalmente sujeito a preferências, incertezas e interpretações, de maneira que a vantagem dos métodos de suporte a decisão multi-critério é justamente torná-lo mais ordenado, objetivo, e transparente.

Nas últimas décadas, tem havido um aumento da consciência sobre a necessidade de identificar e considerar vários objetivos, simultaneamente, na análise de soluções de alguns problemas (ZUFFO, 1998). Isso tem motivado o aparecimento de diversas

pública e empresarial (ZUFFO, 1998). Surgiam os métodos MCDM (*Multicriteria Decision Making* – Tomada de Decisão Multi-critério), pertencentes a chamada Escola Americana, cujo objetivo era a definição da “melhor” alternativa para solução de problemas. Estes métodos se baseiam no desenvolvimento dos fundamentos teóricos da programação matemática múltiplo objetivo e dos procedimentos dos algoritmos para a resolução de cada problema (MALTA, 2006).

Em contrapartida, em meados da década de 70, começam a ser desenvolvidas, na Europa, novas metodologias, a partir de críticas feitas à Escola Americana. A Escola Européia contestava o conceito de “melhor” alternativa, definido pela anterior. Ela enfatizava a existência de limitações da objetividade para associação entre o ótimo matemático e a melhor alternativa e, por isso, estabelecia como resultado uma “solução de melhor compromisso” (*trade-off*). Os métodos desenvolvidos pela Escola Européia são chamados MCDA (*Multicriteria Decision Aid* – Suporte à Decisão Multi-critério).

Uma compilação bastante abrangente de exemplos de métodos multi-critério pode ser encontrada em ZUFFO (1998). A Tabela 3.1 abaixo apresenta resumidamente alguns deles.

Tabela 3.1 – Exemplos de métodos multi-critério

MÉTODO	AUTORES	COMENTÁRIOS
Método Multiobjetivo Linear (Simplex de Philip)	PHILIP (1972); ECKER E KOUADA (1975);	Transforma um problema envolvendo múltiplos objetivos em um problema envolvendo um simples objetivo para depois otimizá-lo.
Programação por Compromisso	YU (1973); ZELENY (1973, 1974B); GIULIANO (1985); WON (1990);	Considerado com um método especializado na técnica da distância geométrica, em que as distância que foram selecionadas representam as preferências ordenadas do decisor. (Otimização pela minimização das distâncias).
Programação Composta (Composite Programming)	BÁRDOSSY <i>et al.</i> (1985)	É uma extensão hierárquica do método da programação por compromisso. É um método baseado nas técnicas MCDM da distância. Considera e integra elementos completamente diferentes de uma rede em uma análise simples.
Teoria do Jogo Cooperativo (CGT:Cooperative Game Theory)	HARSANYI (1977); SZIDAROVSKY (1977);	Método baseado no enfoque da distância. Este método, invés de minimizar a distância para um ponto meta, a “melhor” solução é aquela que maximiza a distância de um ponto “status quo” ou nível mínimo. Utilizado para estudo para resolução matemática de conflitos.

MÉTODO	AUTORES	COMENTÁRIOS
Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT: Multi-Attribute Utility Theory)	KEENEY E RAIFFA (1976)	As preferências sobre as conseqüências são modeladas de modo a fornecer a função utilidade. Primeiro, aplica-se funções utilidade unidimensionais relativas a cada atributo e, em seguida aplica-se uma função utilidade multiatributo, que agrega as utilidades individuais. As funções utilidade podem ter diferentes formas (aditiva, multiplicativa, multilinear).
Método de Análise Hierárquica (AHP:Analytic Hierarchy Process)	SAATY (1977)	Decompõe o problema em níveis hierárquicos, determina uma medida global para cada alternativa, através da síntese dos valores dos agentes de decisão (matriz de preferências), classificando-as ou priorizando-as.
ELECTRE I	ROY (1968); BENAYOUN <i>et al.</i> (1966);	Este método faz uso de critérios de peso fornecidos para a construção de uma "matriz de concordância"; faz uso também das diferenças entre cada par do sistema de valores das alternativas para a construção de uma "matriz de discordância". É designado para problemas de escolha. A eliminação é seqüencial.
PROMETHEE I	BRANS <i>et al.</i> (1984); BRANS E VICKE (1985);	Pré-ordenação parcial de alternativas. Dois fluxos de hierarquização um positivo mostra como a alternativa m se sobressai sobre as outras, e um outro negativo, mostra como a alternativa m é sobrepujada por outras. É muito semelhante ao índice de concordância do método ELECTRE III.

Fonte: Adaptado de Zuffo (1998)

Existem várias classificações possíveis para esta grande diversidade de métodos, mas nenhuma delas é absolutamente satisfatória. A distinção entre as categorias é tênue, podendo ser considerada como a faixa de transição entre famílias de métodos. Segundo Zuffo (1998), há situações em que um método pode fazer parte de mais de uma categoria. Além disso, os métodos baseados na Lógica Nebulosa (*Fuzzy Logic - FL*), cujo desenvolvimento vem ganhado destaque, nem sempre são considerados nas classificações atuais (DE PESSÔA, 2005).

3.1.2. Conceitos básicos e etapas de implementação

A literatura diverge bastante no que diz respeito aos conceito de termos relacionados a metodologias multi-critério. Por isso, para a clareza deste texto, alguns deles serão definidos a seguir.

- **Objetivo:** é aquilo que se procura alcançar, reflete as aspirações do decisor.
- **Alternativas:** são meios de atingir o(s) objetivo(s), às quais estão associados atributos, que permitem compará-las.
- **Atributos:** referem-se às características, fatores e desempenho de uma alternativa, em um processo de decisão. Devem permitir meios para a avaliação de níveis de um objetivo, ou seja, são definidos como o aspecto mensurável de um julgamento, podendo ser representados por indicadores empíricos (DE PESSÔA, 2005).
- **Critérios:** podem representar tanto um atributo como um objetivo. Por esta razão, decisões multi-critério indicam o processo de decisão em que estão envolvidos dois ou mais objetivos conflitantes e/ou mais de dois atributos (DE PESSÔA, 2005).
- **Pesos:** são as prioridades correspondentes aos vários critérios, representados por valores quantitativos. Estas prioridades representam a importância relativa dos objetivos ou atributos de um problema (DE PESSÔA, 2005).
- **Atores:** um indivíduo (ou um grupo de indivíduos) que influencia direta ou indiretamente o processo decisório (MALTA, 2006). Alguns atores comuns são decisores, analistas, mediadores e grupos de pressão.
- **Matriz de Avaliação (*Payoff*):** matriz cujas linhas e colunas representam respectivamente os atributos e as alternativas do processo de tomada de decisão (MALTA, 2006). Após devidamente preenchida, com os valores dos atributos para cada alternativa e com os pesos associados aos atributos, o método multi-critério escolhido pode ser aplicado.

O conjunto de atributos escolhidos para avaliar cada alternativa é fundamental para a avaliação do problema. Para que seja eficiente, este conjunto deve apresentar completude (todos os critérios de interesse devem ter sido incluídos), operacionalidade (os critérios podem ser avaliados em todas as alternativas), decomposibilidade (o desempenho de uma alternativa em determinado critério pode ser julgado independente de seu desempenho nos demais critérios), ausência de redundância (dois critérios devem representar dois aspectos distintos) e tamanho mínimo. (KEENEY e RAIFFA, 1976 *apud* DE PESSÔA, 2005)

De acordo com DE PESSÔA (2005), existe uma série de métodos multi-critério que podem ser utilizados para dar suporte a decisões. No entanto, as etapas enumeradas abaixo costumam ser comuns à maioria deles:

1. Identificação do problema
2. Definição das alternativas
3. Definição dos critérios relevantes para o problema de decisão
4. Avaliação das alternativas em relação aos critérios (Matriz de Avaliação)
5. Determinação dos pesos dos critérios
6. Determinação da avaliação global de cada alternativa
7. Análise de sensibilidade de critério e pesos

Cabem aqui alguns comentários sobre estas etapas. A inclusão de novas alternativas exigirá uma reavaliação dos critérios escolhidos e possivelmente, inclusão de outros critérios. No preenchimento da Matriz de Avaliação, é associado um valor a cada alternativa, com relação a um critério. A escala destes valores do critério não é, necessariamente, a mesma do valor real medido ou observado, ainda que haja uma associação direta entre as duas. Para a determinação dos pesos, pode-se, inclusive, utilizar uma metodologia multi-critério à parte. A avaliação final das alternativas resulta da forma de agregação de seu desempenho em cada critério e dependerá do método multi-critério empregado. Em alguns casos, a valor final agregado pode constituir um índice. Por fim, a análise de sensibilidade é especialmente importante nos pesos, pois refletirá a robustez do método diante da mudança de preferências do decisor.

4. INDICADORES E ÍNDICES

Um índice é uma forma de agregar informações associadas a indicadores de distintas naturezas e significâncias, traduzindo-os em um único valor representativo de uma situação real. Este resultado tem por objetivo refletir o efeito conjunto do grupo de indicadores, permitindo assim comparações no tempo e no espaço. Desta forma, índices podem desempenhar funções diversas, tais como avaliar condições existentes; comparar lugares, situações ou alternativas; proporcionar antecedência ao advertir sobre algum efeito ou impacto de uma ação; prever futuras condições e tendências (DE BONIS, 2006) Por isso, índices constituem uma ferramenta essencial de suporte à decisão, especialmente para análises multi-critério (OLAVE, 2003).

As propriedades que devem ser determinadas para a elaboração de um índice são apresentadas abaixo.

- **Constituição:** é o grupo de indicadores que compõe o índice.
- **Domínio:** é a esfera espacial (local, regional, nacional, global) de aplicabilidade do índice.
- **Formulação:** é a expressão matemática que representa a relação entre os indicadores considerados.
- **Escala:** é definida pelos seus extremos máximo e mínimo, entre os quais estão compreendidos todos os valores que o índice pode assumir; a amplitude de uma escala é dada pela diferença entre seus valores extremos.

Metodologias multi-critério podem exercer um papel muito importante na formulação de índices. Elas podem ser usadas na seleção dos indicadores que o constituem e na normalização de suas escalas, na escolha de pesos e na determinação de sua formulação.

Quanto a constituição, um maior número de indicadores permite melhor caracterização do sistema, mas gera também maior esforço na aquisição de dados, complexidade nos cálculos e, conseqüentemente, maiores custos. Esta situação é representada na Figura 4.1.

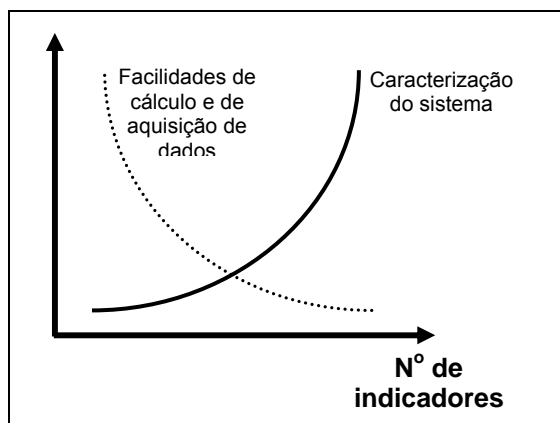


Figura 4.1 – Considerações quanto à constituição do índice

A seguir, são apresentadas as características dos indicadores usados na composição de índices e algumas considerações que devem ser feitas previamente à sua escolha.

4.1. Características dos Indicadores

Um indicador é algo que aponta um nível ou estado. Ele pode ser entendido como um componente tangível de parte de um sistema, capaz de estimar quantitativamente sua condição (social, econômica, física) e que seja representativo do sistema completo. O uso de indicadores é, portanto, um modelo simples de medidas mais complexas. A temperatura, por exemplo, costuma ser usada como um indicador da saúde do corpo. (PRATT *et al.* 2004)

Segundo DE BONIS (2006) e OLAVE (2003), os atributos que devem ser avaliados durante a escolha dos indicadores são explicados abaixo.

- Validade: se efetivamente mede aquilo que pretende.
- Confiabilidade: se sua medição repetida em condições similares reproduz os mesmos resultados.
- Clareza: se tem significado claro para todos seus usuários;
- Especificidade: se mede somente o fenômeno de interesse.
- Sensibilidade: se pode medir as mudanças no fenômeno de interesse.
- Mensurabilidade: se é baseado em dados disponíveis ou fáceis de se obter.
- Custo-benefício: se justifica os investimentos de tempo e recursos.

Vale notar que a escolha dos indicadores também é fortemente influenciada e condicionada pelas propriedades do índice (domínio, formulação e escala). Por exemplo, se o índice for regional é preferível que os indicadores tenham, no máximo, este mesmo domínio. Caso contrário, ou seja, se os indicadores tiverem domínio de aplicabilidade superior (nacional), eles terão de ser distribuídos no mesmo nível espacial do índice, inferindo informações que não são necessariamente reais ou precisas.

Por outro lado, se o indicador tiver domínio inferior ao do índice, a informação pode ser agregada, resultando em uma estimativa razoavelmente aceitável. Nota-se que este processo incorre necessariamente em perda de informação e quanto mais heterogênea for a distribuição espacial do indicador, mais distante o valor agregado estará do valor real. A Figura 4.2 e a Figura 4.3 ilustram estes casos.

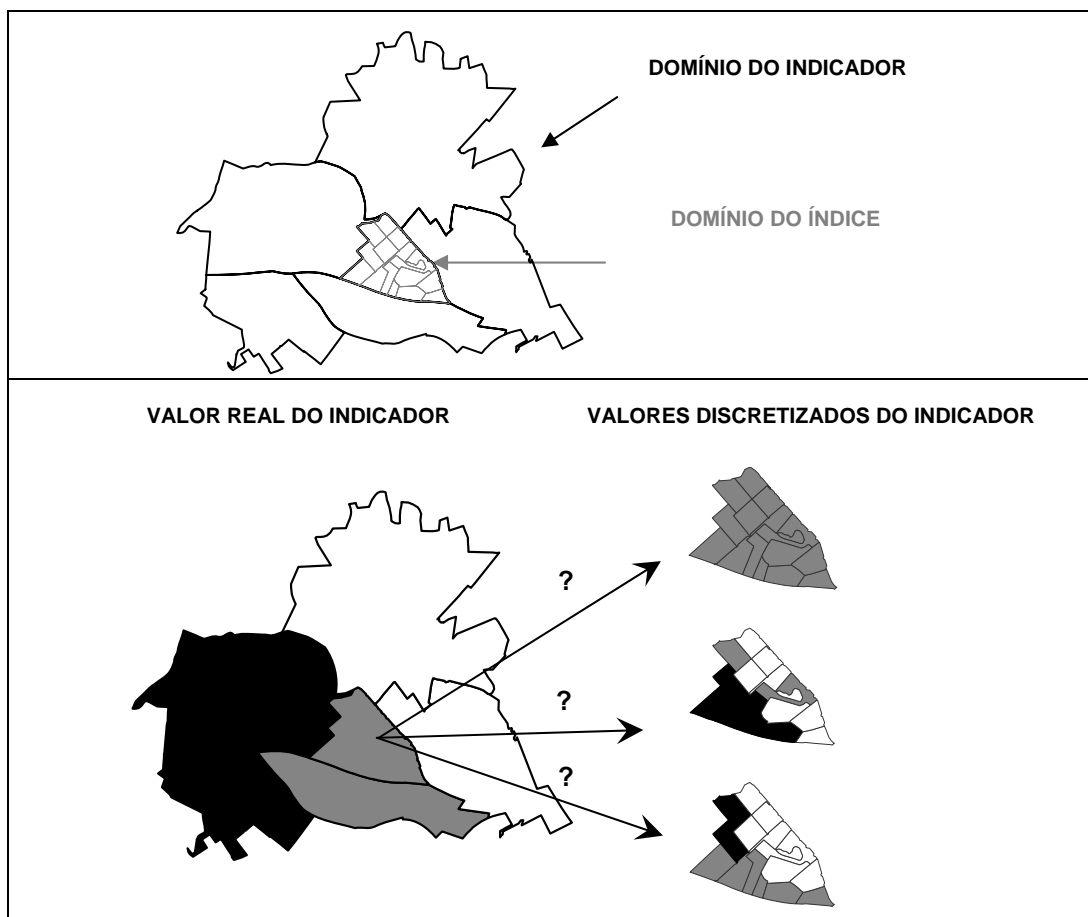


Figura 4.2 – O indicador, cujo domínio é superior ao do índice, deve ser discretizado

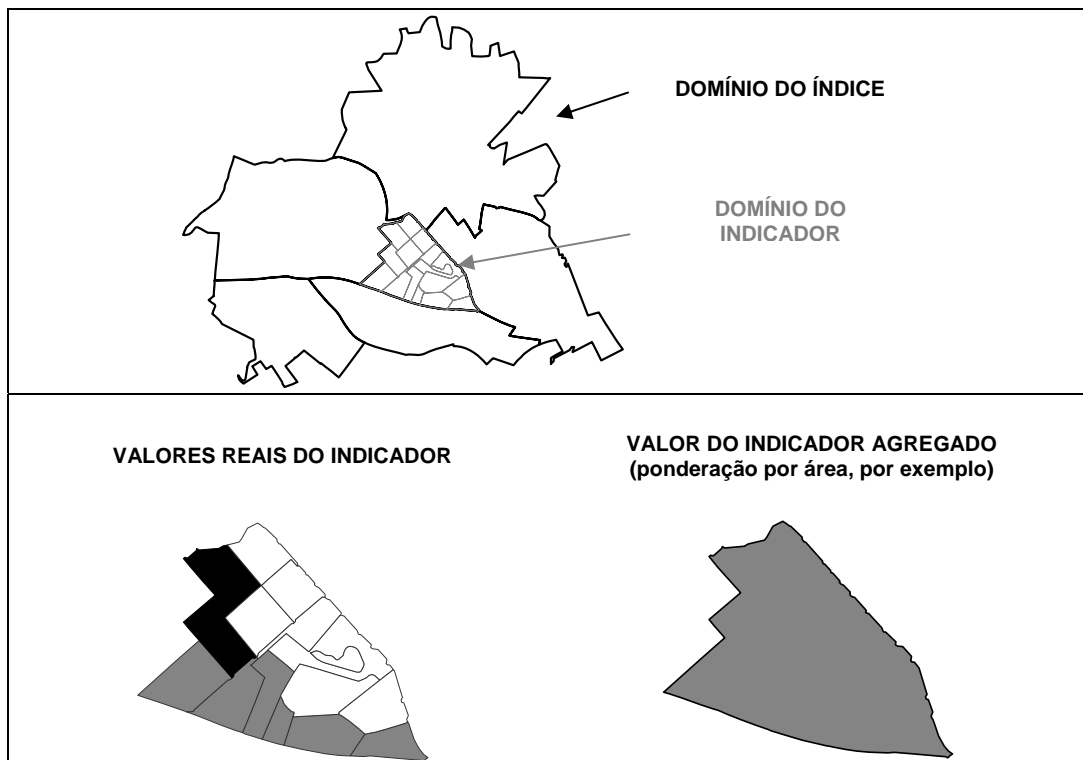


Figura 4.3 – O indicador, cujo domínio é inferior ao do índice, deve ser agregado

Além do domínio, a escala e a formulação também afetam diretamente os indicadores. Como cada um pode ter naturezas e unidades distintas, é necessário que eles sejam normalizados, convertidos a uma escala comum, para que possam ser operados, segundo a formulação. A amplitude da escala após o cálculo não deve extrapolar a escala do índice.

Existem diversas formas de normalização, tais como as que utilizam funções (lineares, não lineares, monótonas) ou como as que se relacionam diretamente a variáveis (valor numérico, distância relativa), entre outras. Exemplos de algumas metodologias são apresentados a seguir.

4.1.1. Normalização linear por distância

Neste tipo de normalização, em primeiro lugar, deve-se determinar os valores mais e menos favoráveis que o indicador pode assumir, que não necessariamente correspondem aos seus valores máximo e mínimo. Assume-se que entre estes valores extremos, a relação entre a escala real e a escala associada é linear. Calcula-se, então, quão distante o valor atual está do valor ótimo, segundo a Eq. (4.1) abaixo.

$$Z' = \frac{Z_+ - Z_{\text{atual}}}{Z_+ - Z_-} \quad \text{OU} \quad Z' = \frac{Z_+ - Z_{\text{atual}}}{Z_+ - Z_-} \times A \quad \text{Eq. (4.1)}$$

Onde:

Z_+ : valor mais favorável que o indicador pode assumir

Z_- : valor menos favorável que o indicador pode assumir

Z_{atual} : valor atual do indicador

Z' : novo valor atribuído ao indicador após a conversão

A : amplitude da escala associada

Pode-se observar que, na primeira alternativa, o valor de Z' varia entre zero (quando $Z_{\text{atual}}=Z_+$) e um (quando $Z_{\text{atual}}=Z_-$). No segundo caso, esta amplitude é ajustada, multiplicando-se a equação por A , para que varie entre zero e A . Este tipo de normalização pode ser utilizado quando pouco se sabe sobre o efeito particular do indicador sobre o índice, uma vez que a inferência de relações não-lineares exigiria a determinação de outros limites, além dos valores mais e menos favoráveis do indicador.

4.1.2. Normalização por intervalos ou classes

Neste caso, valores limite ao longo da escala real do indicador são associados à escala desejada, de forma que entre estes limites a normalização seja feita a partir de uma função específica (por exemplo, constante ou linear). O uso deste tipo de normalização é conveniente quando se conhece suficientemente o comportamento do indicador sobre o índice e/ou quando a normalização linear não se aplica. A Tabela 4.1 exemplifica este tipo de normalização. A Figura 4.4 e a Figura 4.5 apresentam duas possibilidades de interpolação entre os valores limites.

Tabela 4.1 – Exemplo de normalização por classes

Valores Atuais	1000	1200	1350	1567	1708	1800	1850	1880	1924	1977	2018
Valores Atribuídos	0	5	15	30	40	50	60	70	80	90	100

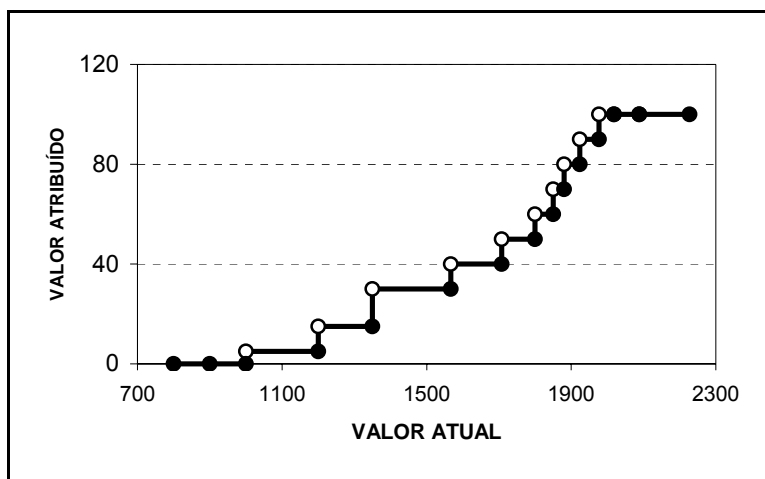


Figura 4.4 – Interpolação com função constante

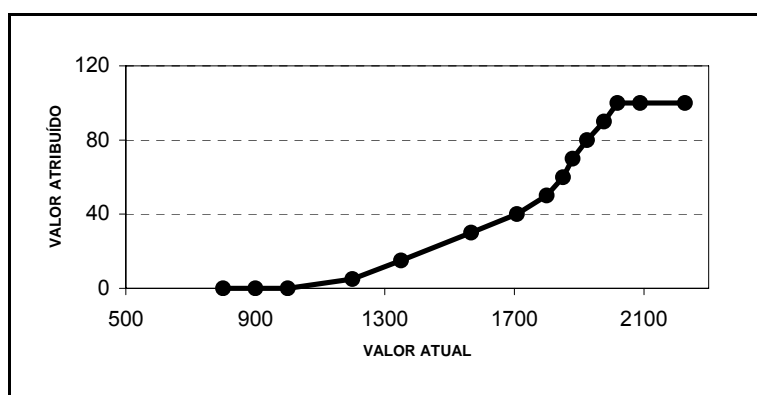


Figura 4.5 – Interpolação com função linear

4.1.3. Normalização por função

Outra possibilidade é a definição de funções empíricas de normalização, específicas para cada indicador, cuja escala de variabilidade estará restrita aos limites da função. Esta opção exige amplo conhecimento sobre o comportamento do indicador, o que costuma restringir seu uso. A Eq. (4.2) e a Figura 4.6 exemplificam esta alternativa.

$$Z' = \begin{cases} 19, & \text{se } Z_{\text{atual}} < 900 \\ -0.0003 \cdot Z_{\text{atual}}^2 + 0.8642 \cdot Z_{\text{atual}} - 544.61, & \text{se } 1000 \leq Z_{\text{atual}} \leq 1900 \\ 7, & \text{se } Z_{\text{atual}} > 1900 \end{cases} \quad \text{Eq. (4.2)}$$

Onde:

Z_{atual} : valor atual do indicador

Z' : novo valor atribuído ao indicador após a conversão

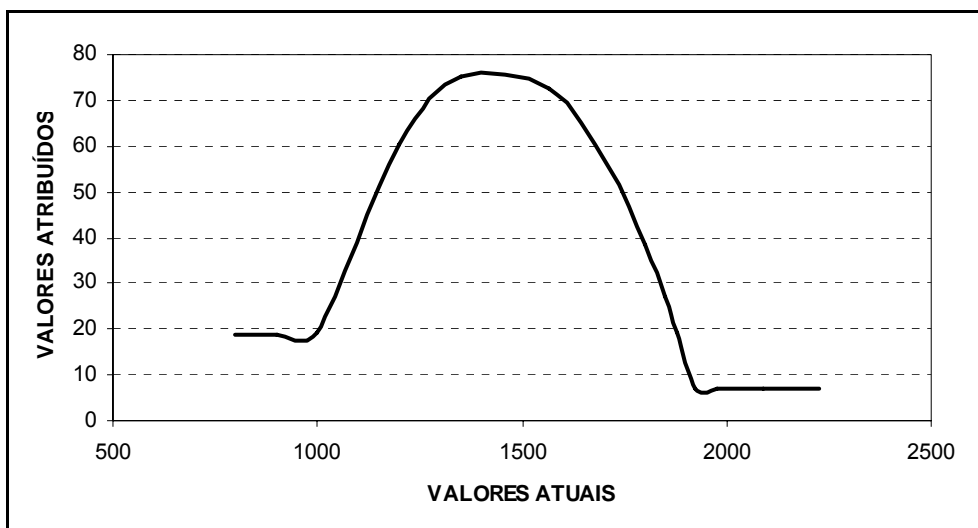


Figura 4.6 – Exemplo de função de normalização empírica

Neste exemplo, pode-se notar que: $7 \leq Z' \leq 77,75$ (valor do vértice), que é a mesma escala de variação da função.

4.2. Exemplos de Índices

São apresentados a seguir exemplos de três índices elaborados para a avaliação de distintos aspectos: vulnerabilidade ambiental, desenvolvimento humano e qualidade da água. Em cada um dos casos, pretende-se observar como são determinadas as características do índice, em função do seu interesse, e quais as propriedades mais relevantes na escolha de indicadores.

