



**USO DE INSTRUMENTOS DA GESTÃO DO RISCO DE CHEIAS COMO  
FERRAMENTA NO PLANEJAMENTO URBANO**

Gabrielly Cristhiane Oliveira e Silva

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

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

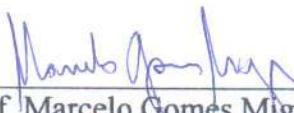
Rio de Janeiro  
Dezembro de 2017

USO DE INSTRUMENTOS DA GESTÃO DO RISCO DE CHEIAS COMO  
FERRAMENTA NO PLANEJAMENTO URBANO

Gabrielly Cristhiane Oliveira e Silva

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

Examinada por:

  
Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc.

  
Prof. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral, Ph.D

  
Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D

  
Prof. Paulo Canedo de Magalhães, Ph.D

  
Prof. Assed Nakad Haddad, D.Sc.

RIO DE JANEIRO/RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2017

Silva, Gabrielly Cristhiane Oliveira e

Uso de instrumentos da gestão do risco de cheias como  
ferramenta no planejamento urbano / Gabrielly Cristhiane  
Oliveira e Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XVIII, 278 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de  
Engenharia Civil, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 263-278.

1. Avaliação de vulnerabilidade. 2. Águas urbanas. 3.  
Planejamento urbano. I. Miguez, Marcelo Gomes. II.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de  
Engenharia Civil. III. Título.

Dedico esta pesquisa a todos aqueles, que assim como eu, se esforçam para pesquisar, planejar e gerenciar, a cada dia, cidades melhores e que respeitem o meio ambiente.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao final de uma jornada acadêmica e de vida como é o período de um doutoramento, são muitos os agradecimentos a serem realizados.

Primeiramente eu agradeço aos meus pais Luiz e Sandra e à minha irmã Micheli por serem minha estrutura. Sempre com amor, respeito e paciência souberam me dar apoio e incentivo incondicional durante a execução deste trabalho, entenderam os anos de ausência e preocupações, como também partilharam os momentos de felicidade. Lembro-me com carinho da felicidade estampada quando dei a notícia de minha aprovação no doutorado, ao qual me responderam que mesmo que eu tivesse que ir embora das “asas de casa” eles sempre estariam felizes, pois eu estava feliz. Sou uma pessoa muito feliz por vocês serem a minha família. OBRIGADA POR EXISTIREM!

A minha grande e querida família, sempre presente, atuante e participante. Vocês me são muito especiais, muito obrigada por todos os momentos passados juntos, por todo o apoio e visitas “para não deixar a Gaby sozinha” ao longo desses quase quatro anos de Rio de Janeiro.

Aos meus amigos de coração, mesmo que nos últimos anos estes não estejam fisicamente tão perto de mim, porém são parte da minha vida. Obrigada pelos bons e maus momentos passados juntos, pelo bom humor, pela troca de experiências, enfim por fazerem parte da minha história.

Ao meu orientador Marcelo Miguez por ter me recebido na COPPE/UFRJ, pela oportunidade em partilhar comigo seus ensinamentos, pela sua paciência, apoio, amizade e pela confiança em mim depositada durante a realização deste trabalho. Agradeço sinceramente por poder tê-lo como exemplo de professor e orientador, e por podermos dividir o interesse em buscar cidades cada vez melhores.

Ao Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ pela oportunidade de realização deste trabalho, bem como aos professores pelos ensinamentos transmitidos e aos funcionários da secretaria por todo apoio com a parte burocrática do doutorado.

Ao CNPq pela concessão do apoio financeiro para realização deste trabalho.

Aos queridos amigos que fiz nesses anos de Rio de Janeiro, citando alguns aqui: Bianca (amiga de muitos anos, desde o MT) que me recebeu desde o momento que cheguei. A família do senhor Aécio, que além de bons amigos foram os melhores locadores de

imóvel nesses anos. A Rosana que me recebeu e adotou como sua sobrinha, cuidando de mim até hoje. E a toda minha rede de amigos construída nesses anos de vida carioca.

Falando em rede de amigos construída, agradeço a TODOS os amigos feitos durante esse período de doutorado (principalmente nos primeiros anos em que ainda temos disciplinas a cumprir e onde os laços se formam). Também agradeço a família – alunos, professores e técnico – do Laboratório de Hidráulica Computacional (LHC) que me recebeu como mais uma pesquisadora, a todos os amigos que aqui fiz e, em especial àqueles que se tornaram mais próximos: Claudia, Bruna, Ianic, Laurent, Francis, Antônio, Anna, Luciana, Matheus, Osvaldo, Lilian, Dearley, Nelson e Isaac. Agradeço pelos anos de convivência, pelo apoio com os estudos, pela diversão dos lanches, almoços e festas, pelas conversas e discussões (tanto as de trabalho como as aleatórias).

Agradeço enormemente a três professores importantes ao longo desta pesquisa. Ao professor José Paulo, por ter me recebido assim que cheguei a COPPE, por também ter sido uma primeira referência de orientação. Agradeço ao professor Leandro Torres que também participou muito para a melhoria deste trabalho, com sua vivência na gestão de risco de desastres socionaturais, sendo um importante parceiro de pesquisa. E por fim agradeço ao pesquisador Paulo Carneiro por seus importantes comentários e sugestões feitos no exame de qualificação que me ajudaram nas discussões a cerca do planejamento urbano.