4.2.1. Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)

Este índice, cuja estrutura atual estabeleceu-se no ano de 2004, foi desenvolvido pela Comissão de Geociências Aplicada do Pacífico Sul (SOPAC) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e seus parceiros. Sua elaboração dependeu da contribuição de instituições e especialistas de todo o mundo. Sendo utilizado junto a outros índices de vulnerabilidade econômica e social, ele tem por objetivo fornecer um panorama geral sobre os processos que influenciam negativamente no desenvolvimento sustentável de países.

Para o seu cálculo, são avaliados cinquenta indicadores de natureza heterogênea, que vão desde velocidade do vento à ocorrência de erupções vulcânicas e tamanho do

território. Todos os indicadores são associados a uma escala de vulnerabilidade que varia de um a sete (sendo sete correspondente à máxima vulnerabilidade), através de uma normalização por intervalos. A Figura 4.7 mostra um exemplo de escala de normalização usado para o indicador “território” (Km²). O valor final do índice é dado pela média aritmética dos valores dos indicadores, conforme mostra a Eq. (4.3). Também são calculados três sub-índices, através do agrupamento de alguns indicadores, que refletem características específicas da vulnerabilidade: exposição à perigos, resiliência ou resistência ao perigo e vulnerabilidade adquirida, de acordo com estimativas de danos.

A princípio, o índice é de aplicabilidade global (pode ser calculado para diferentes países), mas acredita-se que ele seja suficientemente flexível para uso em domínios menores, desde que haja disponibilidade de dados.

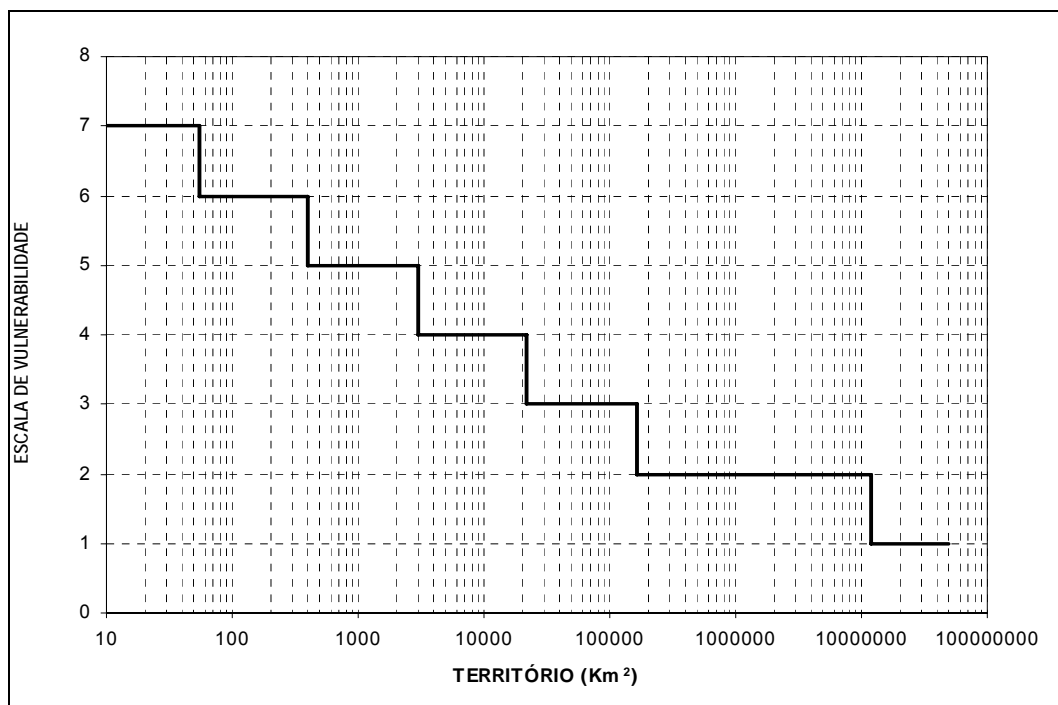


Figura 4.7 – Normalização do indicador “território” para o cálculo do índice

$$IVA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Z_i \quad \text{Eq. (4.3)}$$

Onde:

IVA: Índice de Vulnerabilidade Ambiental, variável entre 1 e 7

Z_i: i-ésimo indicador, após normalização

n: número de indicadores que compõe o IVA, igual a 50

4.2.2. Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)

O IDH visa ser uma medida geral do desenvolvimento humano, permitindo comparação entre países. Ele parte do princípio que o avanço das populações, no que se refere à qualidade de vida, é resultado não só de características econômicas, mas também sociais, culturais, e políticas.

Por isso, o índice é composto de três sub-índices que avaliam o desenvolvimento humano sob a ótica da economia, longevidade e educação. Para aferir o sub-índice de longevidade, o indicador utilizado é a expectativa de vida ao nascer. O sub-índice educação é dado pela média ponderada da taxa de analfabetismo (com maior peso) e da taxa de matrícula em todos os níveis de ensino. Por fim, a avaliação econômica do desenvolvimento é mensurada através PIB per capita, em dólar PPC (paridade do poder de compra), que elimina as diferenças de custo de vida entre os países.

A expectativa de vida e o PIB per capita são uniformizados através de normalização linear métrica, para que variem entre zero e um. Assim, valores máximos e mínimos admissíveis para estes indicadores devem ser determinados previamente ao cálculo do índice. Esta é a principal razão pela qual o IDH não pode ser aplicado a regiões menores, já que estes valores extremos apresentam grande variabilidade entre níveis de domínio. Ou seja, valores máximos e mínimos de um país podem apresentar grande diferença em relação aos de municípios. Tanto a taxa de matrícula quando o índice de analfabetismo dispensam normalização, já que suas escalas, variáveis entre 0 e 100%, são naturalmente adequadas ao cálculo. As três dimensões de desenvolvimento têm a mesma importância no índice final, que varia de zero (menor desenvolvimento) a um. A fórmula de cálculo do índice é apresentada na Eq. (4.4).

$$IDH = \frac{EV + (0,67 \cdot TAA + 0,33 \cdot TM) + PIB}{3} \quad \text{Eq. (4.4)}$$

Onde:

IDH: Índice de Desenvolvimento Humano, variável entre 0 e 1

EV: expectativa de vida normalizada

TAA: taxa de analfabetismo adulto

TM: taxa de matrícula

PIB: produto interno bruto per capita normalizado

4.2.3. Índice de Qualidade da Água (IQA)

O Índice de Qualidade da Água foi criado pela National Sanitation Foundation dos Estados Unidos na década de 70 e hoje é usado, com pequenas modificações pela CETESB. Ele objetiva avaliar a qualidade da água destinada ao abastecimento público com base em nove indicadores heterogêneos: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

A formulação utilizada no cálculo deste índice é um produtório ponderado, conforme apresenta a Eq. (4.5). Para que possam ser operados, cada um dos nove parâmetros são normalizados de acordo com diferentes funções, ou “curva média de variação de qualidade”, estabelecidas por especialistas. Estas curvas permitem converter a escala de cada indicador à escala do índice final, variável de zero a cem. Um exemplo de curva média de variação, usada para a normalização do indicador oxigênio dissolvido é apresentado na Figura 4.8. Além disso, são associados pesos aos indicadores, atribuídos em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad \text{Eq. (4.5)}$$

$$\text{tal que, } \sum_{i=1}^9 w_i = 1 \quad \text{Eq. (4.6)}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, variável entre 0 e 100;

q_i : i-ésimo parâmetro, após normalização

w_i : peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, variável entre 0 e 1

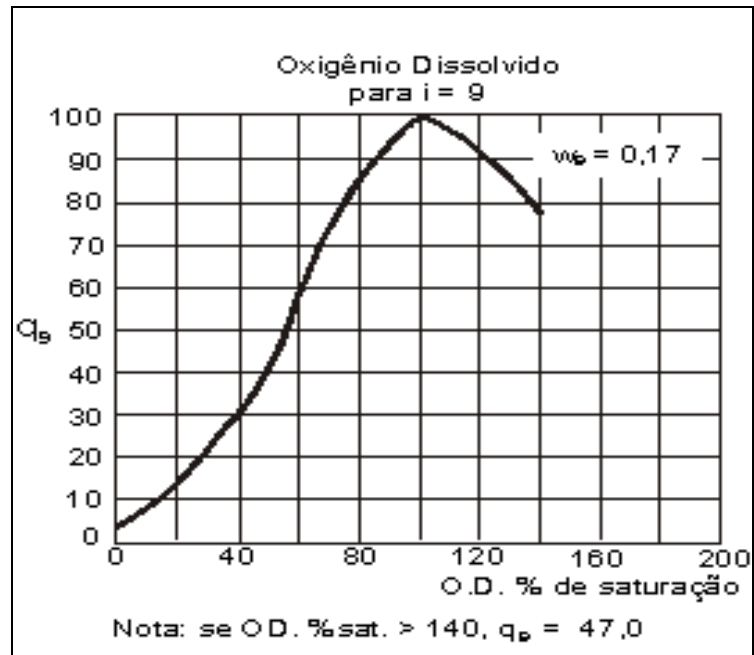


Figura 4.8 – Exemplo de curva média de variação para o indicador OD

Como todos os parâmetros do índice variam ponto a ponto no rio, pode-se assumir que seu domínio seja local ou, no máximo, regional, restringindo-se a trechos de rio relativamente homogêneos.

5. SIG COMO FERRAMENTA DE SUPORTE À DECISÃO

Mapas formam o núcleo dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), constituindo tanto sua matéria-prima quanto o produto final de projetos. Para compreender as potencialidades de um SIG é indispensável o conhecimento de conceitos básicos de cartografia. No entanto, os SIGs expandem a aplicabilidade da cartografia, uma vez que aliam mapas à tecnologia da informação, transferindo o controle do processo de mapeamento do cartógrafo para o usuário.

Esta ferramenta vem se tornando cada vez mais acessível devido aos avanços tecnológicos, facilidades em aquisição, armazenamento e processamento de dados, além das conveniências de intercâmbio de informações através da Internet. Tais comodidades incentivam o uso da ferramenta inclusive por não-especialistas, motivados ainda por interfaces cada vez mais amigáveis.

SIGs podem ser definidos como um sistema integrado de componentes: informações sobre o mundo real, previamente obtidas e integradas em um banco de dados digital, contendo elementos espaciais e não-espaciais, que, em conjunto com um *software* especializado, *hardware* adequado e o julgamento do usuário ou analista, é capaz de produzir soluções espaciais para problemas em áreas diversas (MAANTAY e ZIEGLER, 2006). A Figura 5.1 ilustra esta definição. Salienta-se, desta forma, que o SIG depende não só de dados, mas também dos objetivos e decisões tomadas pelo usuário.

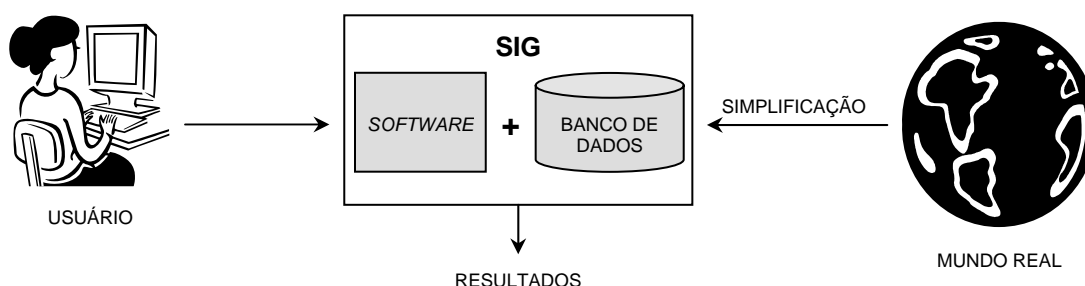


Figura 5.1 – Componentes do SIG (Fonte: Adaptado de MAANTAY e ZIEGLER, 2006)

Sendo assim, SIGs contém dois tipos de informações: espaciais, que são elementos cuja posição geográfica é conhecida; e não-espaciais, também chamadas atributos, que são informações relacionadas a estes elementos geográficos. Através do uso de operadores lógicos, o usuário pode realizar análises e consultas (*queries*) neste banco de dados, de acordo com critérios de interesse. No caso dos elementos espaciais, a pesquisa é desempenhada com base na topologia dos objetos, que descreve a

posição relativa entre eles. Ou seja, se o objeto é adjacente, está ligado, contido ou é contido por outro objeto.

As informações disponíveis na forma de dados geográficos digitais são organizadas em categorias e cada categoria é representada por uma camada (*layer*). Cada camada, por sua vez, é constituída por um conjunto de informações espaciais e atributos, que permanecem armazenados no banco de dados e disponíveis para serem selecionados e invocados nos mapas visíveis, de acordo com a demanda. O usuário pode então sobrepor diferentes combinações de camadas, em função de seu interesse ou objetivo, produzindo um mapa composto (MAANTAY e ZIEGLER, 2006). A Figura 5.2 ilustra a estrutura de camadas dos SIGs.

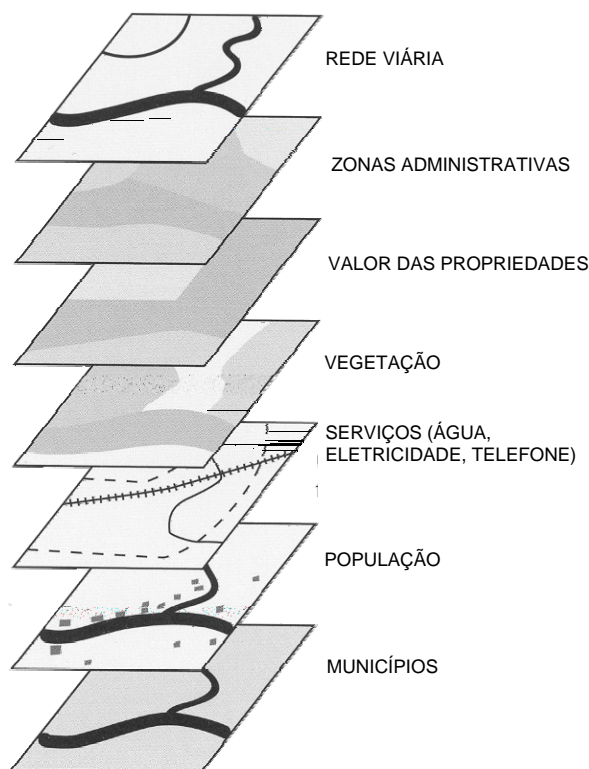


Figura 5.2 – Conceito de estruturação de informações por camadas (Fonte: Adaptado de MAANTAY e ZIEGLER, 2006)

5.1. Etapas da Construção de um SIG

De acordo com MAANTAY e ZIEGLER (2006), o processo de construção de um SIG envolve as seguintes etapas:

1. Aquisição de dados: dados são coletados em distintas fontes, podendo ser primários ou secundários. Em geral, é realizada uma análise prévia para determinar exatamente quais dados serão necessários.

2. Armazenamento e recuperação de dados: envolve introduzir os dados em formato digital em um computador dotado do *hardware* apropriado, de forma a torná-los acessíveis e funcionais, armazenando todos os bancos de dados relevantes em um único sistema.
3. Gerenciamento do banco de dados: inclui funções tais como formatação de dados, construção de relações, manutenção, atualização e edição do banco de dados, de maneira a conservá-lo atual e livre de erros.
4. Processamento de dados: criação de dados estruturados, para que as relações entre os diversos elementos geográficos possam ser reconhecidas.
5. Exibição e interação entre dados: a capacidade de exibir, alterar e expor dados de diferentes maneiras auxilia sua utilização eficiente.
6. Análise de dados espaciais: esta talvez seja a principal etapa do SIG, através da qual seu potencial como ferramenta de suporte à decisão pode ser explorado ao máximo. Ela se refere a aplicação de consultas complexas envolvendo dados geográficos e aplicação de modelos que simulam o comportamento de processos geográficos.
7. Síntese e apresentação de dados: se refere ao produto final de um projeto de SIG. É onde mapas são criados com o objetivo de visualizar e efetivamente comunicar os dados e informações obtidos para um público mais abrangente, fornecendo suporte ao planejamento de tomada de decisão.

5.2. SIG e Planejamento Urbano

No meio urbano, observa-se grande interação entre os sistemas de transporte, infraestrutura, saneamento, telecomunicações, entre outros. Por isso, a capacidade de SIGs de gerenciar simultaneamente informações sobre diversos aspectos relacionadas a uma mesma área, tem um papel fundamental no planejamento urbano. Além disso, a facilidade do SIG em comunicar e exibir estas informações de forma visual, podendo ser compreendido até mesmo pelo público leigo, torna esta ferramenta indispensável em processos de tomada de decisão que envolvem participação pública.

A tarefa de planejamento urbano está relacionada à previsão de oportunidades e problemas futuros, determinados em função de condições presentes e passadas e considerando diferentes cenários. Logo, ela requer amplo conhecimento não só acerca do espaço físico, mas também sobre o panorama social, político, ambiental, cultural e

econômico relacionados a ele, que podem ser representados, individualmente, através de mapas temáticos. Os mapas tradicionais não atendem a demanda dos gestores urbanos, que precisam enxergar simultaneamente a interação entre estes vários aspectos.

A grande aceitação e popularidades dos SIGs se deve à sua versatilidade, uma vez que permitem combinar, analisar e visualizar vários tipos de informações que descrevem uma mesma área. O dinamismo desta ferramenta também torna possível o acompanhamento e controle do espaço urbano em tempo real, através da constante atualização dos mapas e informações contidas no banco de dados.

A disseminação de informações de domínio público também vem ganhando destaque, devido, principalmente, ao uso da Internet. Esta atribuição dos SIGs é ainda mais significativa quando há envolvimento ou influência das comunidades sobre o processo de tomada de decisão (MAANTAY e ZIEGLER, 2006). A Agência de Meio Ambiente britânica, por exemplo, disponibiliza em seu *site* informações quanto à qualidade da água dos rios, bem como sobre a propensão à inundação, em todo seu território, a partir do código postal introduzido pelo usuário. O Projeto Brasil das Águas também disponibiliza os resultados de suas pesquisas sobre qualidade de água no território brasileiro, através de um SIG na Internet. A Figura 5.3 e a Figura 5.4 abaixo ilustram estes exemplos.

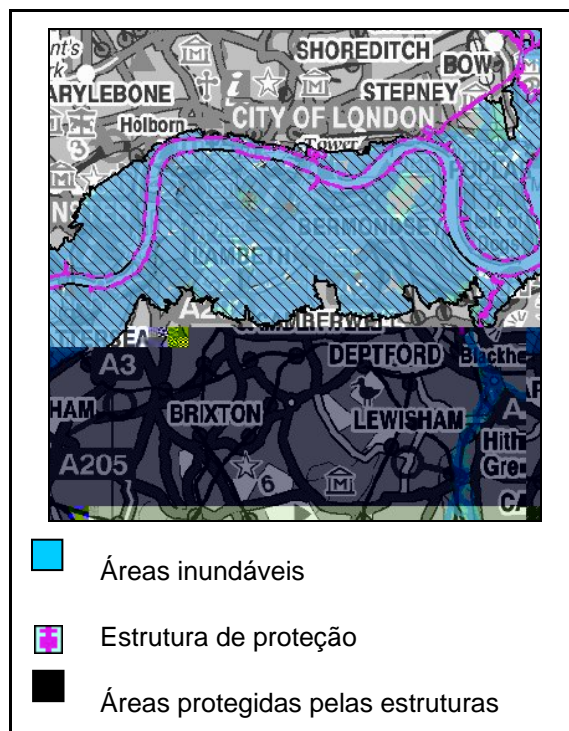


Figura 5.3 – Exemplo de SIG para áreas inundáveis no Reino Unido



Figura 5.4 – Exemplo de SIG interativo do Projeto Brasil das Águas

5.3. Suporte à Decisão Multi-Critério Espacial

A aplicação de metodologias multi-critério tradicionais não é adequada para a avaliação de problemas nos quais as propriedades e indicadores que os caracterizam variam espacialmente. Nestes casos, as técnicas clássicas usam valores médios ou totais para a região em questão, produzindo resultados que nem sempre são representativos (TKACH e SIMONOVIC, 1997).

Considerando que cerca de 80% das informações utilizadas por tomadores de decisão está relacionada geograficamente, o uso de SIGs pode proporcionar a geração de mais e melhores informações, nas quais se baseiam a tomada de decisão. Em especial, no caso de análises multi-critério, SIGs podem ser usados para desenvolver e avaliar alternativas, facilitando a determinação da solução de compromisso (YALCIN e AKYUREK, 2004).

De acordo com ZAMBON (2005), apesar de SIGs e métodos de análise multi-critério constituírem disciplinas diferentes, não há dúvida de que sua associação beneficia o processo decisório. Esta combinação já vem sendo utilizada e é chamada de tomada/apoio à decisão multi-critério espacial (SMCDM/A: *Spatial Multicriteria Decision Making/Aid*). Através desta integração, procura-se ressaltar os fatores de interesse para o decisor, para que eles possam ser avaliados de maneira mais eficiente e permitindo que se tomem decisões mais precisas e em menor tempo (YALCIN e AKYUREK, 2004).

Técnicas de SMCD têm especial importância para decisões envolvendo aspectos ambientais, que necessariamente exigem análise de informações espaciais. (TKACH e SIMONOVIC, 1997, YALCIN e AKYUREK, 2004). Em particular, na área de recursos hídricos, a utilização desta metodologia apresenta grande vantagem para simulação de complicados fenômenos hidrológicos e hidráulicos e seu impacto sobre o meio, bem como para a avaliação de risco (MESSNER e MEYER, 2005). Ela facilita não só a análise de cenários para previsão de desastres naturais, mas também permite avaliar e estimar os danos e perdas devido a sua ocorrência.

Há basicamente três processos em que SIGs podem auxiliar a tomada de decisão: pré-processamento e preparação de dados (por exemplo, criando bancos de dados espaciais); uso direto das ferramentas de análise espacial para avaliação dos dados (para calibração, talvez); e pós-processamento dos dados e resultados (elaboração de mapas de risco de cheia).

Impactos produzidos por inundações são espacialmente variados e sua distribuição é função inclusive de características e particularidades locais, que devem ser levadas em consideração. SIGs permitem, por exemplo, combinar mapas de alagamento e de potencial de danos para estimar a quantidade de bens, pessoas e propriedades atingidos. Por ser uma ferramenta dinâmica, ela também permite a avaliação de risco de cheia em tempo real, auxiliando no seu monitoramento e diminuindo o tempo de resposta, em casos de emergência. A elaboração de mapas de risco de inundação também permite representar claramente a variabilidade espacial do problema.

6. METODOLOGIA

Atualmente, a determinação de áreas de risco de inundação é realizada de forma subjetiva e até intuitiva sendo o próprio conceito de risco interpretado de maneiras variadas. Conforme explicado no Capítulo 2, o conceito adotado neste estudo estabelece que o risco é constituído por duas componentes; uma que se refere à probabilidade de ocorrência de um evento e outra relativa às suas conseqüências. Também foi considerado que as conseqüências resultam da combinação entre exposição e vulnerabilidade e que algumas possíveis conseqüências das inundações incluem prejuízos econômicos, ambientais e ecológicos, danos à propriedade e a indivíduos (fatalidades, enfermidades, estresse, etc.).

Embora esta definição tenha grande aceitação no campo da engenharia, a análise de risco, muitas vezes, leva em conta somente a altura da cheia ou a população atingida, por exemplo, deixando de lado outros vários aspectos que sabidamente afetam a criticidade do problema de inundação. Nestas avaliações também não se costuma fazer distinção quanto à importância relativa de cada fator. Além disso, tradicionalmente, a avaliação de risco resulta na simples identificação de zonas críticas (presença/ausência), não sendo possível compará-las ou estimar o impacto de distintas alternativas para gestão do problema.

Os gestores, por sua vez, não dispõem de uma metodologia que permita solucionar estes obstáculos e que padronize a execução da análise. Assim, terminam por desempenhá-la de acordo com seu julgamento particular, com base em informações técnicas disponíveis, em seu conhecimento e experiência. Isso, portanto, inviabiliza qualquer tentativa de justificar ou repetir a análise.

O Índice de Risco de Cheia (IRC) constitui uma metodologia multi-critério, que visa resolver alguns desses inconvenientes, identificados no processo de análise de risco. Em princípio, deseja-se ter à disposição uma ferramenta de suporte à decisão que permita: comparação quantitativa entre zonas críticas (avaliação espacial), útil na hierarquização de obras e na justificativa de alocação de investimentos públicos, por exemplo; e comparação quantitativa de soluções ou cenários para uma mesma região (avaliação temporal), que viabilize, por exemplo, estimativas do impacto do desenvolvimento da bacia de inundação ou auxilie na elaboração de plano diretor de drenagem.

A adoção de uma metodologia homogênea para a avaliação do risco favorece a verificação e validação dos resultados. Também admite que diferentes gestores

empreguem a ferramenta em regiões distintas, baseados em um método uniforme. Isso torna o processo de análise mais objetivo eliminando as discrepâncias decorrentes de percepções particulares.

Para que esteja em concordância com a definição de risco estabelecida, esta análise deve considerar tanto a probabilidade de ocorrência dos eventos de cheia, quanto as suas conseqüências (pelo menos, as mais relevantes). Para isso, fatores que influenciam na exposição e vulnerabilidade ao risco devem ser considerados, pois sua interação afeta diretamente a estimativa das conseqüências.

Diferentemente das abordagens tradicionais, que costumam restringir-se aos danos tangíveis – que podem ser valorados em unidades monetárias – o IRC pretende incluir também os danos intangíveis. Esta é a principal razão pela qual o resultado quantitativo do índice não será dado em unidades monetárias, uma vez que não há consenso nem aceitabilidade para valorar economicamente certos danos intangíveis.

A avaliação de vários fatores supõe a inclusão, no índice, de aspectos de naturezas e unidades diversas. Isso exige não só a determinação de sua interrelação, representada por uma equação matemática adequada, mas também o emprego de normalização, para que eles possam ser operados em uma escala comum. Finalmente, para melhor simular o julgamento subjetivo do gestor sobre o risco, cada um destes aspectos deve ter relevância diferenciada, representada pela associação de pesos a cada um dos aspectos.

Algumas restrições para a elaboração do índice envolvem a utilização de informações facilmente disponíveis e cálculos simples, tendo como conseqüência baixo custo de aplicação e maior aceitabilidade. Também é desejável que os resultados sejam apresentados de maneira inteligível, facilitando sua compreensão inclusive pelo público não especializado. Neste sentido, o uso de um SIG é bastante conveniente, dado que o índice será composto de variáveis relacionadas geograficamente, isto é, associadas a um ponto no espaço. Isso também vale para o resultado final, que pode ser representado através de um mapa de risco, que exponha a distribuição espacial do IRC.

As propriedades específicas do Índice de Risco de Cheia serão detalhadas nos itens a seguir. Apesar de algumas serem apresentadas separadamente, há que se notar sua forte relação ou mesmo interdependência.

6.1. Formulação e Escala do IRC

A formulação de um índice é dada pela equação matemática que traduz as relações entre os indicadores que o compõe. Ela resulta em uma estimativa quantitativa sobre o aspecto que se deseja medir. No caso do risco de inundação, portanto, a formulação deve ser reflexo da interação entre probabilidade de ocorrência de um evento perigoso – a chuva – e suas conseqüências estimadas.

Conforme explicado no Capítulo 2, a componente da probabilidade está associada ao tempo de recorrência de uma chuva que pode dar origem à inundação. Uma chuva de tempo de recorrência determinado se refere a uma altura máxima de chuva em um dado tempo. Esta precipitação, por sua vez, pode ser usada como dado de entrada em modelos de simulação, juntamente com características locais que influenciam a drenagem e escoamento da água da chuva, na determinação quantitativa de uma possível inundação. Os modelos costumam fornecer, como resultado, propriedades específicas da inundação, tais como lâmina de alagamento, área inundada, permanência, vazões e campo de velocidades. Assim, de maneira indireta, todas estas propriedades estão relacionadas a um tempo de recorrência específico, a uma probabilidade. Se a magnitude da chuva utilizada como dado de entrada é alterada (estando a ela associado outro tempo de recorrência), as propriedades da possível inundação resultante também serão modificadas.

A determinação da componente relativa às conseqüências não é tão objetiva. De acordo com o conceito estabelecido, ela deve ser função da exposição e da vulnerabilidade das pessoas e bens, passíveis de serem afetados pela inundação. Diferentemente da componente anterior, não há consenso quanto a quais, exatamente, são os indicadores adequados para medir estes aspectos, mas os comumente utilizados são a densidade populacional, número e tipo de propriedades, valor dos bens, sistemas de infra-estrutura, qualidade da água da inundação, entre outros.

É muito importante notar que o risco depende diretamente da relação entre estas duas componentes. Se alguma delas for nula ou negligenciável, por exemplo, não haverá risco. Na prática, isso quer dizer que, se não há inundação ou se todas as suas propriedades são desprezíveis, ela não provoca risco, independente dos fatores relacionados às conseqüências. Igualmente, a ocorrência de uma inundação de proporções consideráveis em uma zona desabitada, onde tampouco há bens de valores significativos (nada ou ninguém que possa ser afetado), não constitui risco.

O oposto também se verifica. Como as duas componentes do risco são funções de diversos fatores, a presença de pelo menos um deles (em cada componente) resulta na existência de risco. Por exemplo, se a inundação ocorre em uma zona desabitada, onde se localiza, porém, alguma indústria de alto valor agregado o risco não poderá ser desprezado. Ou ainda, mesmo que a lâmina de alagamento ou outros fatores ligados às propriedades da inundação não sejam relevantes, se a velocidade da água for significativa, capaz de arrastar pessoas e provocar danos, o risco não deverá ser negligenciado.

A formulação do IRC deve necessariamente levar em conta estas situações, traduzindo-as matematicamente. Por outro lado, não é recomendável que ela seja complexa ou que exija conhecimentos avançados, de modo a permitir sua utilização irrestrita por pessoas não especializadas.

Além disso, conforme mencionado na seção anterior, cada um dos fatores envolvidos no índice dever ter pesos associados, para que sua importância relativa esteja representada. Deste modo, a equação deve, necessariamente, ser ponderada.

Como foi mencionado no Capítulo 4, para que seja possível operar indicadores de naturezas e unidades variadas eles devem ser previamente normalizados, convertendo-os a uma escala comum. Para maior clareza e inteligibilidade, fica estabelecido que a escala do IRC varie entre 0 e 100, representando o risco mínimo e máximo, respectivamente. Assim sendo, de acordo com a formulação estabelecida à seguir, todos os indicadores deverão ser convertidos a essa mesma escala de variação. A forma de normalização específica para cada um deles será esclarecida mais adiante, neste capítulo.

Com base na observação de outros índices compostos e de formulação simples, nota-se que as mais comumente usadas são o somatório (IVA e IDH, apresentados no Capítulo 4) e o produtório (IQA, também apresentado no Capítulo 4).

Se, para o IRC, fosse utilizado o somatório, o risco só poderia ser nulo se todos os fatores da soma fossem nulos. No entanto, como foi explicado, basta que uma das componentes do risco seja nula para que não exista risco.

Já o uso do produtório, apresentaria o problema inverso: se qualquer um dos fatores fosse zero, o risco seria zero, o que tampouco é real. Isso levaria a situação em que a ausência de densidade populacional implicaria em risco nulo, independente das

proporções da cheia ou da existência de propriedades de alto valor agregado, passíveis de serem afetadas pela inundação.

Em vista disso, propõe-se uma formulação ponderada mista, composta tanto por um somatório quanto por um produtório.

6.1.1. *Produtório ponderado:*

O produto ponderado representa a interação entre as duas componentes do risco: probabilidade de ocorrência (indiretamente associada às propriedades características da inundação) e conseqüências do evento. Portanto, se alguma delas for nula, o risco também será nulo. A ponderação permite determinar de forma quantitativa a influência particular de cada uma dessas componentes sobre o risco final.

Cada componente será chamada sub-índice. O IRC será, desta forma, composto de dois sub-índices, que representam as propriedades da inundação, associadas a uma probabilidade de ocorrência específica (PI) e as conseqüências (C), e cujo produto ponderado resulta no risco. Cada um deles tem efeito diferenciado sobre o risco final e, portanto, está associado a um peso (q_{PI} e q_C , respectivamente). Esta relação é representada na Eq. (6.1).

$$IRC = PI^{q_{PI}} \times C^{q_C} \quad \text{Eq. (6.1)}$$

Onde:

IRC: Índice de Risco de Cheia variável entre 0 (menor risco) e 100 (maior risco);

PI: sub-índice variável entre 0 e 100, relativo às propriedades da inundação para uma chuva de tempo de recorrência determinado;

C: sub-índice relativo às conseqüências da cheia, variável entre 0 e 100;

q_{PI} , q_C : pesos correspondentes às propriedades da inundação e às conseqüências, respectivamente, atribuídos em função da importância do sub-índice para o risco final. Para que a escala de variabilidade seja respeitada, os pesos estão sujeitos às seguintes restrições apresentadas na Eq. (6.2) e na Eq. (6.3).

$$0 \leq q_{PI}, q_C \leq 1 \quad \text{Eq. (6.2)}$$

$$q_{PI} + q_C \leq 1 \quad \text{Eq. (6.3)}$$

6.1.2. Somatório ponderado:

O somatório ponderado descreve a relação entre os fatores que contribuem para cada uma das duas componentes (sub-índices). Sendo a componente relativa às conseqüências composta por indicadores diversos, cada um deles terá um impacto particular sobre as conseqüências totais, refletido através de seu peso. O mesmo vale para os indicadores que compõe o sub-índice de propriedades da inundação. Ademais, somente se todos os indicadores integrantes de um sub-índice forem nulos, ele também o será. Isto permite que o risco total não se anule caso alguns dos indicadores (mas não todos) sejam negligenciáveis.

Assim, cada um dos sub-índices (PI e C), é calculado a partir de um somatório ponderado de indicadores, previamente normalizados, entre 0 e 100, conforme mostra a Eq. (6.4) e a Eq. (6.5).

$$PI = \sum_{i=1}^n I_i^{PI} \cdot p_i^{PI} \quad \text{Eq. (6.4)}$$

e

$$C = \sum_{j=1}^m I_j^C \cdot p_j^C \quad \text{Eq. (6.5)}$$

Onde:

I_i^{PI} : i-ésimo indicador, previamente normalizado, que compõe o sub-índice PI, variável entre 0 e 100;

I_j^C : j-ésimo indicador, previamente normalizado, que compõe o sub-índice C, variável entre 0 e 100;

n: número total de indicadores que compõe o sub-índice PI;

m: número total de indicadores que compõe o sub-índice C;

p_i^{PI} : peso associado ao i-ésimo indicador do sub-índice PI, atribuído em função de sua importância relativa. Deve atender às restrições da Eq. (6.6) e da Eq. (6.7)

p_j^C : peso associado ao j-ésimo indicador do sub-índice C, atribuído em função de sua importância relativa. Deve atender às restrições da Eq. (6.6) e da Eq. (6.8).

$$0 \leq p_i^{PI}, p_j^C \leq 1 \quad \text{Eq. (6.6)}$$

$$\sum_{i=1}^n p_i^{PI} = 1 \quad \text{Eq. (6.7)}$$

$$\sum_{j=1}^m p_j^C = 1 \quad \text{Eq. (6.8)}$$

Combinando-se a Eq. (6.1) com a Eq. (6.4) e a Eq. (6.5), chega-se a formulação completa do IRC, descrita pela Eq. (6.9).

$$\text{IRC} = \underbrace{\left(\sum_{i=1}^n I_i^{PI} \cdot p_i^{PI} \right)}_{PI}^{q_{PI}} \times \underbrace{\left(\sum_{j=1}^m I_j^C \cdot p_j^C \right)}_C^{q_C} \quad \text{Eq. (6.9)}$$

6.2. Escolha dos Indicadores e Normalização

Os indicadores escolhidos devem caracterizar satisfatoriamente uma situação particular de risco, na medida em que refletem fatores que causam ou potencializam os danos decorrentes das inundações. Portanto, o primeiro estágio desta seleção é determinar quais danos são considerados imprescindíveis na determinação do risco. Em seguida, os indicadores representativos destes danos podem ser escolhidos, levando-se em conta, também, algumas restrições práticas.

Para a determinação dos danos mais significativos e que devem idealmente estar representados no IRC, foi utilizada como base a Tabela 2.1, que resume e classifica os principais danos causados por inundações. Os seguintes efeitos foram selecionados:

- Fatalidades
- Danos diretos e indiretos à saúde e integridade física de indivíduos
- Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo
- Perdas e danos a estoques de matéria prima e produtos acabados
- Lucros cessantes
- Custos de interrupção de serviços públicos e de infra-estrutura

Estes efeitos devem estar contemplados na escolha dos indicadores constituintes dos sub-índices do IRC. Conforme esclarecido no Capítulo 4, indicadores podem ser definidos como uma componente tangível de parte do sistema, capaz de estimar quantitativamente sua condição, compondo um modelo simples para medidas mais complexas. Neste caso, as “medidas mais complexas” são justamente os danos apontados como significativos.

Há que se considerar também que o IRC, para ser de fato aplicável e útil aos gestores, deve contemplar uma formulação simples, porém robusta, que inclua o mínimo número de indicadores capazes de caracterizar o risco. Além disso, deve ser realizado um levantamento prévio quanto à disponibilidade de dados. Instituições de pesquisas estatísticas e censitárias, além de órgãos governamentais podem prover informações úteis, públicas e de fácil acesso. Alguns exemplos são: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Secretarias de Transporte (SMTR/CET-Rio), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Sistema Único de Saúde (SUS), entre outros. Por fim, deve-se verificar se os dados possuem domínio de aplicação e precisão adequadas ao do índice.

Os indicadores estão divididos em dois grupos, de acordo com o sub-índice ao qual pertencem. Indicadores relativos às características da inundação, em geral, relacionados às causas dos danos mencionados e à sua probabilidade de ocorrência, compõem o sub-índice Propriedades de Inundação (PI). Indicadores que afetam a vulnerabilidade e a exposição, aumentando a gravidade ou propensão aos danos, são agrupados no sub-índice Conseqüências (C).

6.2.1. Sub-índice Propriedades da Inundação (PI)

6.2.1.1 COTA $\left(\begin{matrix} PI \\ Cot \end{matrix} \right)$

Quando se fala em inundação, a principal característica que costuma ser considerada é a altura de cheia (também chamada de cota, lâmina, ou profundidade de alagamento). Esta talvez seja realmente a mais importante propriedade da inundação e ganha destaque por ser mais visível, palpável e concreta. A Figura 6.1 a Figura 6.4,



Figura 6.1 – Inundação invadindo residências (Fonte: O Globo, 10/01/2007, Fotogaleria “Eu-Repórter – Chuva em Minas: ruas inundadas em Muriaé”)



Figura 6.2 – Perigo da inundação para indivíduos (Fonte: O Globo, 10/01/2007, Fotogaleria “Eu-Repórter – Chuva em Minas: ruas inundadas em Muriaé”)



Figura 6.3 – Marcas da inundação em parede de escola (Fonte: O Globo, 30/11/2006, Fotogaleria “Chuvvas em Nova Iguaçu”)



Figura 6.4 – Estragos da inundação no interior das residências (Fonte: O Globo, 28/11/2006, Fotogaleria "Eu-Repórter: Chuvas no Estado do Rio")

  a altura da inundação que determina se a água encher  as ruas, chegar  às calçadas ou se invadir  o interior das residências. Por isso, é comum que esta seja a variável mais freqüentemente considerada na avaliação do risco de inundação, sobretudo quando realizada de forma intuitiva, quando então, em geral, aparece de modo isolado.

A relação entre este parâmetro e os prejuízos causados pela inundação, principalmente no que se refere a danos tangíveis (tanto diretos quanto indiretos),   inquestionável. O estudo desta relação d  origem as chamadas curvas profundidade-dano (*depth-damage curves*). Estas curvas são produzidas com base em características locais, que permitem estimar as perdas econômicas decorrentes de danos às construções e seu conteúdo, perdas de estoque, interrupção de serviç os, etc. Elas podem ser construídas a partir de dados empíricos ou sint ticos.

Para a abordagem empírica   necessário um grande número de amostras, coletadas durante campanhas de campo, realizadas após a inundação. São verificadas as informações sobre a altura atingida pela inundação e o valor associado aos prejuízos. A curva profundidade-dano  , então, elaborada por regressão.

A construção da curva sint tica pode ser inferida a partir da sobreposição de mapas de inundação (elaborados para diferentes alturas de inundação) e de mapas de uso e ocupação do solo. Aos últimos, são associados valores em função do tipo de

propriedades e bens afetados. Assim, pode-se relacionar indiretamente a altura de inundação com o valor estimado dos prejuízos. Este método exige uma classificação adequada dos vários tipos de uso do solo e generalização apropriada quanto ao seu valor agregado.

Deste modo, os prejuízos são funções principalmente dos tipos de bens e classes de propriedades afetadas (se são domicílios ou indústrias, tipo de material de que são constituídos, seu conteúdo, etc.). A Figura 6.5 e a Figura 6.6 apresentam curvas profundidade-dano apresentadas em PENNING-ROWSELL *et al.* (2003) *apud* MESSNER *et al.* (2006) para o setor residencial, em função do tipo construção e da duração da inundação, respectivamente.

Nota-se que o formato das curvas é bastante similar em ambos casos. Assim, pode-se deduzir que este também será o comportamento da curva de normalização, que relaciona a altura de inundação e I_{Cot}^{PI} (variável de 0 a 100), conforme apresentado na Figura 6.7.

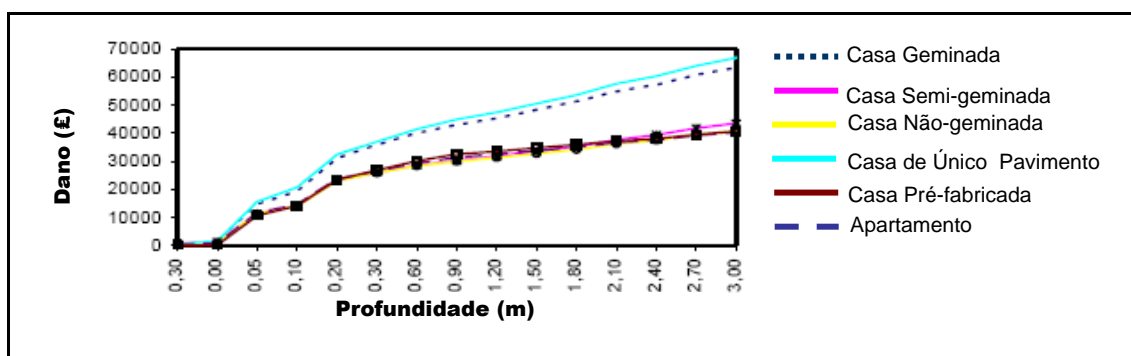


Figura 6.5 – Curva profundidade-dano para diferentes tipos de propriedades residenciais (Fonte: PENNING-ROWSELL *et al.*, 2003 *apud* MESSNER *et al.*, 2006)

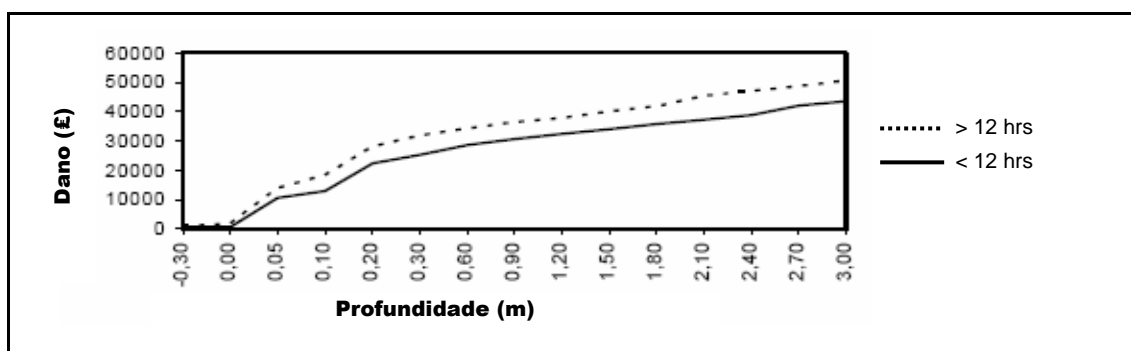


Figura 6.6 – Curva profundidade-dano para diferentes durações de inundação (Fonte: PENNING-ROWSELL *et al.*, 2003 *apud* MESSNER *et al.*, 2006)

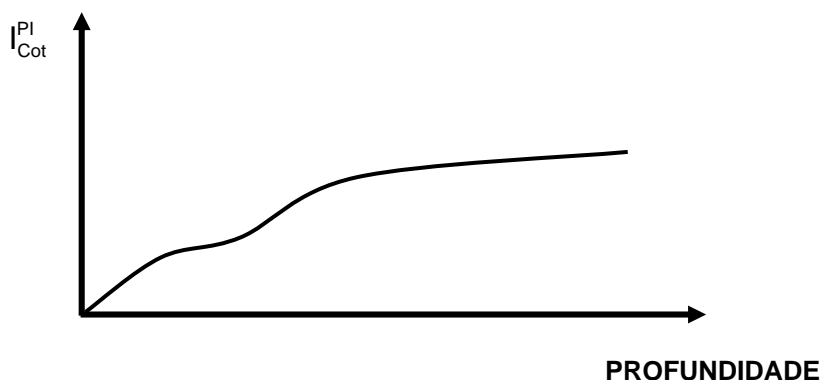


Figura 6.7 – Curva representativa da normalização da profundidade

A normalização da profundidade parte de um julgamento empírico acerca dos efeitos e danos provocados pelas inundações a diferentes profundidades. Esta não é uma relação linear, ou seja, a proporção entre o incremento de cota e o incremento dos danos não é constante. Por isso, optou-se pelo método de normalização por faixas, de acordo com alguns limites importantes observados durante a ocorrência de inundações. Entre estes limites, é aplicada interpolação linear. A Tabela 6.1 apresenta as faixas estabelecidas, ilustrados também na Figura 6.8. A Figura 6.9 mostra o gráfico que relaciona a cota de inundação com o valor normalizado do indicador I_{Cot}^{PI} .

Tabela 6.1 – Faixas de normalização da cota de inundação

COTA (cm)	I_{Cot}^{PI}	EFEITO
< 10	0	O meio-fio costuma ter aproximadamente 15cm de altura, de maneira que a 10cm a água está limitada às ruas.
50	35	Com 50cm a inundação inunda ruas, além de parques, calçadas, canteiros, quintais e estacionamentos. Pode interromper tráfego de veículos e principalmente de pessoas, podendo invadir casas mais simples, com soleiras próximas ao nível das calçadas.
70	65	A 70cm a água muito provavelmente já invadiu o interior de casas, causando danos a sua estrutura e conteúdo.
100	90	A esta altura a água atinge praticamente todos os bens no interior das casas.
> 150	100	Esta profundidade atinge não só bens, mas também é suficiente para causar afogamentos.

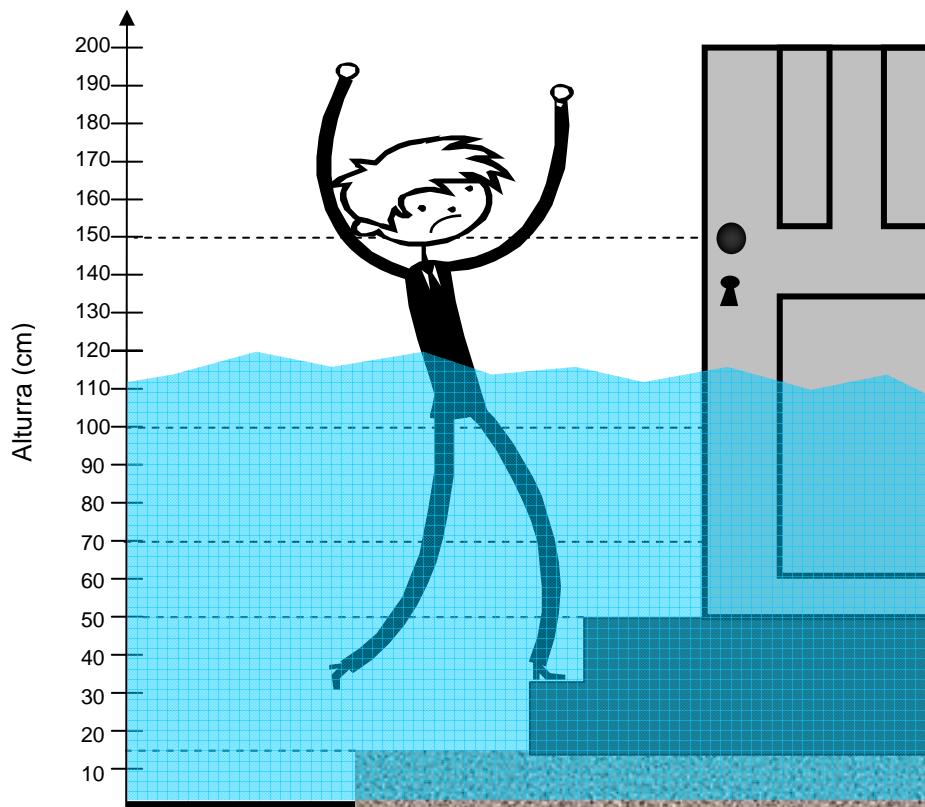


Figura 6.8 – Representação das faixas de normalização da profundidade

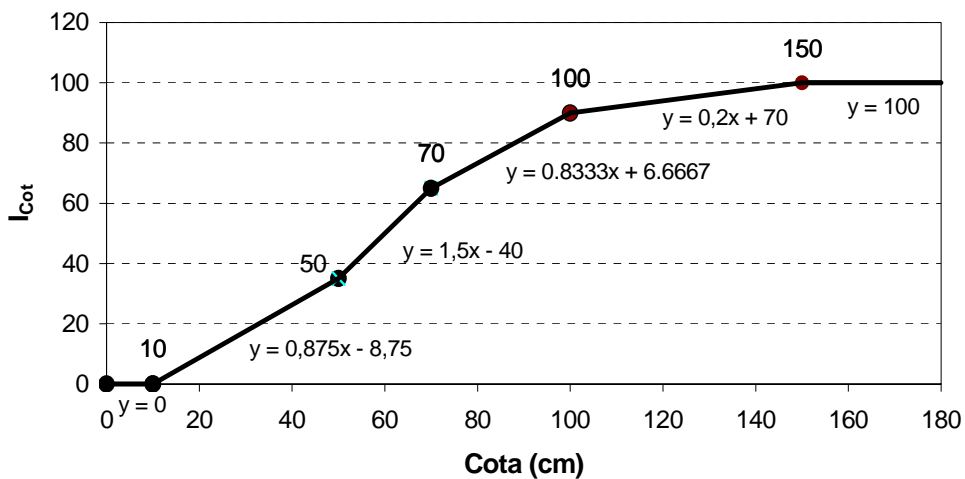


Figura 6.9 – Curva de normalização por faixas para I_{Cota}^{PI} , com interpolação linear entre limites ($y = I_{Cota}^{PI}$ e $x = Cota$ (cm))

A escala de normalização deriva de julgamentos subjetivos acerca dos efeitos causados pela altura de cheia e está, portanto, sujeita a pequenas variações de acordo com a opinião de especialistas. No entanto, este julgamento deve resultar em uma curva com forma semelhante àquela generalizada na Figura 6.7.

6.2.1.2 FATOR DE VELOCIDADE (I_{FV}^{PI})

Outro aspecto que também dá origem às perdas ocasionadas por enchentes é a força das águas. Águas fluindo com grande velocidade, turbulentas e com grande profundidade são capazes de provocar desde danos localizados a estruturas até o arraste de pessoas, carros e construções. Provocam, assim, altos prejuízos e são a principal causa de fatalidades. A Figura 6.10 e a Figura 6.11, exemplificam estas ações.



Figura 6.10 – Águas turbulentas (Fonte: O Globo, 28/11/2006, Fotogaleria “Eu-Repórter: Chuvas no Estado do Rio”)



Figura 6.11 – Carros arrastados pela força das águas (Fonte: O Globo, 28/11/2006, Fotogaleria “Eu-Repórter: Chuvas no Estado do Rio”)

Diferente da altura da cheia, que pode ser notada visualmente, a força da água não mobiliza tão facilmente a percepção do risco. No entanto, lâminas tão pequenas quanto 10 ou 20cm, mas fluindo com velocidades altas, podem desequilibrar uma pessoa. Quando o risco não é percebido a ousadia em desafiá-lo tende a ser maior, aumentando também a gravidade das conseqüências.

As forças hidrodinâmicas (exercidas pela água em movimento) capazes de provocar instabilidade e danificar estruturas, são resultado da interação entre altura e

velocidade da água. Portanto, para avaliar seu efeito sobre os danos é conveniente lançar mão da associação entre estas duas propriedades da inundação.

Há diversos estudos experimentais, incluindo DEFRA/EA (2003), KELMAN (2002) e RESCDAM (2000), que utilizam um “fator de velocidade” (FV), resultante do produto da cota de inundação pela velocidade, para determinar níveis de risco, em função dos prejuízos e danos causados. Este parâmetro é apresentado na Eq. (6.10).

$$FV = h \times v \quad \text{Eq. (6.10)}$$

Onde:

FV: Fator de Velocidade (m^2/s)

h: cota de inundação (m)

v: velocidade da água (m/s)

Estudos sobre o FV procuram determinar os limites de estabilidade para indivíduos e estruturas, sujeitos a diversas combinações de pares velocidade – cota. A Figura 6.12 mostra os resultados obtidos por BLACK (1975) para casas de diferentes materiais e número de pavimentos. A Figura 6.13 apresenta os resultados experimentais de RESCDAM (2003) para estabilidade e mobilidade de indivíduos. Neste gráfico são apresentadas curvas para as quais o valor de FV é constante e pode-se verificar que a perda de estabilidade ocorre para valores entre 0,5 e 1,5 m^2/s .

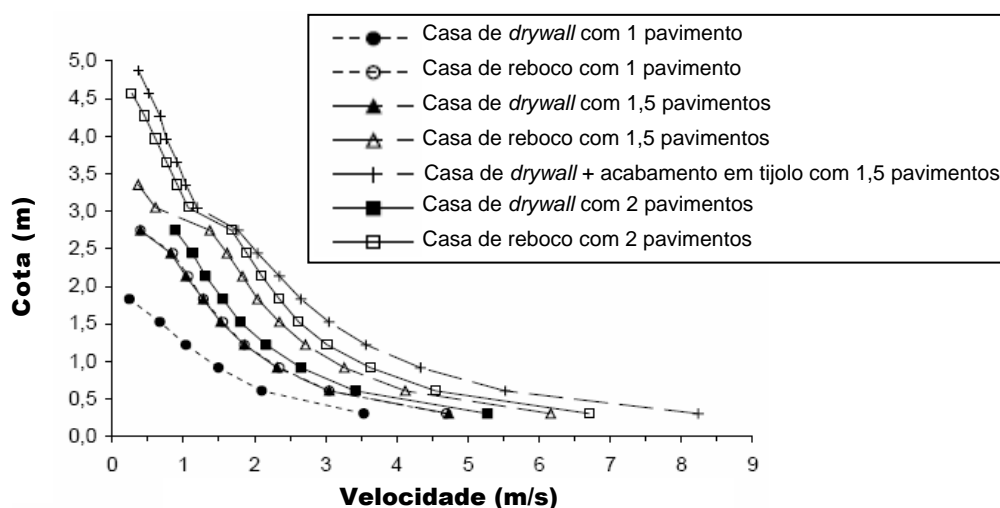


Figura 6.12 – Combinação de velocidades e cotas necessárias para mover uma casa inundada. Água direcionada contra o comprimento da casa (BLACK, 1975 *apud* RESCDAM, 2003)

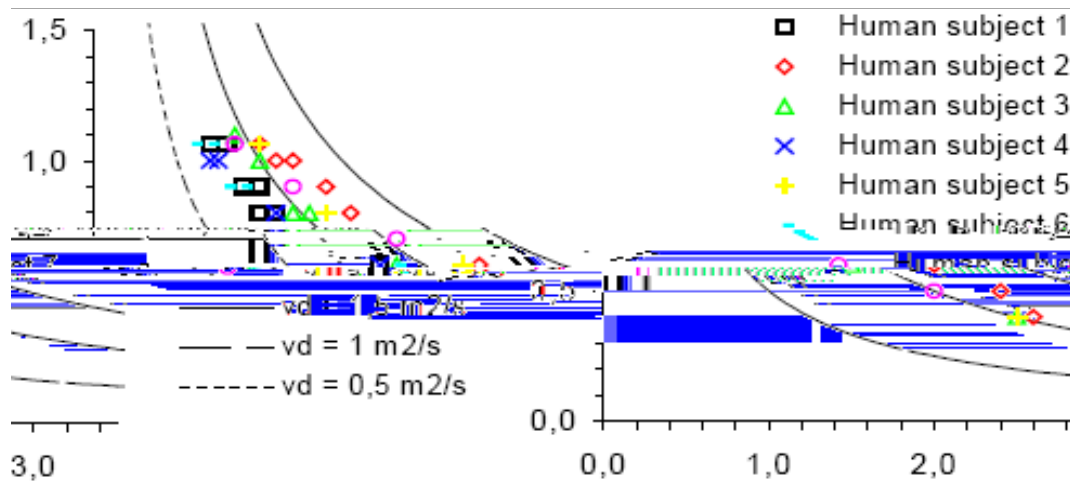


Figura 6.13 – Resultados de testes: perda de estabilidade ou mobilidade (RESCDAM, 2003)

Sendo assim, o segundo indicador integrante do sub-índice de propriedades da inundação é constituído pelo Fator de Velocidade, calculado conforme a Eq. (6.10).

Vale notar que a utilização da cota em dois indicadores não representa uma ambigüidade na análise do risco. Sua inclusão no Fator de Velocidade é necessária para que o efeito da força da água possa ser considerado. No caso de uma zona de armazenamento, por exemplo, onde podem ser observados alagamentos de grande profundidade, mas com velocidades próximas a zero, FV seria negligenciável, enquanto a cota poderia ter um valor não só apreciável, mas também, relativamente alto. Da mesma forma, em uma área onde se verifique pequenas lâminas de alagamento com altas velocidades, o indicador de cota apresentaria valor baixo, enquanto o FV seria alto. Portanto, o efeito individual da cota sobre o risco não está sendo avaliado mais de uma vez no IRC.

O parâmetro velocidade individualmente não permite avaliar a potencialidade de ocorrência de danos, uma vez que é a sua associação com a cota que gera situações de risco. Locais onde se verificam inundações com baixas velocidades, mas grandes profundidades não oferecem perigo considerável de arraste. Por isso, o FV mostra-se conveniente para esta análise.

Com base nos estudos desenvolvidos por REITER (2000) *apud* DEFRA/AE (2003), que determinam limites de potencial de danos a pessoas, carros e casas para diversos FVs, foi determinada uma escala de normalização por faixas para este indicador. A normalização pressupõe um julgamento sobre a veracidade dos efeitos, sendo, assim, possível de normalização -5.5() J0 -1.7236 TD0 T (o FV são apresentados

Tabela 6.2 – Faixas de normalização de FV

FV (m ² /s)	I _{FV} ^{PI}	EFEITO
< 0,1	0	Baixo potencial de danos a crianças
0,25	40	Alto potencial de danos a crianças
0,7	60	Alto potencial de danos a adultos
1,5	80	Alto potencial de danos a veículos (e seus ocupantes)
2,5	90	Alto potencial de danos a construções leves (barracos)
>7	100	Alto potencial de danos a construções pesadas (alvenaria)

Fonte: Adaptado de REITER (2000) *apud* DEFRA/AE (2003)

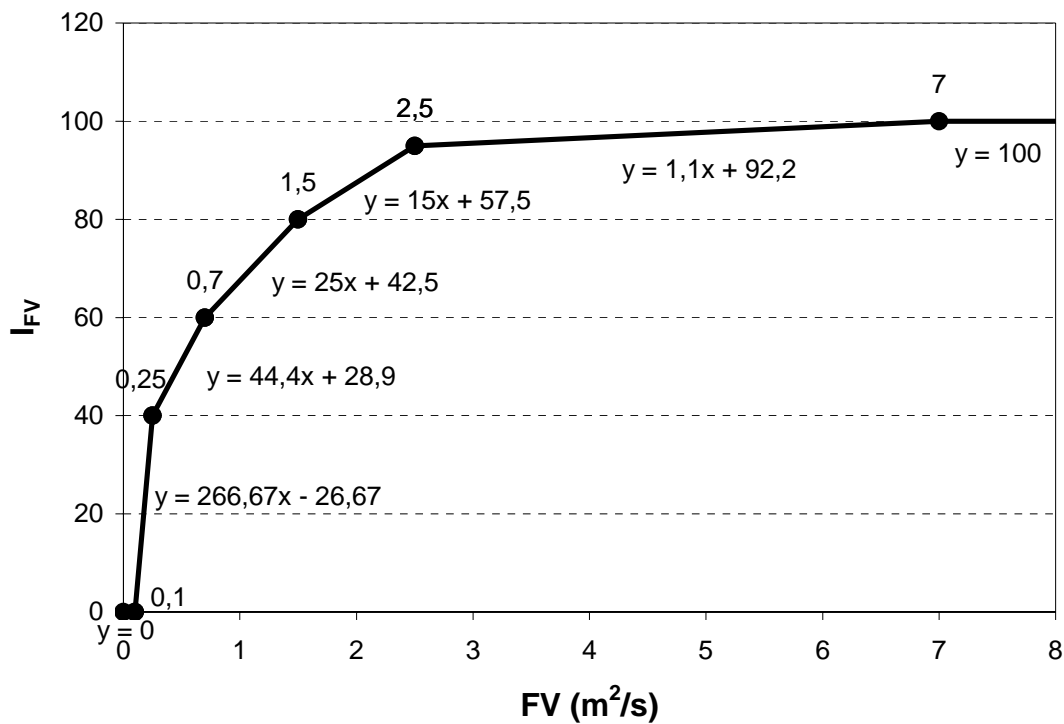


Figura 6.14 – Curva de normalização por faixas para I_{FV}^{PI} , com interpolação linear entre limites ($y = I_{FV}^{PI}$ e $x = FV (m^2/s)$)

6.2.1.3 I_{FP}^{PI} - FATOR DE PERMANÊNCIA

O último indicador a ser incluído no sub-índice PI refere-se a duração da inundação, que, assim como os anteriores, é uma das causas dos transtornos provocados pelas cheias. Enquanto a cota está associada aos danos decorrentes do contato imediato com a água, a ação prolongada da inundação dá origem a outros inconvenientes.

A permanência de áreas alagadas cria restrições para o trânsito de pedestres e veículos, danos a estruturas e, eventualmente, aumento do potencial de transmissão de doenças de veiculação hídrica ou transmitidas por vetores. O estresse causado pela necessidade de abandonar as residências inundadas é mais uma das perturbações geradas por alagamentos de longa duração.

O potencial de dano da permanência da cheia varia em função da ótica sob a qual ele é avaliado. Assim, devem-se considerar três perspectivas, associadas a diferentes partes afetadas: pedestres, veículos e residências.

Pedestres são os primeiros a serem afetados, pois áreas alagadas com pequenas cotas (poças) já são suficientes para dificultar ou impedir sua passagem. Enquanto esta restrição durante um tempo relativamente curto, como poucos minutos, não provoca inconvenientes ou danos significativos, já a permanência por períodos maiores, da ordem de algumas horas, pode ser responsável por problemas mais graves. O contato prolongado com a água da inundação aumenta o risco de se contrair doenças relacionadas à água.

Os veículos são atingidos a partir de cotas um pouco maiores, quando ruas inteiras ficam inundadas, causando engarrafamentos e até interrupção do tráfego. Também se aumenta o risco de aquaplanagem, podendo causar acidentes graves. Enquanto, áreas que permaneçam alagadas por até uma hora não costumam gerar muitos danos ou prejuízos, uma permanência de várias horas poderia tornar necessária a adoção de medidas mais complexas, como mudança no sentido de vias e criação de rotas alternativas (que não necessariamente têm a mesma capacidades de fluxo daquelas afetadas). Além disso, o contato permanente do veículo com a água pode levar a avaria do mesmo.

Por último, o efeito da duração sobre residências tende a ser bem mais severo que nos casos anteriores, apesar de só ocorrer para cotas ainda maiores. O contato prolongado, de algumas horas, do conteúdo das residências com a água da inundação pode lhes causar danos irreparáveis, enquanto que cheias da ordem de dias exigem que os ocupantes abandonem a residência.

A Figura 6.15 e a Figura 6.16 ilustram o problema da permanência.



Figura 6.15 – Permanência da inundação na área de residências (Fonte: O Globo, 28/11/2006, Fotogaleria “Eu-Repórter: Chuvas no Estado do Rio”)



Figura 6.16 – Dificuldades para transeuntes devido a cheia (Fonte: O Globo, 12/2/2007, Fotogaleria “Eu-Repórter: fotos da Chuva no Rio”)

Uma permanência t_i refere-se ao tempo, em minutos/horas/dias, que uma região permaneceu alagada com pelo menos i cm de profundidade. Desta forma, tem-se que $t_i > t_j$, para $i < j$. Sendo assim, t_{10} , t_{30} e t_{50} referem-se ao tempo durante o qual uma área permanece alagada com mais de 10cm, 30cm e 50cm. Foi considerado que estes tempos são indicativos dos efeitos sobre transeuntes, tráfego e residências, respectivamente.

No entanto, para representar os efeitos diferenciados de t_{10} , t_{30} e t_{50} sobre cada uma das partes afetadas é necessário normalizá-los separadamente, de acordo com escalas específicas, que dão origem a T_{10} , T_{30} , T_{50} , respectivamente.

Para a conjugação destas durações relativas e variáveis segundo a parte afetada em um único indicador, propõe-se sua avaliação segundo um “fator de permanência” (FP). O FP é a média ponderada de T_{10} , T_{30} e T_{50} , refletindo a diferença entre a severidade das conseqüências do alagamento prolongado para pedestres, tráfego e residências. Esses pesos foram determinados com auxílio da metodologia de Análise Hierárquica, que resultou em valores de 0,68 para T_{50} , 0,22 para T_{30} e 0,10 para T_{10} . Desta forma, o FP calculado resulta no próprio valor do indicador I_{FP}^{PI} .

A Eq. (6.11) apresenta o cálculo do Fator de Permanência.

$$I_{FP}^{PI} = FP = 0,10 \times T_{10} + 0,22 \times T_{30} + 0,68 \times T_{50} \quad \text{Eq. (6.11)}$$

Onde:

I_{FP}^{PI} ou FP: Fator de Permanência, adimensional, variável entre 0 e 100

T_{10} , T_{30} , T_{50} : correspondem a normalização (variável entre 0 e 100) dos tempos durante os quais o alagamento permanece acima de 10cm, 30cm e 50cm, respectivamente,

A normalização de T_{10} , T_{30} e T_{50} , como nos casos anteriores, reflete o julgamento subjetivo sobre a avaliação dos efeitos provocados por cada um dos tempos de permanência, estando sujeita a pequenas variações.

Na tentativa de estabelecer as escalas de normalização por faixas para conversão de t_{10} , t_{30} e t_{50} em T_{10} , T_{30} e T_{50} , respectivamente, foi observado que as curvas resultantes, em todos os três casos, se aproximavam com razoável precisão de funções logarítmicas. Assim, foi determinado que a normalização destes tempos poderia ser feita por funções logarítmicas respectivas.

A Tabela 6.3 apresenta os valores limite originais estabelecidos no intento de normalizar t_{10} , t_{30} e t_{50} por faixas (não adotados). A Figura 6.17 apresenta graficamente os limites previamente propostos e sua aproximação pela respectiva função logarítmica de normalização, adotada para a conversão em T_{10} , T_{30} e T_{50} .

Tabela 6.3 – Possíveis faixas de normalização de t_{10} , t_{30} e t_{50} (não adotados)

t_{10} (mins)	T_{10}	T_{30} (mins)	T_{30}	T_{50} (mins)	T_{50}
< 15	0	< 25	0	< 20	0
45	35	30	10	30	10
70	55	60	20	60	20
110	70	120	35	360	40
150	80	240	60	720	60
> 360	100	415	85	1440	80
		> 720	100	> 2880	100

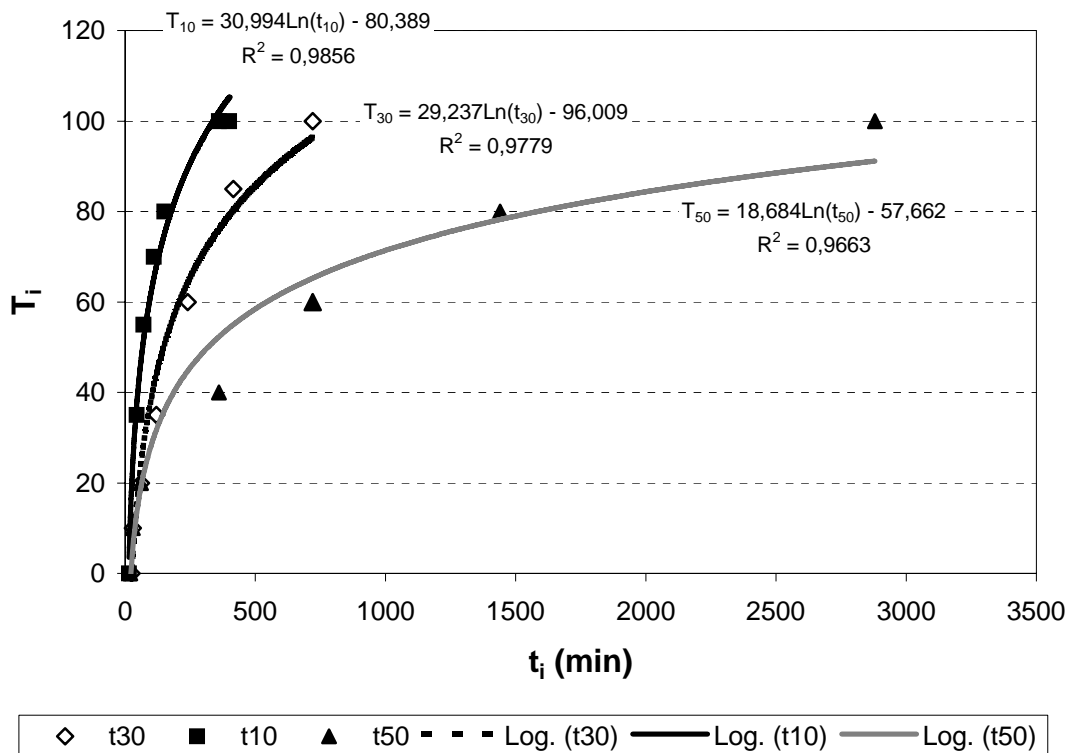


Figura 6.17 – Funções de normalização para t_{10} , t_{30} e t_{50}

6.2.2. Sub-índice Conseqüências (C)

Salienta-se, mais uma vez, que o sub-índice C deve ser composto por indicadores representativos de características dos indivíduos e da região afetados pelo evento de cheia, que contribuem para aumentar sua vulnerabilidade e/ou exposição.

6.2.2.1 DENSIDADE DE DOMICÍLIOS (I_{DD}^C)

Este indicador, que mede o número de domicílios por unidade de área, pretende ser uma estimativa para a quantidade de pessoas e de bens atingidos pela inundação. O uso da densidade, em oposição ao uso do valor absoluto de domicílios, viabiliza a comparação entre regiões de áreas muito distintas. Se fosse considerada a quantidade total de domicílios, áreas maiores tenderiam a sofrer maior impacto, simplesmente por serem mais extensas. Essa anomalia é eliminada com o uso da densidade.

Além disso, em comparação com a densidade populacional, a densidade de domicílios apresenta a vantagem de não ser variável segundo a hora do dia, por exemplo. Caso uma inundação atinja certa região em horário escolar e comercial, quando as residências costumam estar vazias, o potencial de danos provavelmente seria superestimado se fosse usada a densidade populacional. Ademais, essas duas variáveis costumam apresentar grande correlação, de maneira que a densidade de domicílios pode ser considerada representativa da densidade populacional.

Não há estudos indicativos da relação entre o número de pessoas/propriedades afetados e os danos causados por inundações. Na ausência de mais informações, considera-se que quanto maior a densidade de domicílios maior o potencial de danos e prejuízos e que esta relação varia linearmente. Assim, pode-se aplicar normalização linear por distância para este parâmetro, uma vez determinados os valores mais e menos favoráveis que ele pode assumir.

Foi considerado que a densidade de domicílios mais favorável (que tem menos potencial de danos durante a inundação) é 0 domicílio/km². Em princípio, a máxima densidade de domicílios observada no município do Rio de Janeiro, igual a 795.455 domicílios/km², seria tomada como mais desfavorável, acima da qual I_{DD}^C valeria 100. No entanto este valor é discrepante, de maneira que mesmo regiões consideradas muito densas apresentariam valores de I_{DD}^C baixos. Assim, optou-se por associar a $I_{DD}^C=100$ à densidade de domicílios correspondente a 75% da distribuição desta variável no município do Rio de Janeiro, igual a 30.000 domicílios/km².

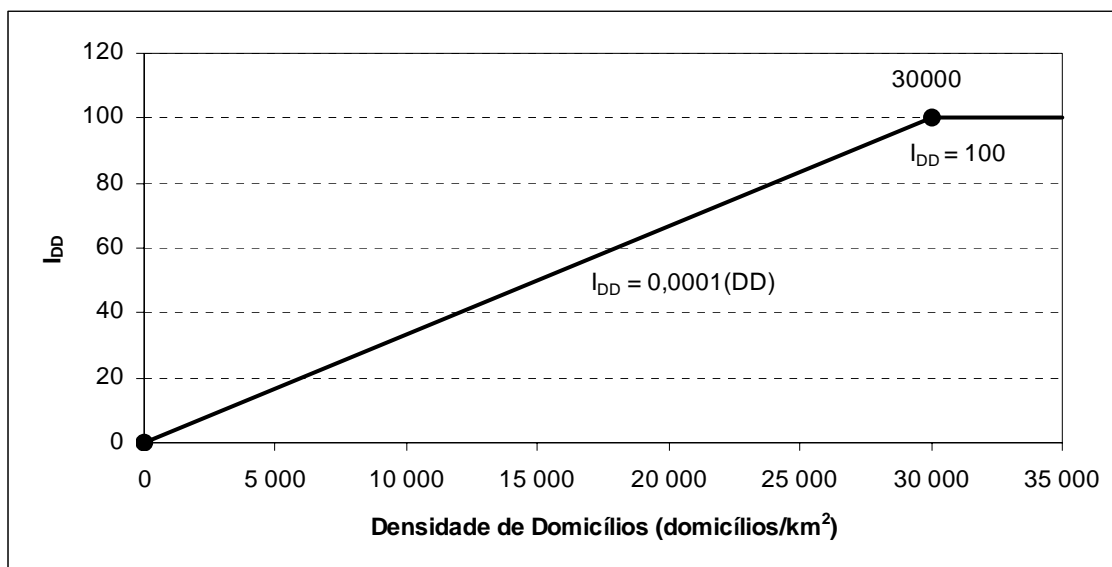


Figura 6.18 – Funções de normalização para t_{10} , t_{30} e t_{50}

6.2.2.2 Renda (I_R^C)

Este indicador utiliza a renda como indicativo do valor total das propriedades afetadas e seu conteúdo. Neste caso, a renda refere-se ao rendimento per capita mensal. O rendimento per capita, assim como o uso da densidade no indicador anterior, permite a comparação entre zonas com populações diferentes. Da mesma forma, se fosse avaliada a renda total, este valor seria influenciado pelo número de pessoas consideradas, superestimando os prejuízos potenciais.

É importante notar que o que se pretende indicar com a renda é o valor econômico absoluto – e não relativo – dos prejuízos decorrentes de danos à estrutura e seu conteúdo. Este parâmetro não tem a intenção de avaliar o risco associado a perdas relativas, referentes a razão entre o valor total do prejuízo e o patrimônio do qual se dispõe.

Assim, considera-se que renda per capita mais alta incorre em perdas econômicas totais maiores, caso ocorra uma inundação, independente de quanto estes prejuízos representem em relação ao patrimônio do qual se dispõe. Isso significa que, para fins de quantificação de prejuízos, a perda de um bem de determinado valor tem sempre a mesma relevância absoluta, independente de pertencer a uma família de baixa renda ou a uma família de alto padrão.

No estudo apresentado por MACHADO *et al.* (2005), são construídas curvas de profundidade-dano, mostradas na Figura 6.19 e na Figura 6.20, para diferentes classes sociais (de acordo com o Critério Brasil, proposto por ABIPEME, 2003).

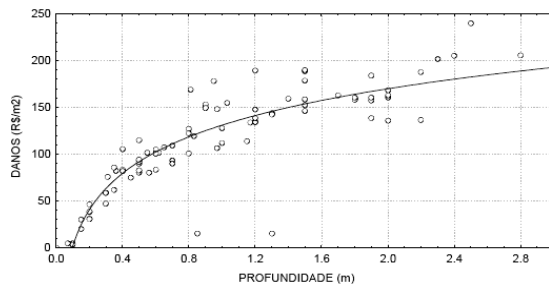


Figura 6.19 – Curva de profundidade-dano para classes sócio-econômicas A e B do setor habitacional de Itajubá, MG

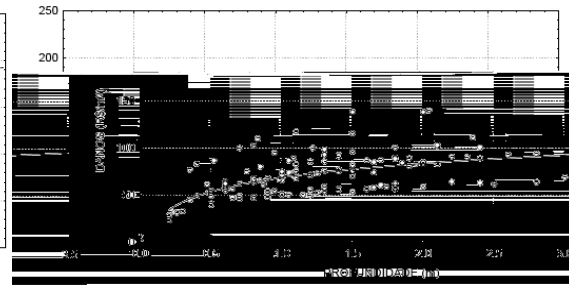


Figura 6.20 – Curva de profundidade-dano para classes sócio-econômicas C e D do setor habitacional de Itajubá, MG

A divisão de classes sócio-econômicas utilizada neste estudo foi estabelecida pela Associação Brasileira de Institutos de Mercado. O valor da renda referente a cada uma dessas classes é mostrado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Classes de renda

CLASSE	RENDA MÉDIA	CLASSIFICAÇÃO
Classe A	R\$ 7.793,00	Classe Alta
Classe B	R\$ 2.804,00	Classe Média
Classe C	R\$ 927,00	Média Baixa
Classe D	R\$ 424,00	Pobre
Classe E	R\$ 207,00	Muito Pobre

Fonte: ABIPEME, 2007

A Figura 6.21 abaixo, construída a partir de dados abstraídos das curvas anteriores, demonstra que os prejuízos sofridos pelas classes A e B são aproximadamente o dobro daqueles sofridos pelas classes C e D, para uma mesma cota de inundação. Assim, pode ser inferido que o potencial de prejuízos totais associado a classes mais altas é duas vezes maior que em classes mais baixas.

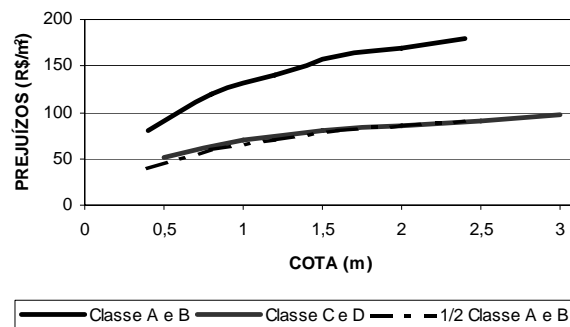


Figura 6.21 – Comparação entre curvas profundidade-dano para diferentes classes sócio-econômicas

Com base nesta observação e na divisão de classes, é possível estabelecer uma escala de normalização para a renda per capita. Para isso, considera-se que os prejuízos sofridos pela classe E são negligenciáveis e que a classe B sofre perdas duas vezes mais importantes que as classes C e D.

Em princípio, determinou-se que os prejuízos sofridos pela classe A corresponderiam ao máximo. No entanto, como a distribuição de renda brasileira concentra a população nas classes B e C (aproximadamente 60%), os prejuízos econômicos seriam quase sempre subestimados. Assim, optou-se por utilizar como máximo o valor da renda per capita mensal correspondente a 80% da distribuição observada no município do Rio de Janeiro. A Figura 6.22 abaixo ilustra esta e as demais suposições.

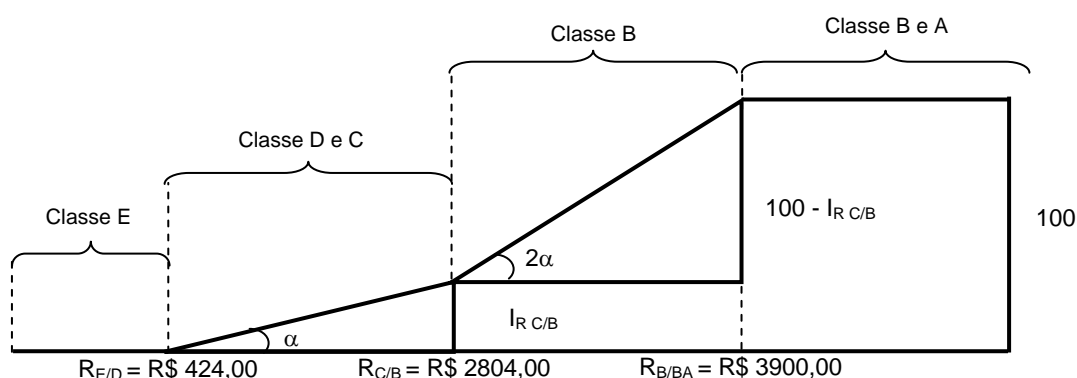


Figura 6.22 – Representação geométrica das suposições sobre a normalização da renda

Com base nesta geometria é possível estabelecer o sistema de equações abaixo e determinar o valor de α e $I_{R C/B}$.

$$\begin{cases} \tan \alpha = \frac{I_{R C/B}}{(R_{C/B} - R_{E/D})} & (1) \\ \tan(2\alpha) = \frac{100 - I_{R C/B}}{(R_{B/BA} - R_{C/B})} & (2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \tan \alpha = \frac{I_{R C/B}}{2380} & (1) \\ \tan(2\alpha) = \frac{100 - I_{R C/B}}{1096} & (2) \end{cases}$$

Eq. (6.12)

Combinando – se (1) e (2):

$$2380 \cdot \tan \alpha = 100 - 1096 \cdot \tan(2\alpha) \quad (3)$$

Resolvendo (3):

$$\alpha = 1,25^\circ \Rightarrow I_{R C/B} = 52$$

A Figura 6.23 abaixo apresenta a curva de normalização da renda, com base nestes resultados.

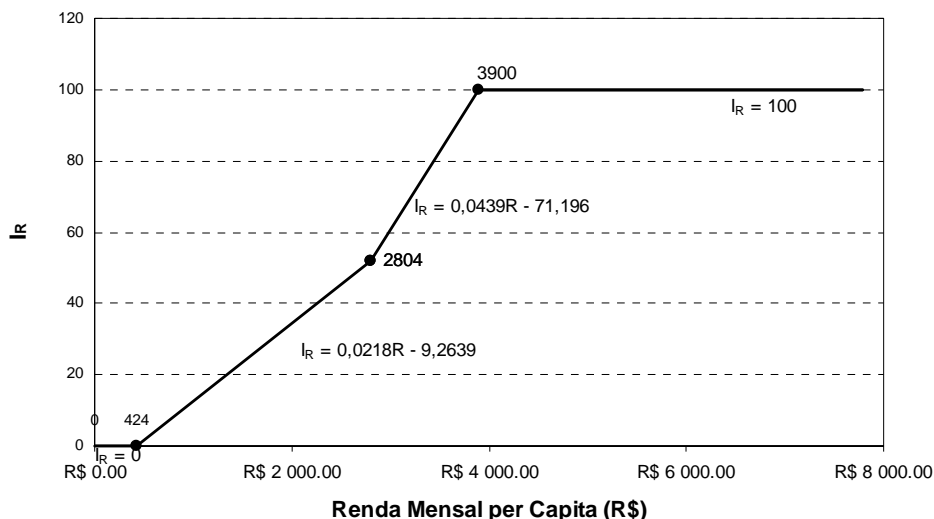


Figura 6.23 – Curva de normalização da renda

6.2.2.3 Tráfego (I_T^C)

O tráfego de veículos é um dos principais afetados pelas enchentes. Conforme mencionado anteriormente, lâminas de inundação relativamente pequenas são suficientes para dificultar e até interromper o trânsito ou aumentar o risco de aquaplanagem, podendo provocar acidentes. A adoção de rotas alternativas nestas situações pode não ser suficiente para mitigar o inconveniente, uma vez que estas opções nem sempre estão projetadas para absorver o incremento de fluxo gerado, causando transtornos ainda maiores. Estes inconvenientes estão também relacionados com a perda de tempo, que pode originar importantes prejuízos econômicos indiretos, além de estresse e danos ao próprio veículo e seus ocupantes. Em inundações de grandes proporções, os danos podem ser ainda mais críticos, caso a cheia tenha potencial de arrastar veículos. A Figura 6.24 ilustra este transtorno.



Figura 6.24 – Longos engarrafamentos provocados pela cheia (Fonte: O Globo, 16/3/2007, Fotogaleria “Mais um dia de caos: chuva transtorna a sexta-feira em SP”)

As conseqüências para o tráfego estão associadas tanto ao número de veículos quanto à importância das vias afetadas. Por isso, é conveniente associar o indicador I_T^C com algum tipo de hierarquização de vias de trânsito que leve em conta o fluxo de veículos, e que, em geral, é reflexo de sua importância para a interligação entre diversas regiões.

Este indicador pode ser usado de forma diferente em função do domínio de aplicação do IRC. Se o índice for calculado pontualmente, para pequenas divisões de uma sub-bacia por exemplo, pode ser usado como indicador o maior nível hierárquico (maior importância) presente em cada divisão. Se, no entanto, o IRC for calculado para regiões maiores, tal como uma sub-bacia inteira, a máxima hierarquia pode não ser tão representativa deste impacto. Neste caso, pode ser usado o número de ocorrências de cada hierarquia na região considerada. Estas situações estão ilustrados na Figura 6.25.

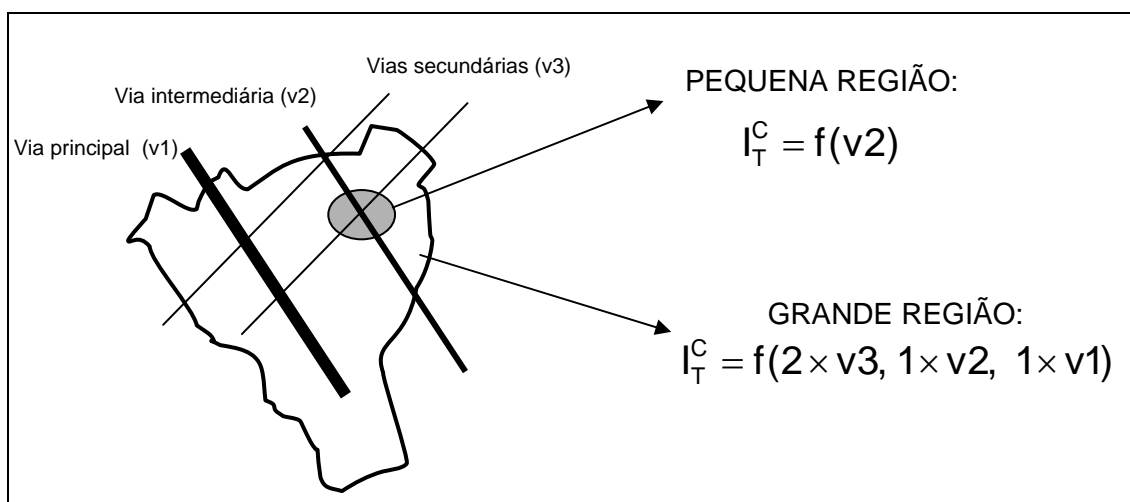


Figura 6.25 – Variação do indicador de tráfego em função do tamanho do domínio

A Companhia de Engenharia de Tráfego do Município do Rio de Janeiro classifica o sistema viário municipal de acordo com a função de ligação desempenhada e com as características físicas e operacionais de cada via (concentração, velocidade, nível de serviço, etc) (CET-RIO, 2004) São definidos assim 5 níveis hierárquicos aos quais podem ser diretamente associados valores normalizados, segundo a criticidade do impacto da cheia sobre cada um deles. Como não há valores intermediários entre os níveis, esta é uma escala de normalização discreta.

A Tabela 6.5 apresenta a definição de cada hierarquia, bem como o valor associado do indicador normalizado. Esta normalização discreta também é apresentada na Figura 6.26.

Tabela 6.5 – Níveis hierárquicos viários

Nível	I_T^C	DEFINIÇÃO
1	100	Vias Estruturais: são as vias que estabelecem ligações rápidas para o

interna, nem à rede geral de esgotamento sanitário e tampouco são atendidos pelo sistema de coleta de lixo domiciliar.

Estes fatores, principalmente a falta de sistemas apropriados de tratamento do lixo e do esgoto, são determinantes da severidade do problema de inundação, uma vez que agravam as consequências da enchente, aumentando o risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, leptospirose, hepatite, dermatite, e a proliferação de vetores, como mosquitos causadores de dengue, malária ou febre amarela. De acordo com estudos realizados pela COPPE/UFRJ, estima-se que as doenças associadas à água sejam responsáveis por 60% das internações hospitalares no Brasil. A Figura 6.27, Figura 6.28 e a Figura 6.29 ilustram o agravamento da ameaça de contaminação durante a inundação.

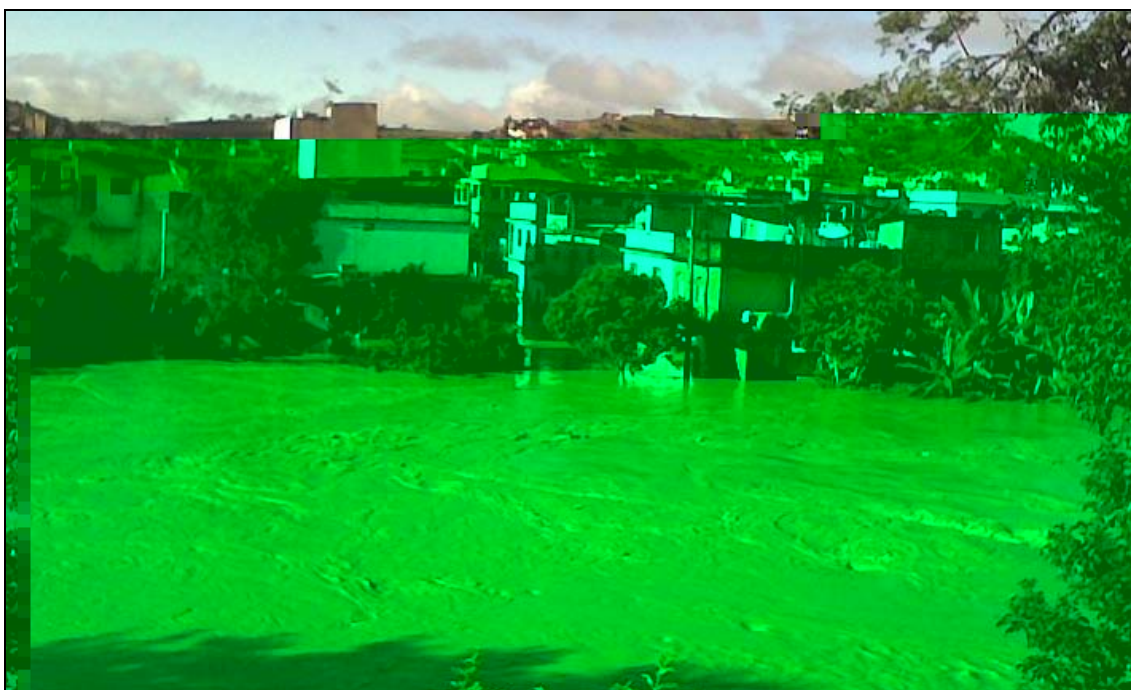


Figura 6.27 – Águas sujas da inundação (Fonte: O Globo, 10/01/2007, Fotogaleria “Eu-Repórter – Chuva em Minas: ruas inundadas em Muriaé”)



Figura 6.28 – Lixo arrastado pela inundação (Fonte: O Globo, 16/3/2007, Fotogaleria “Mais um dia de caos: chuva transtorna a sexta-feira em SP”)



Figura 6.29 – Perigo de contaminação no contato com a água (Fonte: O Globo, 5/1/2007, Fotogaleria “Chuva no Rio: chuva deixa mais de 20 mortos no estado”; O Globo, 16/3/2007, Fotogaleria “Mais um dia de caos: chuva transtorna a sexta-feira em SP”)

O indicador I_{SI}^C pode ser associado ao percentual de domicílios na região de estudo carentes de saneamento adequado, tal que quanto mais domicílios tiverem condições inapropriadas de saneamento, maior o valor deste indicador.

Como não se dispõe de informações mais específicas quanto a relação entre o saneamento adequado e o potencial de danos provocados pela cheia, sugere-se o uso de normalização por distância. Assim, considera-se que 0% de domicílios com saneamento inadequado é o valor mais favorável deste parâmetro enquanto que 100% de saneamento inadequado representa o valor mais desfavorável. A curva de normalização (linear) deste indicador é apresentada na Figura 6.30.

Os percentuais individuais de domicílios com esgotamento inadequado ou sem abastecimento de água ou sem coleta de lixo podem ser usados alternativamente, caso não se disponha de dados conjugados dos três. A princípio, não há como inferir qual destes é mais relevante para a contaminação e disseminação de doenças. O lixo está associado a presença de vetores, mas o esgoto, constituído por componentes solúveis e, por vezes, tóxicos, ou a falta de acesso à água potável, podem ser igualmente perigosos.

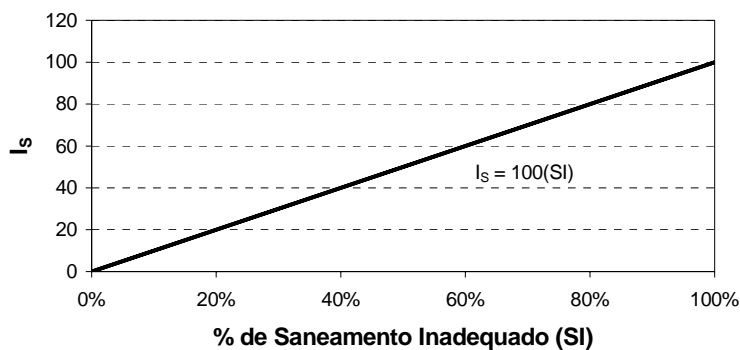


Figura 6.30 – Curva de normalização do indicador $I_{SI}^C (I_S)$

6.2.3. Estrutura final do IRC

De acordo com a formulação e os indicadores escolhidos, o IRC se define pela estrutura apresentada na Eq. (6.13):

$$IRC = \underbrace{\left[I_{Cot}^{PI} \cdot p_{Cot}^{PI} + I_{FV}^{PI} \cdot p_{FV}^{PI} + \underbrace{(0,68 \cdot T_{50} + 0,22 \cdot T_{30} + 0,10 \cdot T_{10})}_{I_{FP}^{PI}} \cdot p_{FP}^{PI} \right]}_{PI}^{q_{PI}} \times \underbrace{\left[I_{DD}^C \cdot p_{DD}^C + I_R^C \cdot p_R^C + I_T^C \cdot p_T^C + I_{SI}^C \cdot p_{SI}^C \right]}_C^{q_C} \quad \text{Eq. (6.13)}$$

Pode-se notar que nesta estrutura não foi incluído nenhum indicador que representasse danos relacionados ao setor comercial, tais como perdas de estoque ou lucro cessante. Isso se deve a ausência de informações específicas sobre prejuízos ligados ao comércio. Assim, o IRC fica limitado à aplicação em zonas residenciais.

A atribuição de pesos dos indicadores e dos sub-índices será abordada no item a seguir.

6.3. Atribuição de Pesos

Conforme explicado anteriormente, os pesos $(p_i^{PI}, p_i^C, q_i^{PI}, q_i^C)$ representam a importância relativa dos indicadores e sub-índices para o valor do risco. Diferente da determinação da fórmula e da escolha dos indicadores e suas respectivas escalas de

No entanto, a título de sugestão, propõe-se o uso do Processo Análise Hierárquica (PAH), criado por SAATY (1977) em meados da década de 70 e bastante utilizado no contexto análises multi-critério e sistemas de suporte a decisão.

Esta metodologia reduz o problema de tomada de decisão a comparações par-a-par dos critérios, facilitando assim sua avaliação. As comparações utilizam uma escala própria, definida por Saaty, constituída de nove divisões que indicam o grau de importância de um critério em relação a outro, conforme mostra a Figura 6.31. Os números ímpares indicam os cinco graus de importância mais facilmente discerníveis, enquanto que os números pares podem ser utilizados para valores intermediários entre dois graus de preferência consecutivos (DE PESSÔA, 2005).

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
MENOS IMPORTANTE				MAIS IMPORTANTE				

Figura 6.31 – Exemplo de escala de preferência relativa

Apesar de não haver limitações matemáticas, o número máximo de critérios recomendado pelo método é 9 o que resultaria 36 comparações par-a-par.

Esta metodologia permite não só a determinação de pesos para cada um dos indicadores e sub-índices analisados, mas também o cálculo do grau de consistência (GC) da avaliação.

O grau de consistência é um parâmetro quantitativo que mede a coerência lógica sobre o julgamento. Isto é: se A é muito mais importante que B e B é muito mais importante que C, seria inconsistente afirmar que A é apenas um pouco mais importante que C.

Além disso, GC é independente de preferências particulares e não tem qualquer influência sobre o resultado dos pesos. Ou seja, é possível chegar a diferentes combinações de pesos (que privilegiem distintos critérios avaliados) e manter a consistência em todos os casos. Isso torna esta metodologia robusta, adaptável às diferentes percepções de gestores ou a diferentes políticas de gestão.

Os passos a serem seguidos no PAH são apresentados no exemplo abaixo, no qual deseja-se determinar os pesos de três critérios, C_1 , C_2 e C_3 :

1. Cria-se uma matriz de avaliação (*payoff*), como na Figura 6.32, de dimensões $n \times n$, onde n é o número de critérios que se deseja avaliar:

	C₁	C₂	C₃
C₁			
C₂			
C₃			

Figura 6.32 – Matriz *payoff*


2. A tabela é completada, como exemplificado na Figura 6.33, comparando-se os critérios par-a-par de acordo com a escala determinada, avaliando-se quanto o critério da linha é preferível ao da coluna. Às comparações recíprocas é atribuído o valor inverso: se C_1 é muito mais importante (5) que C_3 , C_3 deve ser muito menos importante ($1/5$) que C_1 . Os valores da diagonal principal são necessariamente 1 (pois C_i é sempre igual a C_i):

	C₁	C₂	C₃
C₁	1	1/3	5
C₂	3	1	7
C₃	1/5	1/7	1

Figura 6.33 – Matriz *payoff* completa

3. Os valores são normalizados dividindo-os pela soma dos valores da coluna:

	C₁	C₂	C₃
C₁	1	1/3	5
C₂	3	1	7
C₃	1/5	1/7	1
SOMA	4,20	1,48	13



	C₁	C₂	C₃
C₁	0,238	0,226	0,385
C₂	0,714	0,677	0,538
C₃	0,048	0,097	0,077

4. Calcula-se a média dos valores de cada linha, que corresponde ao peso do indicador desta linha:

	C₁	C₂	C₃	MÉDIA
C₁	0,238	0,226	0,385	0,283
C₂	0,714	0,677	0,538	0,643
C₃	0,048	0,097	0,077	0,074

➔

	PESOS
C₁	0,283
C₂	0,643
C₃	0,074

5. Para a determinação da consistência deste julgamento, deve-se primeiro determinar o parâmetro λ , através da seguinte operação:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n M_i \cdot S_i \quad \text{Eq. (6.14)}$$

Onde:

λ : autovalor principal;

M_i : é a média da linha correspondente ao i-ésimo critério;

S_i : é a soma da coluna correspondente ao i-ésimo critério;

n : é o número total de critérios.

Para este exemplo: $\lambda = 3,095$

6. Utiliza-se, então, este parâmetro para calcular o Índice de Consistência (IC), dado por:

$$IC = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad \text{Eq. (6.15)}$$

No exemplo: $IC = 0,0497$.

7. Finalmente o Grau de Consistência é dado por:

$$GC = \frac{IC}{ICA} \quad \text{Eq. (6.16)}$$

Onde:

GC: é o Grau de Consistência;

ICA: é o Índice de Consistência Aleatório, um valor que é função do número de indicadores, n . A Tabela 6.6 mostra os valores de ICA para alguns valores de n .

Tabela 6.6 – Valores de ICA segundo o número de critérios avaliados

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

No exemplo: $GC = 0,0857$

Para que a avaliação seja considerada suficientemente consistente, GC deve ser menor ou igual a 10%. Caso contrário, o julgamento subjetivo é considerado inconsistente e deve ser refeito.

6.4. Domínio do IRC

O domínio de aplicação do índice não é, de nenhum modo, restrito pela formulação estabelecida. Isto é, a formulação é válida, seja o índice referente a uma sub-bacia, a um município ou mesmo a regiões de maiores proporções. A independência entre domínio e formulação é, justamente, uma de suas maiores vantagens e lhe confere grande versatilidade.

Há, no entanto, três fatores limitantes para a determinação do domínio do índice: disponibilidade de dados, existência de dados com precisão adequada e limites das escalas de normalização. Desta forma, o domínio de aplicação do índice pode variar conforme a situação específica de cada um destes fatores.

A indisponibilidade de dados incorre em um problema óbvio; não é possível realizar o cálculo do índice em uma região onde não se conheça o valor de determinado indicador. Em geral, dados censitários e de domínio público sobre características da região e da população, que permearão o cálculo das conseqüências, podem ser adquiridos com relativa facilidade. Já os dados relativos às propriedades da inundação são, em geral, mais difíceis de se dispor, pois dependem de estudos hidrodinâmicos pré-existentes ou da realização de novas simulações hidráulicas para o domínio de interesse.

A inexistência de dados com precisão adequada requer que valores dos indicadores sejam inferidos ou agregados, conforme explicado no item 4.1. Quase sempre, é preferível que os dados sejam agregados, já que os valores adaptados ao domínio do índice são, neste caso, baseados em medições de maior precisão (mesmo que isso leve a perda de informação em áreas muito heterogêneas). Se a maioria dos

indicadores possui domínio superior ao determinado para o índice é aconselhável reconsiderar o domínio estabelecido para o índice.

Por fim, a determinação das escalas de normalização dos indicadores, deve levar em conta o domínio estabelecido para o índice. Se as escalas foram estabelecidas considerando um domínio pequeno (uma sub-bacia, por exemplo) elas devem ser revistas antes da sua aplicação em domínios maiores. No caso de escalas métricas lineares, os valores mais e menos favoráveis para os indicadores devem considerar todo o domínio do índice. O mesmo vale para a determinação de limites na escala de normalização por faixas. Este fator é de fundamental importância para que seja possível a comparação entre diferentes regiões.

Por esta razão, as escalas de normalização devem ser tão genéricas quanto possível. Escalas formuladas para um domínio pequeno impedem, ou, ao menos dificultam, sua aplicação para domínios mais extensos. Se o índice fosse aplicado a países de diferentes níveis de desenvolvimento, e as escalas de normalização tivessem sido estabelecidas para um determinado país, os limites correspondentes a valores mais e menos favoráveis no que diz respeito ao indicador renda, por exemplo, não seriam verdadeiros ou representativos de todos os países, inviabilizando sua comparação. Assim, a impossibilidade de se estabelecer uma escala tão genérica quanto a abrangência do índice impede sua aplicação em domínios muito extensos.

No escopo deste estudo e de acordo com suas demais propriedades, o índice estará limitado a áreas relativamente pequenas, como sub-bacias, bacias ou sub-regiões de municípios, desde que permita comparação entre elas. Fêz-se um esforço, no entanto, para estabelecer escalas de normalização que não se limitassem a este domínio, de maneira que, em se dispondo de dados com precisão adequada, o índice pudesse ser aplicado a domínios maiores.

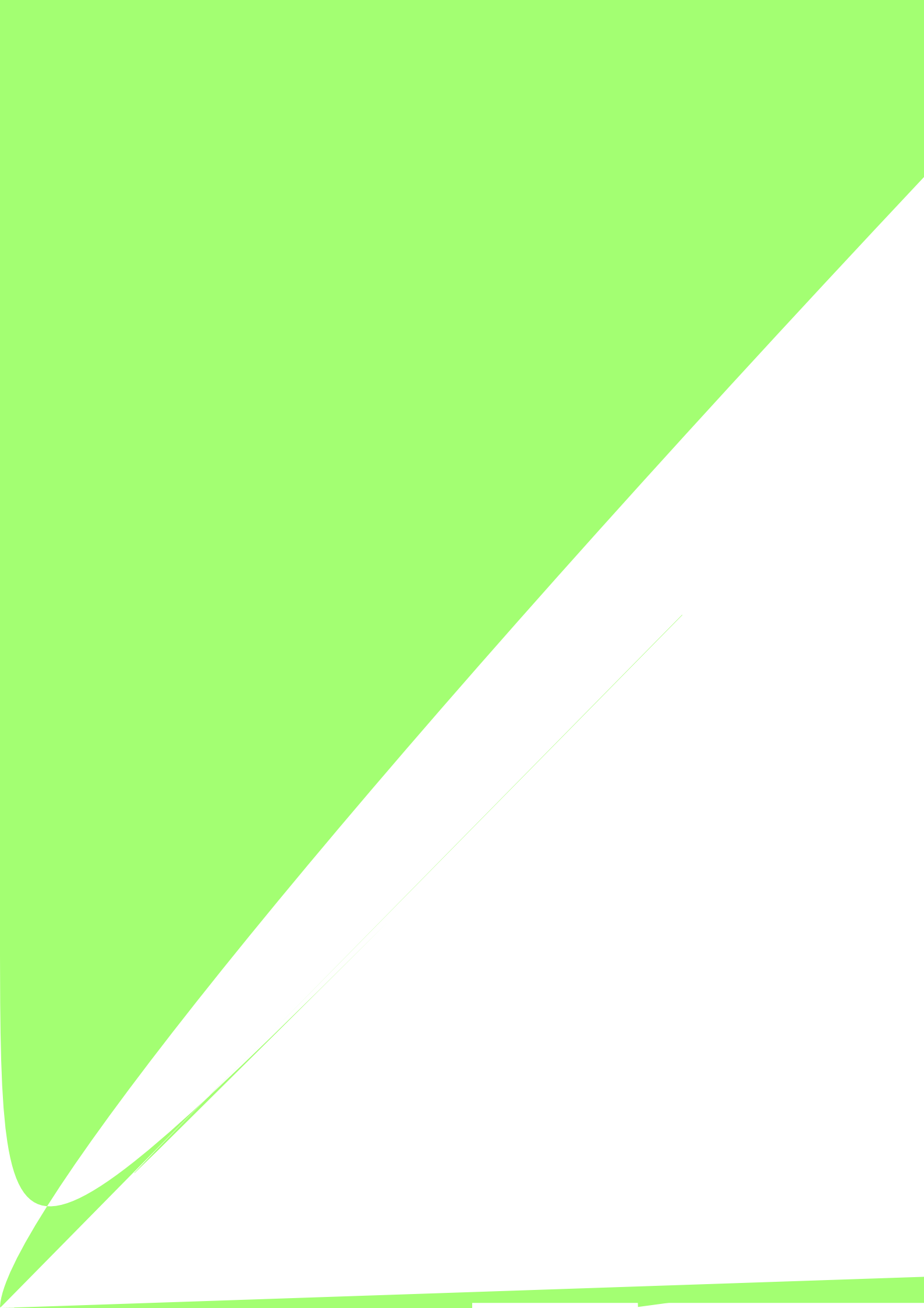
7. ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO JOANA

Foi realizado um estudo de caso de forma a verificar a aplicabilidade da metodologia estabelecida para o IRC. O objetivo deste estudo foi quantificar o risco de cheia na região de interesse, para um evento de tempo de recorrência específico. Como resultado, tem-se o mapeamento do risco associado a esta probabilidade, permitindo a comparação da severidade em áreas desta região e a detecção de zonas críticas. Estes resultados podem, inclusive, fornecer suporte a decisões quanto à gestão do risco de enchente.

A região escolhida para o estudo, que delimita o domínio de aplicação do IRC, foi a bacia do rio Joana, onde já foram realizadas outras pesquisas tais como CAMPOS (2001), D'ALTÉRIO (2004), VANNI (2004) e MAGALHÃES (2003). Portanto, dispõe-se de informações confiáveis e suficientes sobre seu comportamento durante inundações. Além disso, estes estudos também complementam as informações sobre características relevantes da região, no que se refere à sua ocupação, condições de saneamento e população. Por isso, podem contribuir não só para a base de dados de entrada do cálculo do IRC, mas também como referência para validação dos resultados obtidos.

O IRC foi calculado em pequenas sub-divisões da bacia do rio Joana (da ordem de alguns milhares de m²). Com isso, tem-se a associação entre informações espaciais – sub-divisões da bacia, que podem ser representadas por polígonos georreferenciados – e informações não-espaciais – dados de entrada e valores calculados dos indicadores, sub-índices e, finalmente, do IRC. Portanto, optou-se por organizar estes dados em um sistema de Informações geográficas (SIG), bastante conveniente e recomendável nestas situações. Ainda que esta ferramenta não seja indispensável para o cálculo do IRC, seu uso torna as tarefas de armazenamento, processamento, análise e, sobretudo, apresentação de dados e resultados extremamente mais simples e inteligível, além de mais amigável para o usuário.

A caracterização da região do estudo, apresentada a seguir, foi adaptada de VANNI (2004).



antigo Jardim Zoológico, hoje Parque Recanto do Trovador e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), mostrados na Figura 7.3.

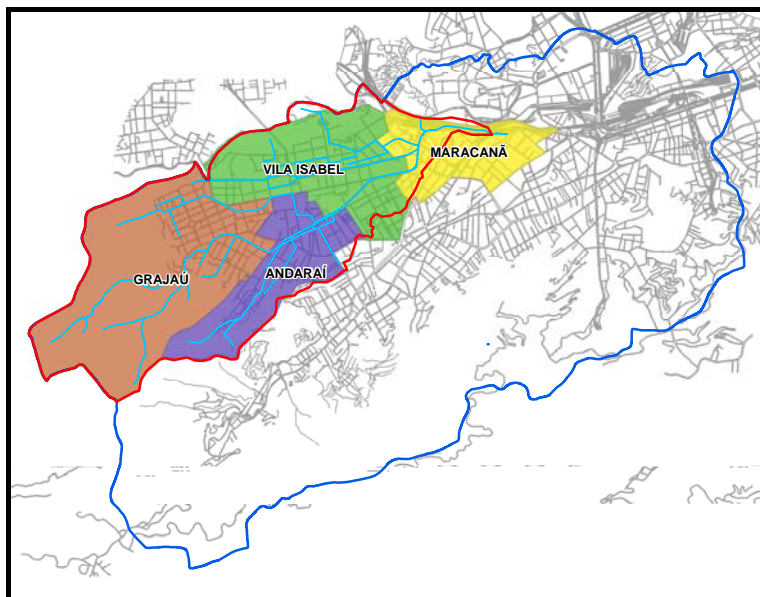


Figura 7.2 – Destaque dos bairros da bacia do rio Joana e da bacia do Canal do Mangue

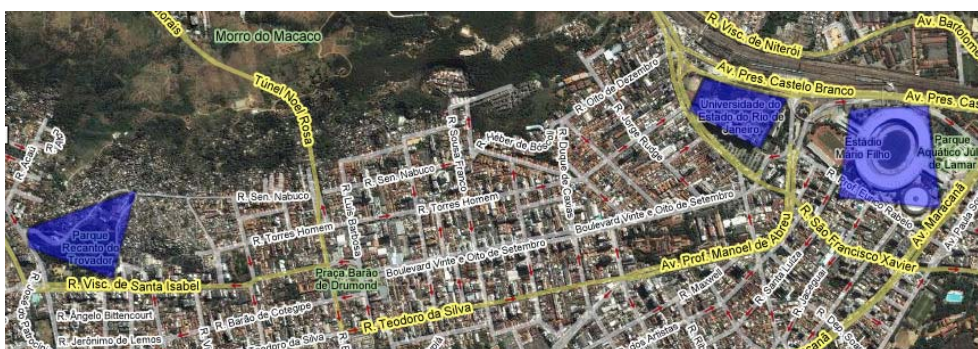


Figura 7.3 – Pontos importantes da bacia (Fonte: Google Maps)

O rio Joana é formado pelos rios Perdido e Jacó, recebendo contribuições a jusante dos rios Urubus e Andaraí, além das galerias das Ruas Visconde de Santa Isabel/28 de setembro e Torres Homem. A conformação dos rios da bacia é mostrada na Figura 7.4

O rio Perdido nasce nas encostas do Grajaú, no Parque Nacional da Tijuca, a uma altura de 600m em uma região ocupada por mata densa e vegetação arbustiva. Mais a jusante, pela sua margem direita, ele recebe a contribuição do rio Jacó, que nasce também nas encostas do Grajaú, mas em uma região ocupada pela favela Nova Divinéia. A partir do encontro entre os dois rios, ele passa a se chamar rio Joana.

Depois de seguir por um canal a céu aberto, o rio passa a fluir em galeria subterrânea, reaparecendo à superfície na esquina das ruas Barão de Mesquita e Maxwell,

seguindo até a UERJ. Neste ponto, o rio volta a ficar confinado, em galeria, até seu deságüe no rio Maracanã.

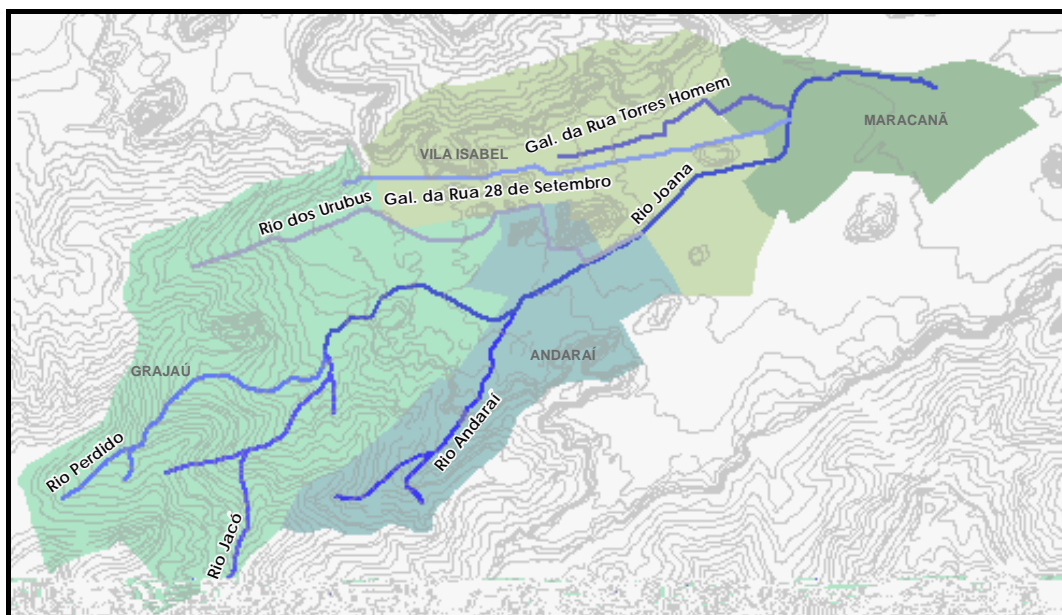


Figura 7.4 – Rede de macro-drenagem da bacia do rio Joana

Os dois afluentes principais do rio Joana são o rio Andaraí, que o intercepta pela margem direita e o rio dos Urubus, que chega pela margem esquerda.

A nascente do rio Andaraí localiza-se na encosta do Andaraí, em uma região bastante degradada, ocupada pelas favelas do Andaraí e Arrelia. Chegando ao trecho de planície, o rio corre confinado em galeria, até o deságüe no rio Joana. Esse afluente apresenta alta taxa de poluição por esgoto sanitário e lixo, acarretando em problemas graves para o escoamento durante chuvas intensas.

O rio dos Urubus nasce na Reserva Florestal do Grajaú, em uma área de vegetação ainda bem conservada. Nas áreas planas, o rio flui em galeria, sob áreas densamente povoadas do Grajaú e Vila Isabel, até seu deságüe no rio Joana.

O rio Joana também recebe a contribuição de outras galerias, provenientes da drenagem dos bairros do Andaraí, Vila Isabel e parte da Tijuca.

Através de levantamento aerofotogramétrico realizado em 1999, verifica-se que metade da área das encostas da bacia do rio Joana ainda é ocupada por mata atlântica nativa. Outros 45% são igualmente divididos entre áreas de vegetação rasteira e áreas ocupada por favelas, incluindo Nova Divinéia (Grajaú); Andaraí, Arrelia e Parque João Paulo II (Andaraí); e Morro dos Macacos (Vila Isabel).

Os bairros da bacia do rio Joana apresentam características distintas, devido aos diferentes processos de urbanização adotados por cada um deles. O Grajaú é um bairro essencialmente residencial, com predominância de lotes ocupados por casas e prédios baixos, e ruas arborizadas. Parte deste bairro, foi projetada para que incluísse loteamentos regulares, ruas largas e traçadas em simetria a partir da praça Edmundo Rego, visando atrair segmentos da classe média. Por isso, este bairro é o que apresenta o menor grau de impermeabilização. Os moradores deste bairro são também os que contam com maior renda. A rua Barão do Bom Retiro é a via de maior importância nas proximidades do bairro. Ela dá acesso a outras vias arteriais e faz a ligação do bairro com seu vizinho, Andaraí.

O Andaraí, também é um bairro predominantemente residencial, mas com um padrão urbanístico diferente do primeiro. Historicamente, este bairro foi ocupado por diversas fábricas, que traziam consigo vilas operárias e população de mais baixa renda. Os terrenos ocupados pelas indústrias foram posteriormente vendidos para loteamentos residenciais. Os residentes do bairro integram desde classes baixas, nas zonas de favela, até classes mais abastadas. A principal via desta região é a rua Barão de Mesquita, onde termina a rua Barão do Bom Retiro. Ela faz a ligação do bairro com o Maracanã. Outra via de destaque é a rua Barão de São Francisco, transversal à anterior, que dá acesso a outras vias arteriais em Vila Isabel.

Vila Isabel é um bairro mais heterogêneo. Possui tanto áreas residenciais, onde se pode notar certa semelhança com o padrão de ocupação do Grajaú, quanto comerciais, na região próxima ao Boulevard 28 de Setembro, estendendo-se até as imediações da UERJ. O bairro é o mais densamente ocupado e sua população pertence às camadas de renda mais baixa. A zona de favela ocupa grande parte da encosta do Morro dos Macacos. Nesta região se encontram algumas das principais vias da bacia do rio Joana. A rua Visconde de Santa Isabel é onde começa o boulevard 28 de Setembro, que cruza todo o bairro. Paralelo ao Boulevard, a rua Teodoro da Silva também cruza Vila Isabel, ligando o Grajaú, desde onde cruza a rua Barão do Bom Retiro, com o Maracanã.

O Maracanã, que também apresenta ocupação residencial significativa, é o bairro mais próximo da foz do rio Joana, sofrendo constantemente com o extravasamento do rio. Por esta região passa a Av. Presidente Castelo Branco, a mais importante de toda a região da bacia, onde há intenso fluxo de veículos. Nela chega a rua São Francisco Xavier a rua Manoel de Abreu, continuação da rua Teodoro da Silva.

O rio Joana encontra-se bastante degradado pela contaminação por esgotos sanitários e acúmulo de lixo.

7.2. Propriedades da Inundação

O dados necessários para o cálculo dos indicadores que compõe o sub-índice PI – Cota, Fator de Permanência e Fator de Velocidade – foram obtidos no estudo realizado por VANNI (2004). Neste estudo, foi aplicado o Modelo de Células de escoamento para Bacias Urbanas (MIGUEZ *et al*, 2001) para a simulação dos efeitos de uma chuva de 10 anos de tempo de recorrência, uniformemente distribuída sobre a bacia do rio Joana, considerando as condições de urbanização atuais. O uso desta precipitação em particular para o cálculo do IRC permite associar os resultados a uma probabilidade de ocorrência de 10% (1/10).

Detalhes sobre o modelo utilizado são descritos a seguir, com base em MIGUEZ *et al.* (2001).

7.2.1. MODCEL: modelo de células para escoamento em bacias urbanas

O modelo de células foi criado com a intenção de simular o comportamento do escoamento superficial, especialmente durante eventos de inundação, quando a água extravasa a rede de macro-drenagem ou não é coletada adequadamente pela rede de micro-drenagem, por qualquer deficiência do sistema. Nestas situações, o escoamento da água pela área urbana passa a ser regido por normas diferentes daquelas aplicadas a bacias hidrográficas rurais ou rios, canais e tubulações do meio urbano: zonas aproximadamente planas tornam-se grandes áreas alagáveis; calçadas marginais atuam como vertedouros para os rios; ruas se transformam em verdadeiros canais, por onde a água flui com velocidade; praças e parques funcionam como reservatórios.

A divisão da superfície da bacia em células de escoamento com características hidráulicas e hidrológicas específicas, é o maior atributo deste modelo e o torna uma interessante alternativa para aplicação na simulação de enchentes urbanas.

O modelo considera que a natureza pode ser representada por compartimentos homogêneos, interligados, chamados células de escoamento. A região subdividida em células, forma uma rede de escoamento bi-dimensional, com possibilidade de

escoamento em várias direções nas zonas de inundação, a partir de relações unidimensionais de troca.

Cada célula comunica-se hidráulicamente com células vizinhas, recebe a contribuição de precipitações e realiza processos hidrológicos internos para transformação de chuva em vazão. Às vazões trocadas com as células vizinhas soma-se a vazão resultante da transformação da chuva.

O escoamento entre células pode ser calculado através de leis hidráulicas conhecidas, como, por exemplo, a equação dinâmica de Saint-Venant (na sua forma completa ou simplificada), a equação de escoamento sobre vertedouros, a equação de escoamento através de orifícios, equações de escoamento através de bueiros, entre outras várias.

A definição de tipos de células e de ligações entre células visa representar as leis hidráulicas que traduzem diferentes escoamentos, permitindo reproduzir uma multiplicidade de padrões observados no cenário urbano. A Figura 7.5 mostra, esquematicamente, o funcionamento de uma dada célula.

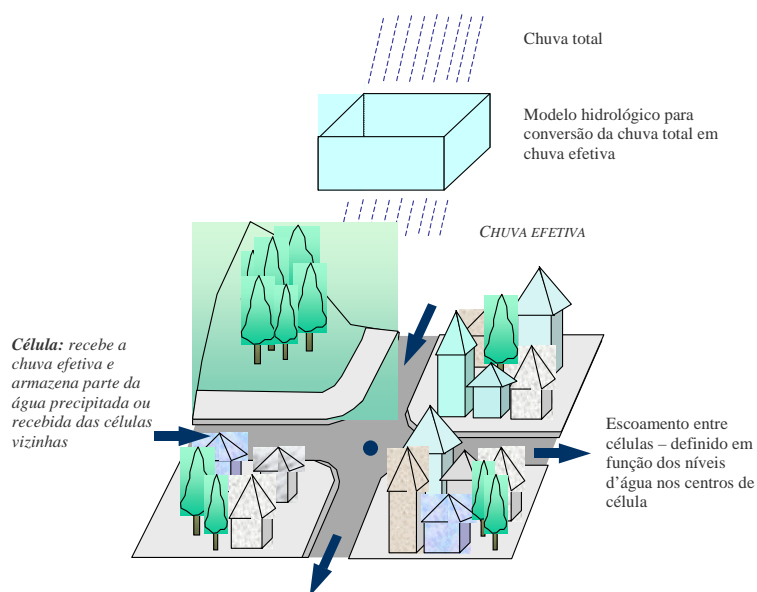


Figura 7.5 – Funcionamento esquemático de uma célula de escoamento

Os tipos de células representadas pelo modelo são:

- de rio, ou canal, por onde se desenvolve o escoamento principal da drenagem a céu aberto, podendo ser a seção simples ou composta, porém, aproximadamente retangulares;
- de galeria, subterrânea, complementando a rede de drenagem;

- de planície urbanizada, para a representação de escoamentos a superfície livre em planícies alagáveis; áreas de armazenamento, ligadas umas às outras por ruas; áreas de encosta, para recepção e transporte da água precipitada sobre as mesmas para dentro do modelo; áreas de vertimento da água de um rio para ruas vizinhas e vice-versa; e áreas de transposição de margens, quando é preciso integrar as ruas marginais a um rio e que se comunicam através de uma ponte;
- de planície natural, não urbanizada, análoga ao tipo anterior, porém prismática, sem sustentar nenhum tipo de urbanização;
- de reservatório, simulando o armazenamento d'água em um reservatório temporário de armazenamento, dispondo de uma curva cota x área superficial, a partir da qual, conhecendo-se a variação de profundidades, pode-se também conhecer a variação de volume armazenado. A célula tipo-reservatório cumpre o papel de amortecimento de uma vazão afluente.

A Figura 7.6 mostra um corte em uma bacia, mostrando esquematicamente a modelação do espaço urbano através de células de escoamento.

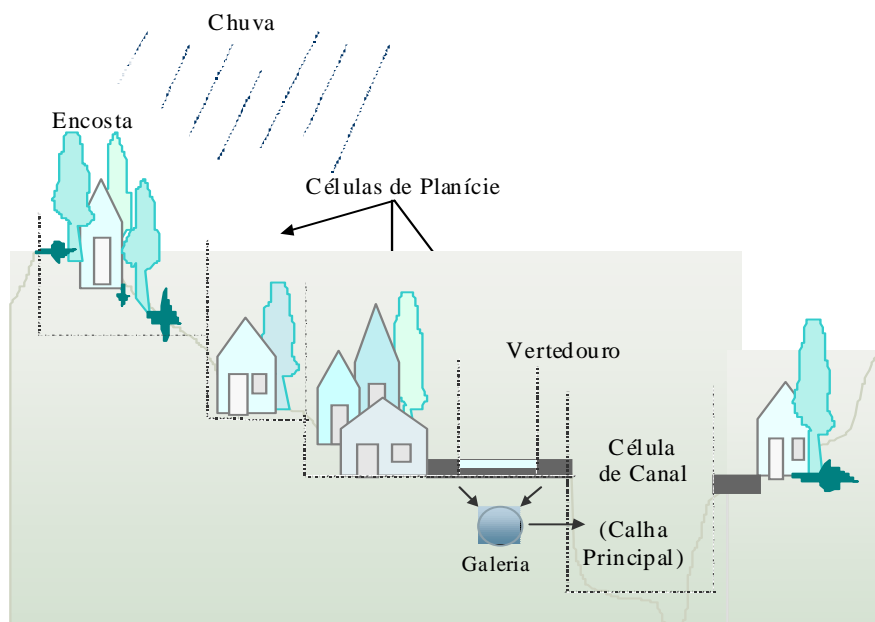


Figura 7.6 – Representação esquemática de uma região dividida em células, mostrando interfaces dos escoamentos superficiais.

As ligações típicas de escoamento entre células, que podem ser escritas em função de leis hidráulicas, são listadas a seguir:

- ligação tipo rio, para escoamento à superfície livre, considerando a equação dinâmica de Saint Venant, incluindo seus termos de inércia;
- ligação tipo planície, para escoamento à superfície livre, considerando a equação dinâmica de Saint Venant, sem os termos de inércia;
- ligação tipo vertedouro de soleira espessa, considerando a equação clássica, para escoamento livre ou afogado;
- ligação tipo orifício, também clássica;
- ligação tipo entrada de galeria, com contração do escoamento;
- ligação tipo saída de galeria, com expansão do escoamento;
- ligação tipo galeria, com escoamento à superfície livre ou sob pressão;
- ligação tipo curva cota x descarga, estruturas especiais calibradas em laboratório físico (modelos reduzidos);
- ligação tipo descarga de galeria em rio, funcionando como vertedouro, livre ou afogado, ou orifício, para galerias que chegam a um rio em cota superior ao fundo deste, por uma das margens;
- ligação tipo bueiro, como interface das células superficiais com as células de galeria;
- ligação tipo bombeamento, com descarga de uma célula para outra a partir de uma cota de partida;
- ligação tipo comporta “flap”, funcionando como este tipo de comporta de sentido único de escoamento.

Os resultados do modelo fornecem informações sobre a evolução temporal da profundidade de alagamento nas células, bem como vazões entre células vizinhas, durante o período de simulação.

7.2.2. Cálculo dos indicadores de PI

Conforme explicado, a aplicação do MODCEL requer a divisão da região de estudo em células. A divisão efetuada na bacia do rio Joana, constituída por uma malha de 200 células, é mostrada na Figura 7.7. Para cada uma das células, foi calculada a

evolução temporal das profundidades de alagamento, durante um período de 6 horas, a intervalos de 3 minutos. Também foram utilizados como dados de entrada do modelo as cotas referentes ao fundo do centro das células.

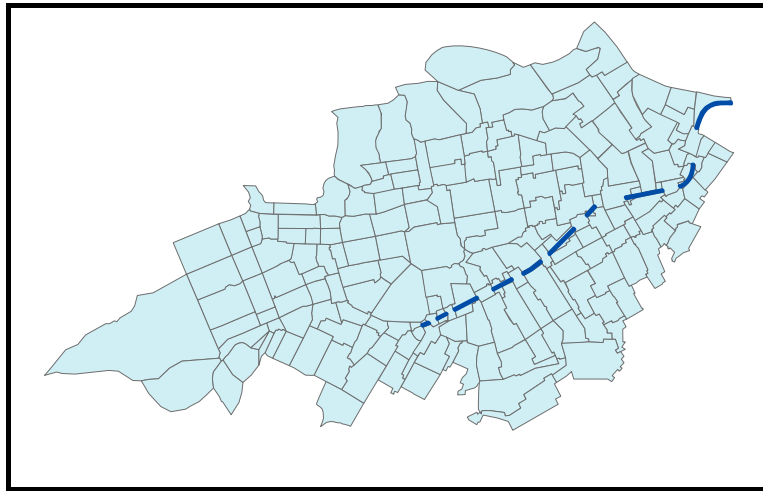


Figura 7.7 – Divisão da bacia do rio Joana em células para aplicação do MODCEL

Assim, para cada célula, é calculado o valor de I_{Cot}^{PI} , I_{FV}^{PI} e I_{FP}^{PI} , como indicado na representação da Figura 7.8. Considera-se que o valor dos indicadores é homogêneo dentro de uma mesma célula, como representado na Figura 7.9.

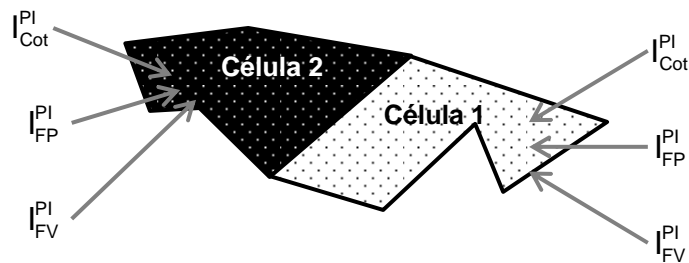


Figura 7.8 – Cálculo dos indicadores para cada célula

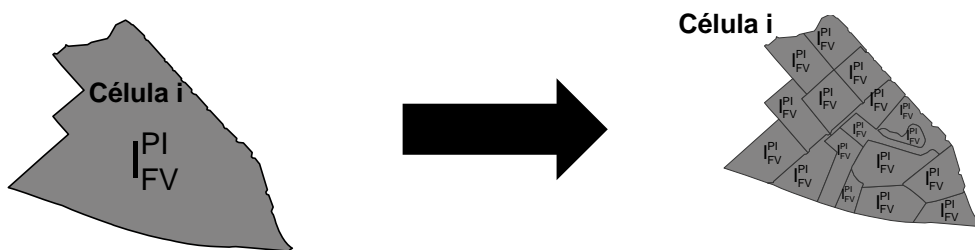


Figura 7.9 – Hipótese de que os indicadores são homogêneos sobre a área das células

As células, bem como os dados necessários ao cálculo dos indicadores e os próprios indicadores foram inseridos em um SIG, como explicado ao princípio. Portanto, a representação gráfica destes dados será apresentada ao longo deste capítulo.

7.2.2.1 CÁLCULO DO INDICADOR I_{Cot}^{PI}

Para o cálculo de I_{Cot}^{PI} foram tomadas as máximas profundidades de alagamento observadas em cada célula, durante o período de simulação, uma vez que este constitui o pior caso no que diz respeito ao risco. Estes valores foram normalizados, de acordo com a curva apresentada no Capítulo 6, resultando no valor do indicador I_{Cot}^{PI} , para cada célula. Vale notar que as cotas máximas não ocorrem simultaneamente. Os resultados deste indicador estão representados no mapa da Figura 7.10.

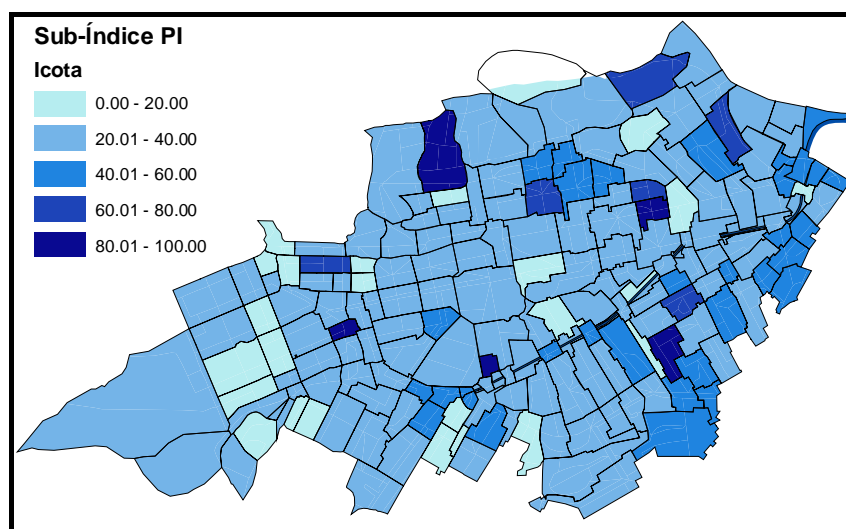


Figura 7.10 – Mapa de I_{Cot}^{PI}

Os resultados mostram pontos localizados de alagamento crítico, enquanto que a maior parte da região da bacia apresenta alagamentos menos significativos. Na realidade, nem todos estes pontos críticos são realmente observados e alguns deles se devem a imprecisões do processo de simulação. Isso se aplica sobretudo as zonas de encosta, no Morro dos Macados. Ocorrem, de fato, alagamentos relevantes ao longo das margens do rio Joana, na rua Maxwell; nas regiões próximas ao limite das encostas e áreas de planície (no Grajaú, em Andaraí e em Vila Isabel), sobretudo junto à confluência do rio Andaraí e do rio dos Urubus com o rio Joana; nas zonas de cotas mais baixas, à margem direita do rio, no limite entre Andaraí e Maracanã; e na foz do rio Joana, próximo ao Maracanã.

7.2.2.2 CÁLCULO DO INDICADOR I_{FP}^{PI}

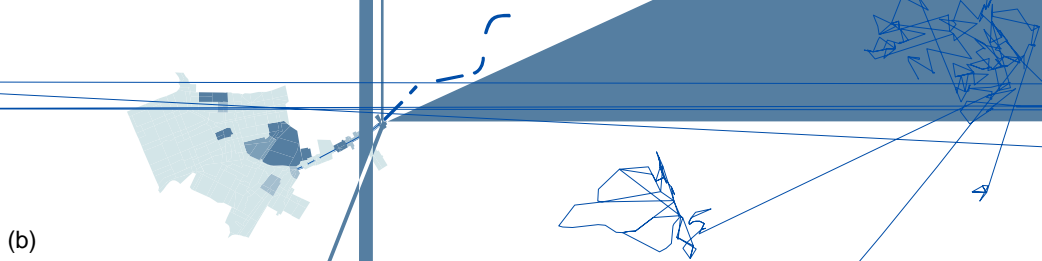
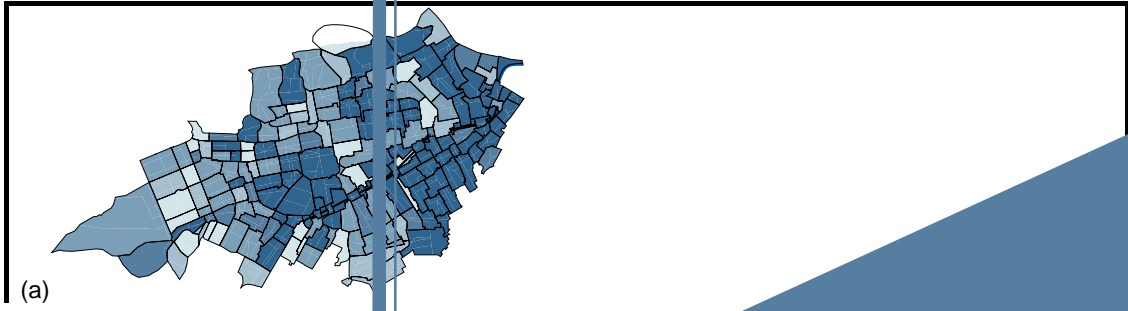
Para a determinação de I_{FP}^{PI} , foi necessário, primeiramente, calcular os valores de t_{10} , t_{30} e t_{50} , de cada célula, referentes aos tempos (em minutos) durante os quais esta permanecia alagada com mais de 10, 30 e 50cm, respectivamente.

Como se dispunha da série temporal da cota de alagamento, bastou determinar o instante de início (t_{ini}^{10} , t_{ini}^{30} e t_{ini}^{50}) – quando estes limites eram ultrapassados – e fim (t_{fim}^{10} , t_{fim}^{30} e t_{fim}^{50}) – quando a cota passava a ser inferior a estes limites – de cada um destes alagamentos. Assim a Eq. (7.1) fornece o valor de t_{10} , t_{30} e t_{50} .

$$t_i = t_{fim}^i - t_{ini}^i, \quad \text{para } i = 10, 30 \text{ ou } 50 \quad \text{Eq. (7.1)}$$

Vale ressaltar que, se o alagamento na célula não atingia 10cm, $t_{10} = t_{30} = t_{50} = 0$ mins. E, se ao fim da simulação o alagamento permanecia acima do limite i (para $i=10, 30$ ou 50 cm), $t_{fim}^i = 360$ mins, correspondendo ao instante final da simulação.

Obtidos t_{10} , t_{30} e t_{50} , estes valores foram normalizados, segundo suas respectivas curvas, resultando nos valores de T_{10} , T_{30} e T_{50} .



7.2.2.3 CÁLCULO DO INDICADOR I_{FV}^{PI}

Como o cálculo do fator de velocidade exige a disponibilidade de dados de velocidade, os quais não estavam disponíveis, foi necessário fazer uma aproximação. Optou-se por utilizar a máxima declividade entre uma célula e suas vizinhas, e utilizar a fórmula de Manning (apresentada na Eq. (7.3)), fazendo-se uso de algumas suposições, para calcular a velocidade.

Para o cálculo da declividade, foram usados os dados de entrada utilizados na modelagem, referentes a cota do centro de cada célula e a distância entre o centro de células adjacentes. Assim, a declividade entre células vizinhas é dada pela Eq. (7.2). A máxima declividade associada a uma célula é a máxima entre as declividades calculadas para esta e suas adjacentes, como representa a Figura 7.13.

$$S_{i-j} = \frac{z_i - z_j}{d_{i-j}} \quad \text{Eq. (7.2)}$$

Onde:

S_{i-j} : é a declividade entre as células i e j

z_i e z_j : são as cotas de fundo dos centros das células i e j , respectivamente, em m

d_{i-j} : distância entre o centro das células i e j , em m

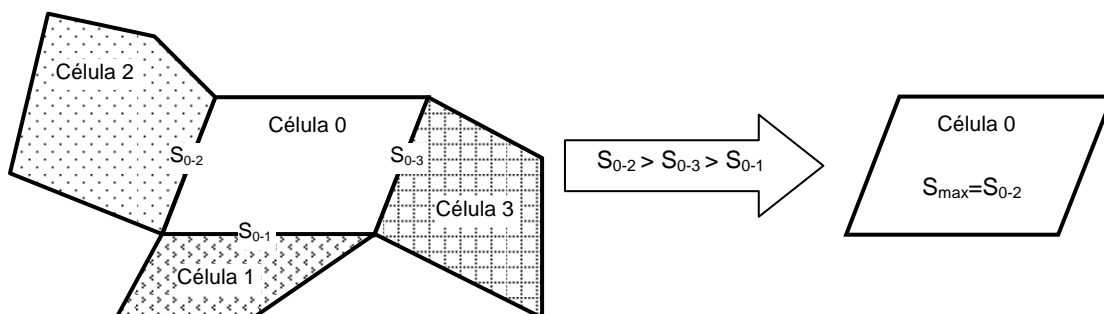


Figura 7.13 – Determinação da declividade máxima de uma célula

As hipóteses consideradas para a conversão da declividade máxima em velocidade, consideraram que: o escoamento referente à máxima declividade ocorre nas ruas, cuja seção transversal é homogênea em toda a bacia, representada na Figura 7.14; o valor do coeficiente de Manning também é o mesmo em todas as ruas, igual a 0,1.

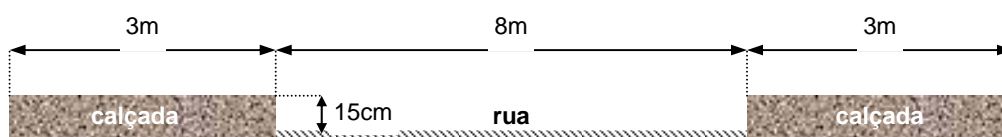
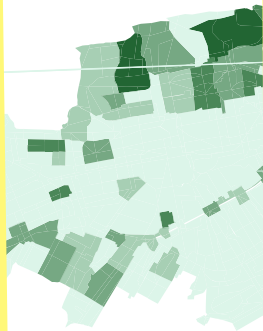


Figura 7.14 – Seção retangular composta de rua considerada no cálculo da velocidade

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_{TH}^{\frac{2}{3}}$$

máxima associada a
rugosidade de Manni
, resultado da propo
tividade associada à
a a velocidade, seu
FV obtido foi norma
o-se ao valor de I_{FV}^{PI}
entre uma célula e
também maior. Isso
s resultados para o i



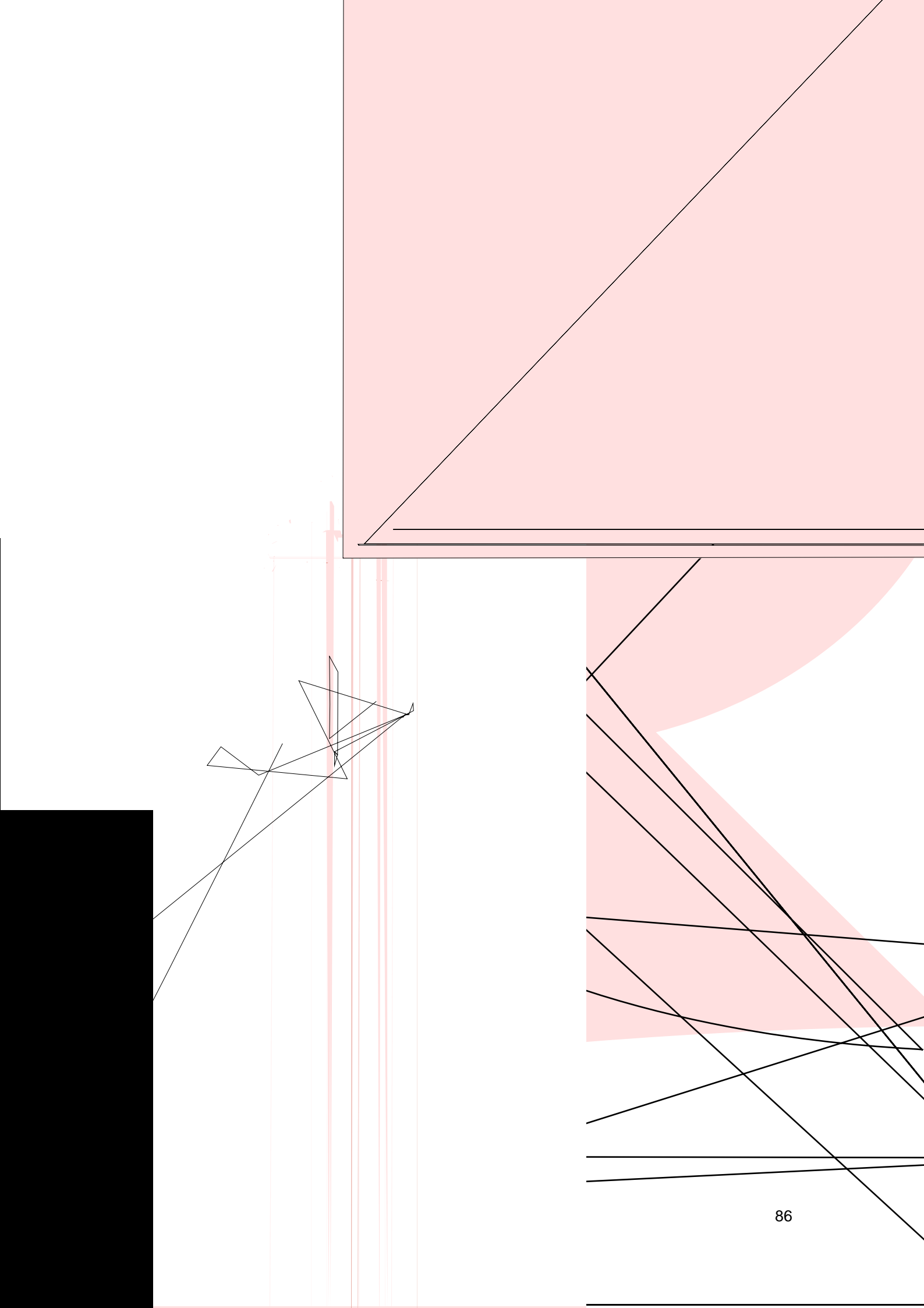
7.2.3. Cálculo do sub-índice PI

O sub-índice PI resulta da soma ponderada dos indicadores I_{Cot}^{PI} , I_{FP}^{PI} e I_{FV}^{PI} . Assim, para que ele possa ser calculado, é necessário determinar pesos para cada um desses indicadores, tarefa que, conforme explicado anteriormente, é atribuída ao tomador de decisão. Portanto, os pesos aqui apresentados constituem apenas um artifício para que se demonstre a aplicação do IRC.

A determinação dos pesos foi feita utilizando o método de análise hierárquica, como sugerido no capítulo anterior. Foram estabelecidos cinco conjuntos de pesos, representativos de cenários distintos quanto à importância dos indicadores para o risco, segundo o que poderia ser o julgamento de diferentes gestores. A Tabela 7.1 explica em detalhes cada um destes cenários.

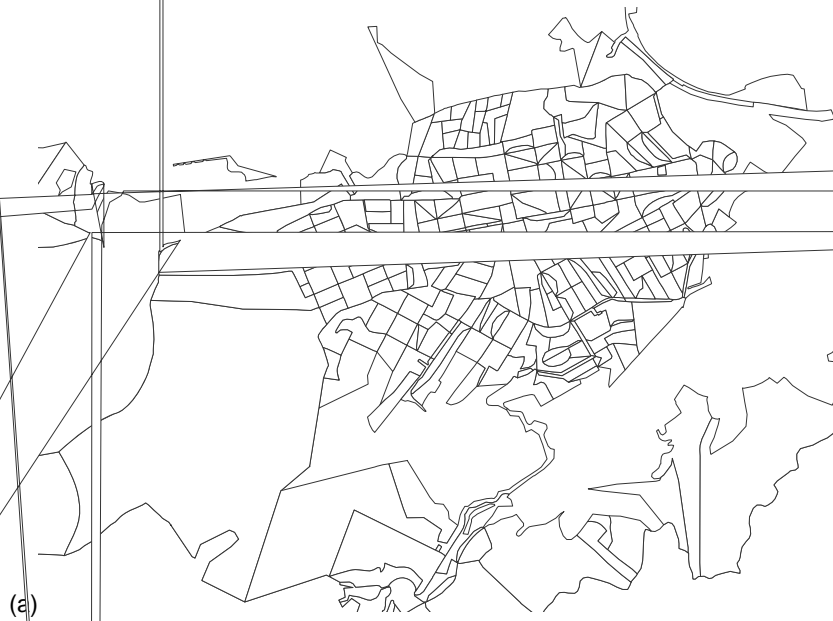
Tabela 7.1 – Exemplo de determinação de pesos para os indicadores de PI

CENÁRIOS	JULGAMENTOS	Pesos			GC
		p_{Cot}^{PI}	p_{FV}^{PI}	p_{FP}^{PI}	
PI-C1	I_{Cot}^{PI} é extremamente mais importante que I_{FP}^{PI} e um pouco menos importante que I_{FV}^{PI} . I_{FV}^{PI} é um pouco mais importante que I_{FP}^{PI} .	0,69	0,23	0,08	0,0%
PI-C2	I_{Cot}^{PI} é um pouco mais importante que I_{FP}^{PI} e um pouco menos importante que I_{FV}^{PI} . I_{FV}^{PI} é bastante mais importante que I_{FP}^{PI} .	0,26	0,63	0,11	4,8%
PI-C3	I_{Cot}^{PI} é bastante menos importante que I_{FP}^{PI} e um pouco mais importante que I_{FV}^{PI} . I_{FV}^{PI} é extremamente menos importante que I_{FP}^{PI} .	0,18	0,07	0,75	4,5%
PI-C4	I_{Cot}^{PI} é tão importante quanto I_{FP}^{PI} e um pouco mais importante que I_{FV}^{PI} . I_{FV}^{PI} é um pouco menos importante que I_{FP}^{PI} .	0,43	0,14	0,43	0,0%
PI-C5	I_{Cot}^{PI} é tão importante quanto I_{FP}^{PI} e tão importante quanto I_{FV}^{PI} . I_{FV}^{PI} é tão importante quanto I_{FP}^{PI} .	0,33	0,33	0,33	0,0%



7.3.1. *Uso de dados censitário para o cálculo de indicadores*

A base de dados do IBGE é constituída por 520 variáveis, cujo domínio é o setor censitário correspondente (representados por polígonos no SIG). A região da bacia do rio Joana, delimitada pelas 200 células do MODCEL, intercepta aproximadamente 255 setores censitário no município do Rio de Janeiro, que serão considerados para o cálculo dos indicadores I_{DD}^C , I_R^C e I_{SI}^C . A Figura 7.17 mostra os setores censitários considerados e o limite definido pelas células do MODCEL.



7.3.1.1 CÁLCULO DO INDICADOR I_{DD}^C

Para o cálculo do indicador I_{DD}^C , foram utilizados os dados relativos ao número total de domicílios e a área dos setores censitários (em km^2). A densidade de domicílios (DD), em domicílios por km^2 , corresponde à razão entre essas duas variáveis, conforme mostra a Eq. (7.4).

$$DD = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Domicílios}}{\text{Área}} \quad \text{Eq. (7.4)}$$

O valor da densidade de domicílios foi então normalizado, segundo a curva determinada no capítulo anterior, obtendo-se I_{DD}^C . O mapa apresentado na Figura 7.18 mostra este resultado.

Pode-se observar que o núcleo central do Andaraí e, principalmente, de Vila Isabel são as regiões mais densas da bacia. O setor com baixa densidade à margem esquerda do rio, próximo à foz, é onde se localiza o hospital Pedro Ernesto. Observa-se também que, apesar de haver ocupação nas encostas, a densidade de domicílios não é tão alta nesta região, com exceção da área correspondente à favela do Jamelão.

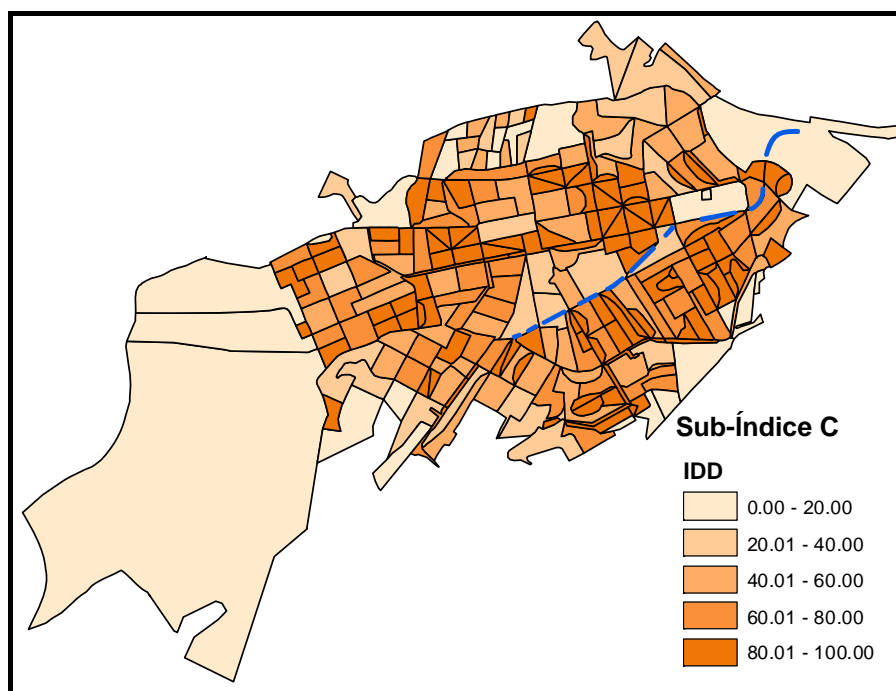


Figura 7.18 – Resultados do indicador I_{DD}^C

7.3.1.2 CÁLCULO DO INDICADOR I_R^C

A base de dados do IBGE fornece informações sobre o rendimento nominal mensal de todos os responsáveis de domicílio (soma, total) para cada setor censitário (em R\$). Uma aproximação para o valor da renda nominal mensal per capita (R, em R\$) foi obtida dividindo-se a renda nominal mensal pelo número de domicílios, que é igual ao número de responsáveis por domicílios, de acordo com a Eq. (7.5).

$$R = \frac{\text{Renda Nominal Mensal (R\$)}}{\text{Nº de Responsáveis}} \quad \text{Eq. (7.5)}$$

O valor obtido para a renda foi então normalizado segundo estabelecido no capítulo anterior. O mapa da Figura 7.19 apresenta esses resultados.

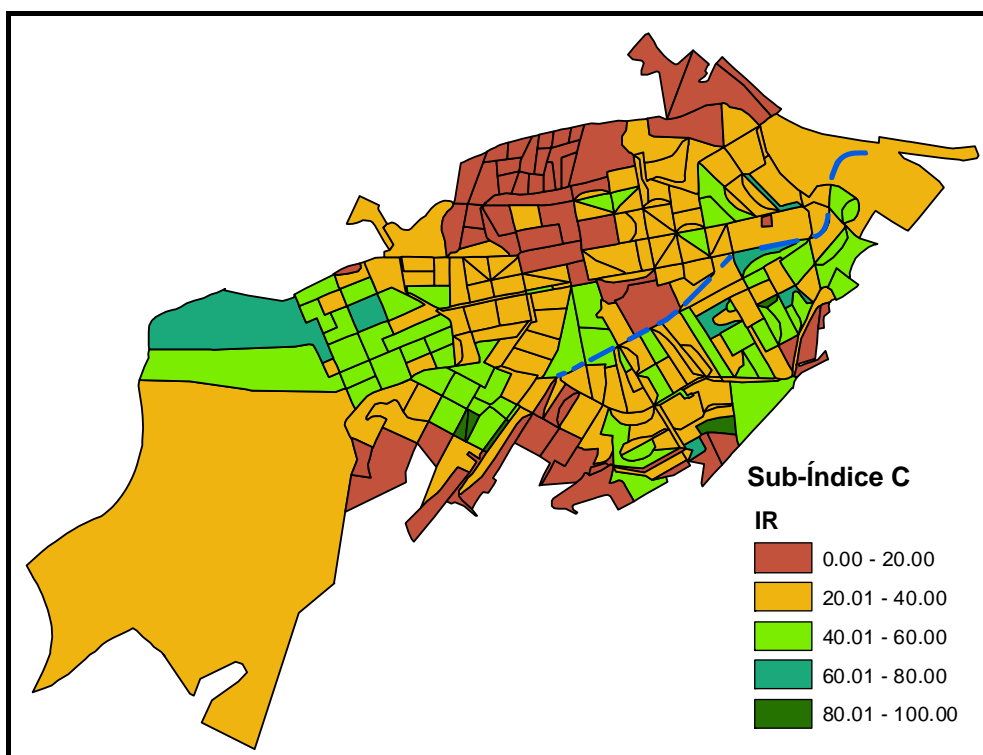


Figura 7.19 – Resultados do indicador I_R^C

Observa-se que nas áreas de encosta, ocupadas por favelas, o valor de I_R^C é, de fato, relativamente mais baixo. A Figura 7.20 ilustra esta situação. O bairro do Grajaú é o que apresenta maior renda, enquanto Andaraí e Vila Isabel são bairros de renda mais baixa.



saneamento e destino do lixo. Por isso, para este estudo, foi considerado que o percentual de domicílios, no setor, com esgotamento sanitário inadequado seria representativo do saneamento inadequado, de maneira geral.

Foi também considerado que o esgotamento sanitário adequado correspondia aos domicílios ligados à rede geral de esgoto, à rede pluvial ou que descartavam o esgoto em fossa (séptica ou rudimentar). As demais formas de descarte de esgoto foram avaliadas como inadequadas (descarte em vala, rio, lago ou mar, ausência de sanitário, outros escoadouros).

Assim, foi calculado, em primeiro lugar, o total de domicílios cujo esgotamento era inadequado, como mostra a Eq. (7.6). Para determinar o percentual de domicílios com esgotamento inadequado foi calculada a razão entre o número de domicílios com esgotamento inadequado e o número total de domicílios do setor, como na Eq. (7.7).

$$N_{EI} = N_{vala} + N_{rio,lago,mar} + N_{s/san} + N_{outros} \quad \text{Eq. (7.6)}$$

$$\%EI = \frac{N_{EI}}{N_{Total}} \quad \text{Eq. (7.7)}$$

Onde:

N_{EI} : número de domicílios com esgotamento inadequado

N_{vala} : número de domicílios onde o esgoto é descartado em vala

$N_{rio, lago, mar}$: número de domicílios onde o esgoto é descartado em rio, lago ou mar

N_{outros} : número de domicílios com outros tipos de escoadouro inadequado, diferentes dos já citados

$N_{s/san}$: número de domicílios que não dispõem de banheiro ou sanitário

N_{Total} : número total de domicílios no setor

$\%EI$: percentual de domicílios com esgotamento inadequado, em um setor

O valor obtido para a $\%EI$ foi normalizado da mesma maneira como havia sido estabelecido para o percentual de domicílios com saneamento inadequado, resultando em I_{SI}^C . O mapa da Figura 7.21 apresenta os resultados.

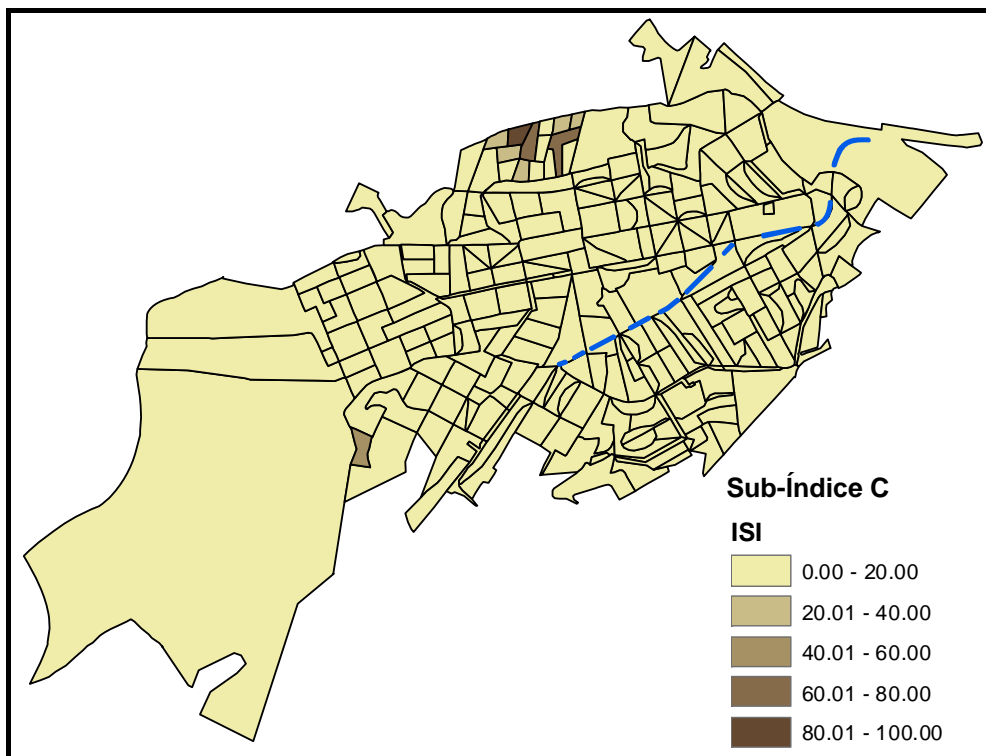


Figura 7.21 – Resultados do indicador I_{SI}^C

Neste mapa, fica bastante evidente que as áreas onde se observam valores altos do indicador de saneamento inadequado, I_{SI}^C , coincidem com áreas de encosta, onde se localizam favelas. Em alguns casos, estas são as mesmas áreas que também apresentavam o indicador I_R^C , referente à renda, com valores mais baixos.

7.3.2. Uso de dados da rede viária para o cálculo do indicador I_T^C

Como pode ser visto na Figura 7.22, os dados referentes à rede viária hierarquizada do município do Rio de Janeiro podem ser representados por segmentos de reta, aos quais estão associadas informações sobre a hierarquia de cada via, representando sua respectiva importância.

No entanto, todos os indicadores calculados até então estão relacionados a áreas (representadas por polígonos), sejam elas células ou setores censitários. Como explicado anteriormente o indicador relativo ao tráfego é função da máxima hierarquia da via que passa por determinada região. Região esta que também deve estar associada a uma área.

Em seguida transfere-se a informação relativa à máxima hierarquia da via para estas regiões. Uma vez que essas informações estão associadas a áreas, é possível calcular I_T^C a partir da normalização destes valores, como pode ser visto na Figura 7.24. Nela, pode-se notar que o valor de I_T^C acompanha o traçado das vias.

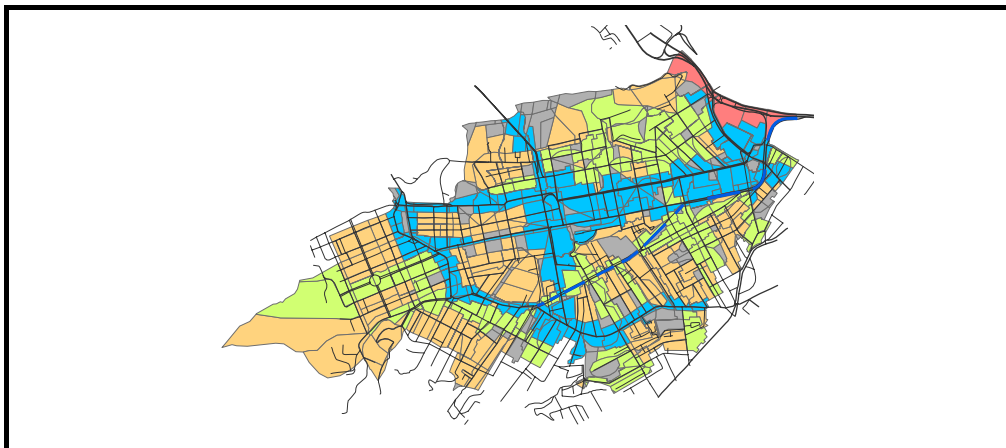
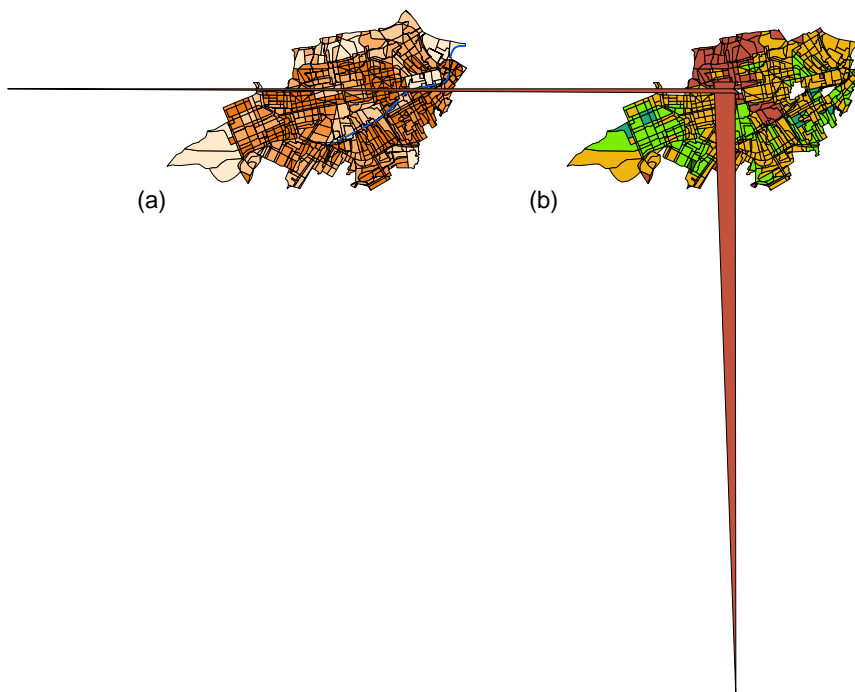


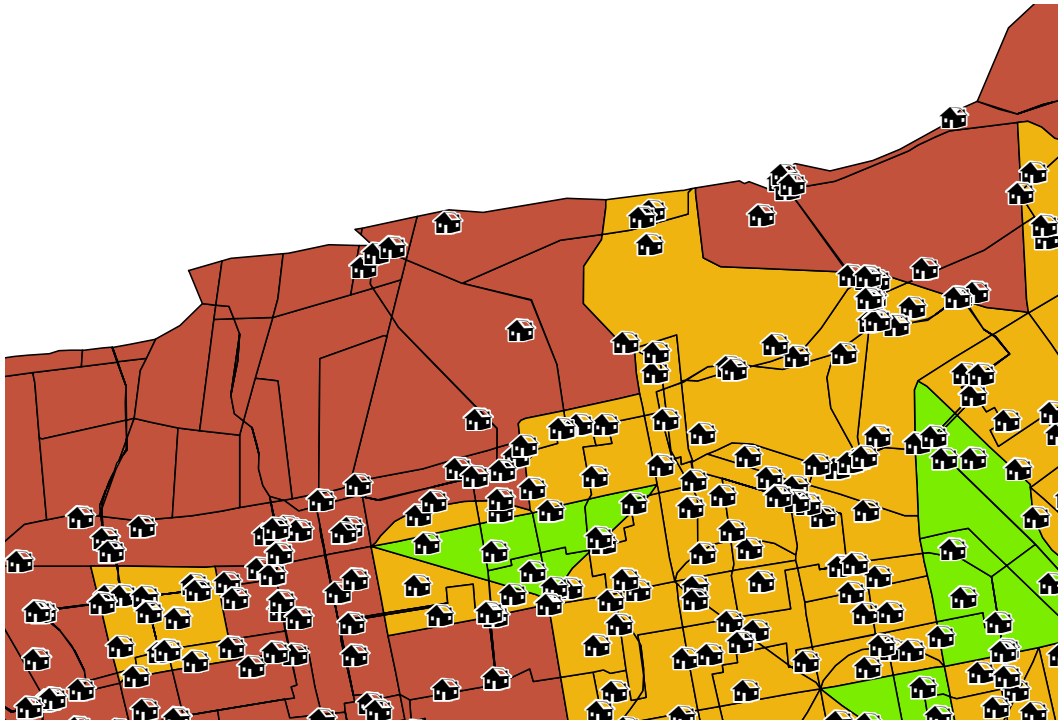
Figura 7.24 – Transferência de informação das vias para regiões e resultados para I_T^C

7.3.3. Cálculo do sub-índice C

O sub-índice C resulta da soma ponderada dos indicadores I_{DD}^C , I_R^C , I_{SI}^C e I_T^C . No entanto, enquanto os três primeiros se aplicam a setores censitários, o indicador I_T^C foi calculado para uma malha resultante da interseção entre setores e células. Para que fosse possível operá-los, a malha de setores censitários foi convertida na malha da interseção, considerando que os valores dos indicadores I_{DD}^C , I_R^C e I_{SI}^C são homogêneos em todo o setor. Assim, temos como resultado para estes três indicadores os mapas apresentados na Figura 7.25. Observa-se que nas sub-divisões de um mesmo setor, o valor destes indicadores permanece inalterado. Os valores do sub-índice C serão calculados em cada uma das sub-divisões da malha resultante da interseção.



É possível observar simultaneamente os valores de I_{DD}^C , I_R^C e I_{SI}^C , como na Figura 7.26

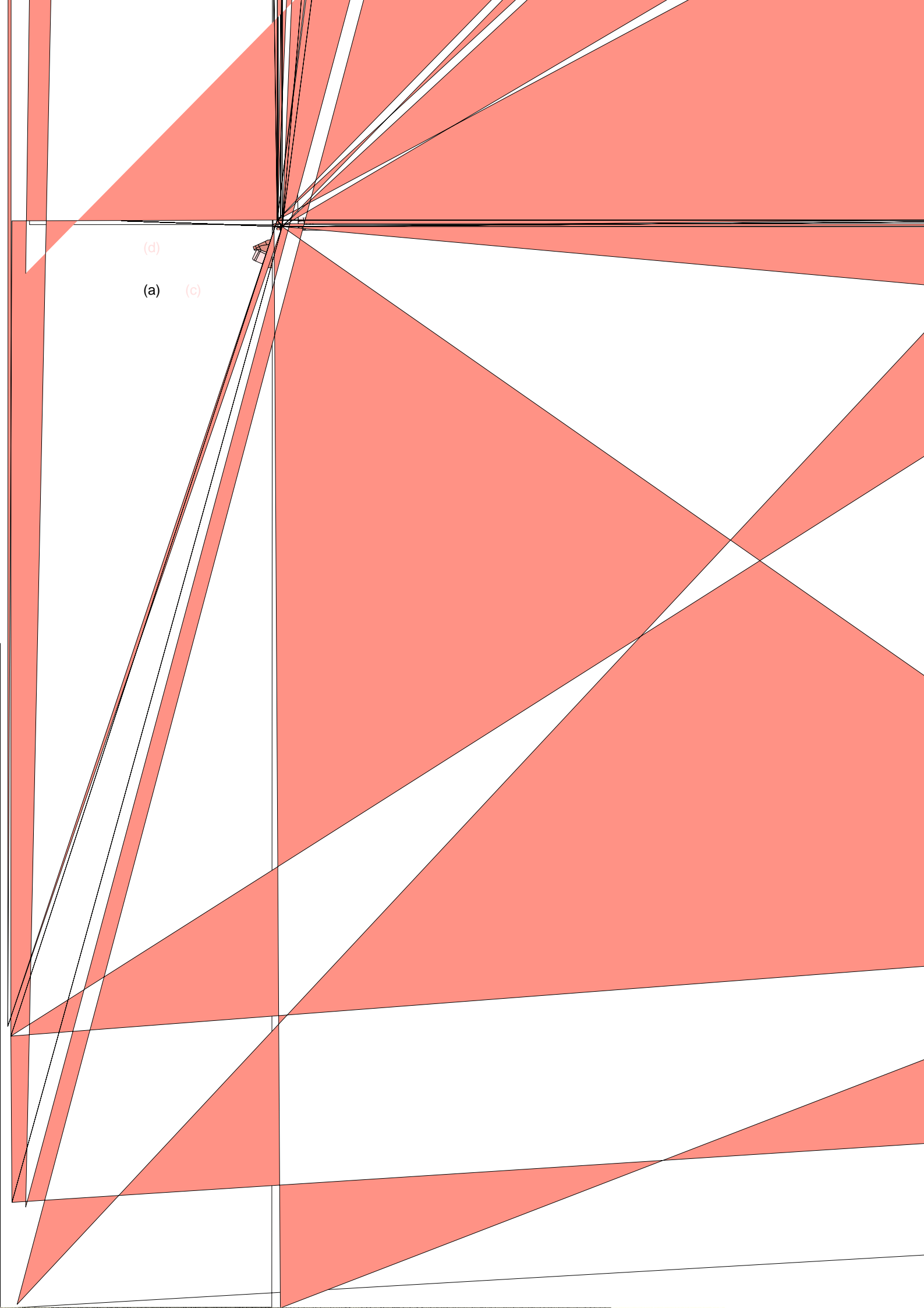


Como no cálculo do sub-índice PI, foram estabelecidos pesos para os indicadores do sub-índice C, utilizando o processo de análise hierárquico. Isso foi feito apenas para exemplificar sua aplicação, uma vez que esta tarefa é, em realidade, atribuída ao tomador de decisão. Cinco cenários foram elaborados para simular diferentes julgamentos, conforme mostrado na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Exemplo de determinação de pesos para os indicadores de C

CENÁRIO	JULGAMENTO	PESOS				GC
		p_T^C	p_R^C	p_{SI}^C	p_{DD}^C	
C-C1	I_T^C é um pouco mais importante que I_R^C , extremamente mais importante que I_{SI}^C e pouco mais importante que I_{DD}^C . I_R^C é um pouco mais importante I_{SI}^C e tão importante quanto I_{DD}^C . I_{SI}^C é um pouco menos importante que I_{DD}^C .	0,56	0,19	0,06	0,19	4,2%
C-C2	I_T^C é um pouco menos importante que I_R^C , tão importante quanto I_{SI}^C e um pouco mais importante que I_{DD}^C . I_R^C é um pouco mais importante I_{SI}^C e muito mais importante que I_{DD}^C . I_{SI}^C é um pouco mais importante que I_{DD}^C .	0,20	0,52	0,20	0,08	2,2%
C-C3	I_T^C é muito menos importante que I_R^C , extremamente menos importante que I_{SI}^C e pouco menos importante que I_{DD}^C . I_R^C é um pouco menos importante I_{SI}^C e tão importante quanto I_{DD}^C . I_{SI}^C é muito mais importante que I_{DD}^C .	0,05	0,20	0,59	0,15	0,0%
C-C4	I_T^C é um pouco mais importante que I_R^C , muito mais importante que I_{SI}^C e pouco menos importante que I_{DD}^C . I_R^C é um pouco mais importante I_{SI}^C e um pouco menos importante que I_{DD}^C . I_{SI}^C é um pouco menos importante que I_{DD}^C .	0,28	0,15	0,06	0,52	7,4%
C-C5	Todos os indicadores têm a mesma importância.	0,25	0,25	0,25	0,25	0,0%

Os mapas da Figura 7.27 apresentam os resultados do sub-índice C para cada um destes cenários. Mais uma vez, pode ser observado que eles apresentam diferenças significativas como resultado das variações de pesos, sendo representativos da adaptabilidade desta estrutura de cálculo.



(d)

(a)

(c)



do sub-índice permanece inalterado nas sub-divisões de uma mesma célula. Portanto, o valor do IRC pode também ser calculado para as sub-divisões da malha de interseção.

Com ambos sub-índices associados às mesmas sub-divisões do domínio, é possível obter o valor do IRC, uma vez determinados os pesos relativos a cada um deles. Diferente do caso dos sub-índices, formados por somatórios ponderados, nos quais os pesos eram coeficientes (multiplicadores) dos indicadores, o IRC é formado por um produtório ponderado, em que os pesos, q_{PI} e q_C são expoentes dos sub-índices.

Como neste caso os critérios envolvidos para definição de pesos são apenas dois – C e PI – o uso do processo de análise hierárquica pode representar uma complexidade excessiva e desnecessária. Não faz sentido falar em grau de consistência, pois só existem três alternativas: A é mais importante que B ou B é mais importante que A ou A e B tem a mesma importância. Independente de quanto um possa ser mais importante que o outro, o julgamento é sempre consistente.

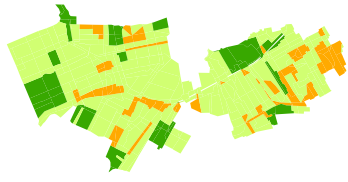
Foram estabelecidos três cenários para este cálculo, como detalhados na Tabela 7.3. Em todos eles foram usados os resultados dos cenários PI-C1 e C-C4, escolhidos aleatoriamente.

Tabela 7.3 – Exemplo de determinação de pesos (expoentes) para os sub-índices C e PI

CENÁRIO	JULGAMENTO	PESOS	
		q_{PI}	q_C
IRC-C1	PI é um pouco menos importante que C.	0,25	0,75
IRC-C2	PI é praticamente tão importante quanto C.	0,60	0,40
IRC-C3	PI e C têm a mesma importância	0,5	0,5

Os resultados deste cenários são apresentados na Figura 7.28. Eles constituem mapas de risco, segundo o julgamento considerado. Para melhor compreensão eles foram divididos em apenas quatro classes, podendo corresponder a risco alto, médio alto, médio baixo e baixo.

(a)



8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo fundamental deste trabalho, de desenvolver uma metodologia relativamente simples, capaz de quantificar o risco ao qual está submetida determinada região, devido a uma inundação de tempo de recorrência pré-estabelecido, foi atingido com a criação do Índice de Risco de Cheia – IRC.

O IRC constitui uma metodologia de análise multicritério para a determinação do risco de cheia, que utiliza dados facilmente disponíveis e uma formulação relativamente simples, tradicionalmente encontradas em outros índices, constituída por somatórios e produtórios ponderados. Isso permite seu uso irrestrito pelo público não especializado.

Além disso, o índice considera, em sua avaliação, aspectos de naturezas diversas que afetam o risco, incluindo tanto propriedades da cheia, como características sócio-econômicas da população e região de estudo. A ponderação destes efeitos também permite simular a percepção do risco ou política adotada pelo gestor.

A ponderação mostrou-se muito eficiente na simulação de distintas percepções e políticas de risco, uma vez que os resultados obtidos foram bastante sensíveis às variações de peso. Ressalta-se o caráter, por vezes, um tanto subjetivo da determinação das ponderações, o que deve ser atribuído ao gestor. O uso da metodologia de análise hierárquica, que permite determinar pesos e medir a consistência do julgamento, foi muito útil e conferiu maior objetividade a este processo, sendo seu uso aconselhável.

Essas premissas puderam ser comprovadas no estudo de caso realizado na bacia do rio Joana. Aspectos de naturezas diversas puderam ser operados adequadamente, uma vez normalizados e convertidos a uma escala comum. Os resultados, tanto dos sub-índices quanto do próprio IRC, corresponderam à situação traduzida pelos indicadores, sendo, ademais, sensíveis às variações de peso. Eles também estão de acordo com o conhecimento empírico da região.

Os indicadores escolhidos para a composição dos sub-índices mostraram-se satisfatórios para a representação dos principais danos decorrentes de inundações, tanto tangíveis quanto intangíveis. No entanto, não foi possível encontrar indicadores que apontassem danos relacionados a prejuízos no setor comercial, como perdas de estoque ou lucro cessante, devido à indisponibilidade de dados.

Além de informações sobre o setor de comércio, acredita-se ser conveniente a inclusão de indicadores de risco geotécnico, uma vez que desastres associados ao desabamento e escorregamento de encostas costumam provocar um número considerável de fatalidades e estão diretamente relacionados à ocorrência de eventos de chuvas intensas.

Indicadores que considerem os efeitos de perdas materiais relativas e da percepção de risco da população também podem contribuir para aprimorar o índice, desde que não adicionem complexidade excessiva à aquisição de dados e operação dos cálculos.

Nos casos em que não se dispunha de informações originárias de estudos anteriores, as escalas de normalização foram elaboradas de maneira subjetiva, constituindo um ponto de maior fragilidade deste estudo. Portanto, acredita-se que a maior contribuição que pode ser feita ao IRC é a busca por mais informações para uma determinação mais objetiva e coerente das escalas de normalização dos indicadores.

O domínio, que determina as proporções das regiões às quais o IRC pode ser aplicado, é restrito sobretudo pelas escalas de normalização. As escalas foram elaboradas procurando-se generalizar os limites de classes ou limites mais e menos favoráveis para quaisquer regiões. No entanto, isso não foi possível no caso das escalas dos indicadores de densidade de domicílios e de renda, que utilizaram valores observados no município do Rio de Janeiro para sua determinação, estando, portanto restritas a áreas semelhantes.

Apesar disso, tanto a formulação quanto a composição do índice são pontos fortes desta metodologia, pois apresentam a vantagem de serem aplicáveis irrestritamente a qualquer região, desde que haja dados em quantidade e com precisão suficiente.

A escala estabelecida para o IRC, variável de 0 a 100, demonstrou-se apropriada, tornando tanto os indicadores quanto os resultados suficientemente intuitivos.

Mesmo não sendo indispensável, a utilização do sistema de informações geográficas para armazenamento, análise e processamento de dados, mostrou-se muito conveniente e eficaz, na aplicação do IRC. Esta ferramenta permitiu que os resultados obtidos fossem apresentados de forma clara, adequados inclusive a um público não especializado.

Por fim, sendo esta a primeira versão do IRC espera-se que muitas contribuições ainda possam ser feitas, sobretudo no que diz respeito à sua constituição e domínio de aplicação. Espera-se que a metodologia possa ser enriquecida através da experiência de sua aplicação prática, por parte de instituições gestoras de enchentes.

Acredita-se que a associação do IRC a estudos econômicos sobre prejuízos provocados por enchentes assim como seu uso para estimação de impactos considerando os efeitos de mudanças climáticas constituem linhas de pesquisa a serem exploradas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPEME, “Critério Brasil: Instrumento para definir a classe social da população”. Disponível na página: www.abipeme.org.br.

BÁRDOSSY, A.; BOGÁRDI, I. e DUCKSTEIN, L., “Composite Programming as an Extension of Composite Programming”. In: *Serafini, P. (ed) (1985) - Mathematics of Multiple Objective Optimization*, Springer-Verlag, Wien, pp. 375-408. 1985

BENAYOUN, R.; ROY, B. e SUSSMAN, B., “Electre: Une Methode Pour Guider Le Choix en Presence de Points de Vue Multiples”, In: *Direction Scientifique. Note de Travail No. 49*, Sema Paris, 1966.

BLACK, R. D., “Flood Proofing Rural Residences: A Project”, In: Agnes Report, Pennsylvania. New York State Coll of Agriculture and Life Sciences, Ithaca. Prepared for Economic Development Administration, Washington, DC Office of Technical Assistance. 1975

BRANS, J. P. e VICKE, P. “A Preference Ranking Organization Method. (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)”, In: *Management Science*, v. 31(6), pp. 647-656. 1985.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. e VINCKE P., “PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis”. In: *Brans, J. P. (ed), Operational Research 84*, North-Holland, Amsterdam, pp. 408-421, 1984.

CAMPOS, R. O. G., *Inundações Urbanas: Considerações Gerais e Modelação Matemática com Incorporação da Obstrução por Resíduos Sólidos*, M.Sc., Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2001.

CETESB, *Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos*, v. 01, São Paulo, 2003.

CET-Rio, “Hierarquização Viária”, Rio de Janeiro, 2004.

D'ALTÉRIO, C. F. V., *Metodologia de Cenários Combinados para Controle de Cheias Urbanas com Aplicação à Bacia do Rio Joana*, M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

DE BONIS, A., *IDU – Índice de Drenagem Urbana*, Monografia, Curso de Pós Graduação Lato Sensu de Gerenciamento de Recursos Hídricos Integrado ao Planejamento Municipal, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

DE PESSÔA, J. A., *A Estrutura JANUS. Integrando Preferências, Modelos e Dados na Gestão de Bacias Hidrográficas*, D.Sc., Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005

DEFRA/EA, “Risk to People”, In: *Flood and Coastal Defence R&D Programme*, Technical Report FD2317, Londres, Reino Unido, 2003.

ECKER, J. e KOUADA, I., “Finding Efficient Points for Linear Multiple Objectives Programs”. In: *Mathematical Programming*, v. 8, pp. 375. 1975

GIULIANO, G., “A Multicriteria Method for Transportation Investment Planning”. In: *Transportation. Research*, v. 19A, pp. 29-41.1985

GOULDBY, B., SAMUELS, P., *Language of Risk – Project definitions*. In: Floodsite Report T32-04-01, 2005.

HARSANYI, J. C. “Rational Behaviour and Bargaining Equilibrium in Games and Social Situations”. Cambridge University Press, 1977.

KEENEY, R. L. e RAIFFA, H. “Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs”. John Wiley & Sons, Inc, 1976.

KELMAN, I., *Physical Flood Vulnerability of Residential Properties in Coastal, Eastern England*. Ph.D., University of Cambridge, Reino Unido, 2002.

MAANTAY, J., ZIEGLER, J., “Basic Mapping and GIS”. In: *GIS for the Urban Environment*. Capítulo 1, Ed. 1, ESRI Press, Califórnia, EUA, 2006.

MACHADO, M. L., NASCIMENTO, N, BAPTISTA, M. B., et al., “Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia”, In: *Revista de Gestão de Água da América Latina - Rega*, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 35-52, 2005.

MAGALHÃES, L. P. C., “Modelo Hidráulico-Hidrológico Distribuído – Estudo de Caso: Bacia do Rio Joana”, In: *Projeto Final de Curso*, DRHIMA, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2003

MALTA, V. F., *A Busca de uma Solução de Compromisso em Problemas de Conflitos em Recursos Hídricos Utilizando um Modelo de Análise de Conflito – MACPROL*, D.Sc., Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006

MENDOZA, G. A., MACOUN, P., “The Criteria and Indicators Toolbox Series”, In: *Guidelines for Applying Multi-Criteria Analysis to the Assessment of Criteria and Indicators*, v. 9, Center for International Forestry Research, 1999.

MESSNER F., PENNING-ROUSELL E., GREEN C., et al, *Guidelines for Socio-economic Flood Damage Evaluation*. In: Floodsite Report T09-06-01, 2006.

MESSNER, F., MEYER, V., “Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research”, In: *Floodsite discussion paper*, Leipzig, Alemanha, Abril, 2005.

MIGUEZ, M. G., MASCARENHAS, F. C. B, CAMPOS, R. O. G., et al, “Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas”. In: *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*. Porto Alegre / RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2001. v. 1. p. 117-128.

OLAVE, D. C. S., “Sumário de indicadores e índices relacionados con la evaluación de la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo por eventos naturales”, In: Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos de Desastres Naturales, BID – CEPAL – IDEA, Operación ATN/JF-7907-RG, Manizales, Colombia, 2003.

PHILIP, J., “Algorithms for the Vector Maximization Problem”. In: *Mathematical Programming*, v. 2, pp. 207-229, 1972.

PRATT C., KALY, U., MITCHELL, J., “Manual: How to use the Environmental Vulnerability Index (EVI)”. In: *SOPAC Technical Report 383*. SOPAC, UNEP, 2004.

PROHIMET/CYTED/WMO, Documentos de divulgação In: Jornada Internacional Sobre Gestão de Riscos de Inundações e Deslizamentos, São Carlos, SP, 14 a 19 de maio, 2007.

REITER, P., *International methods of Risk Analysis, Damage Evaluation and Social Impact Studies concerning Dam-Break Accidents*, Helsinki: PR Water Consulting. 2000

RESCDAM, "The use of physical models in dam-break flood analysis". In: *Final Report*, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finlândia, 2003.

ROY, B., "Classement et choix en présence de points de vue multiples (la Methode ELECTRE)". In: *Revue d'Informatique et de Recherche Opérationelle*, v. 6(8), pp 57-75, 1968.

SAATY, T. L., "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures". In: *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, pp. 234-281, 1977.

SAMUELS, P., "Flood Risk Analysis and Management – Achieving Benefits from Research", *European Conference on Floods*, GOCE-CT-2004-505420, Viena, Áustria, 17-18 May 2006,

SZIDAROVSKY, F., "Game Theory (in Hungarian)" In: *Textbook of Eotvos Lorand University*

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)