Por meu desejo e apoio do meu orientador, minha Tese versa sobre um estudo de caso realizado em minha cidade natal – Cuiabá, Mato Grosso – assim, também tenho muito a agradecer a rede de apoio de amigos e colegas em diversos setores públicos no fornecimento de informações sem as quais este trabalho não seria possível. Aos professores Ana Rubia Bonilha, Rafael Paes e Ivone Matos da UFMT, bem como ao laboratório de hidrologia da mesma universidade no fornecimento de dados. A secretaria de Obras de Cuiabá na pessoa da engenheira Kamila Pompeu que também sempre muito solicita com as informações sobre a bacia do córrego Barbado. A Defesa Civil Municipal e a Defesa Civil Estadual. A arquiteta Jandira Pedrollo que partilhou imagens e conhecimentos a cerca das diversas cheias vivenciadas na cidade de Cuiabá.

E por fim, a todas as pessoas que tenham dado direta e/ou indiretamente uma contribuição para a realização de mais essa conquista.

## **AGRADEÇO A TODOS!!**

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

**USO DE INSTRUMENTOS DA GESTÃO DO RISCO DE CHEIAS COMO  
FERRAMENTA NO PLANEJAMENTO URBANO**

Gabrielly Cristhiane Oliveira e Silva

Dezembro/2017

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Programa: Engenharia Civil.

Historicamente, os problemas associados a enchentes nas áreas urbanas foram imputados, principalmente, ao excesso de chuvas – diminuindo a importância dos efeitos provocados pelas ações humanas – e as soluções para tais problemas focavam somente no aumento da capacidade de escoamentos dos rios e canais. Procurando um caminho alternativo para mitigar esta situação, buscou-se uma integração entre planejamento e projeto em drenagem urbana e planejamento urbano e ordenamento territorial nos municípios, uma vez que o uso do solo é determinante para geração de escoamentos superficiais, bem como o ambiente urbano é o recebedor dos danos provocados pelas inundações. O objetivo desta Tese é promover a integração de técnicas de gestão do risco de cheias como um instrumento tecnológico a ser utilizado no planejamento urbano, visando orientações para o uso e ocupação do solo com menor risco. Trabalhou-se com a identificação e avaliação da vulnerabilidade urbana frente aos processos de cheias (por meio de um índice multicritério construído ao longo da pesquisa), com um diagnóstico das cheias via modelagem matemática e também com a legislação urbana e ambiental vigentes e a proposição de adaptações no planejamento de uso do solo. Um caso de estudo, na cidade de Cuiabá (Mato Grosso), foi desenvolvido para avaliação e teste da metodologia proposta, buscando validar a importância de fundamentar o planejamento urbano em bases técnicas que respeitem a capacidade do ambiente urbanizado, como forma de melhor gerir a cidade, buscando uma coexistência mais harmoniosa com os riscos das cheias.

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

**USE OF INSTRUMENTS OF THE FLOOD RISK MANAGEMENT AS AN  
URBAN PLANNING TOOL**

Gabrielly Cristhiane Oliveira e Silva

December/2017

Advisor: Marcelo Gomes Miguez

Department: Civil Engineering

Historically, the problems associated with flooding in urban areas were mainly attributed to excessive rainfall – reducing the importance of the effects caused by human actions – and the solutions to such problems focused on engineering works aimed at increasing the drainage capacity of the rivers and canals. Looking for an alternative way to mitigate this situation, the researchers began to investigate the relationship between planning and design in urban drainage and urban planning and territorial ordering in the municipalities, once land use is determinant in the relation of generating superficial flows, as well as the built environment is the receiver of the losses produced by the inundation. The objective of this thesis is to promote the integration of techniques regarding flood risk management as a practical tool to be used in urban planning, aiming to orient land occupation in a less risky way. We worked with the identification and evaluation of the urban vulnerability in what regards flood processes (using a multi-criteria index constructed throughout this research), with a flood diagnosis using a mathematical modeling and also with the current urban and environmental legislation and the proposition of modifications to adapt the land use planning. A case study was carried out in the Cuiabá city (Mato Grosso) to assess and test the behavior of the methodological approach proposed; intending to validate the importance of supporting urban planning with technical bases that take into account and respect the carrying capacity of the urban environment, as a way to better manage the city, seeking a more harmonious coexistence with flood risks.

## ÍNDICE GERAL

<b>1.0 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>1.1 Contexto.....</b>	<b>01</b>
<b>1.2 Base teórica.....</b>	<b>02</b>
<b>1.3 Motivação.....</b>	<b>09</b>
<b>1.4 Hipótese.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5 Objetivos.....</b>	<b>12</b>
<b>1.6 Caso de Estudo.....</b>	<b>13</b>
<b>1.7 Contribuições da pesquisa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.8 Metodologia Resumida.....</b>	<b>14</b>
<b>2.0 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 A Cidade e Suas Águas.....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Aspectos históricos.....	16
2.1.2 Ciclo hidrológico urbano.....	19
2.1.3 Desenvolvimento da drenagem urbana – das práticas higienistas a inserção da sustentabilidade.....	23
<b>2.2 Drenagem Urbana Sustentável.....</b>	<b>27</b>
2.2.1 Evolução conceitual.....	27
2.2.2 Tipologia.....	31
<b>2.3 Planejamento Urbano.....</b>	<b>37</b>
2.3.1 Planejamento urbano – o que é e um breve histórico nacional.....	37
2.3.2 O Estatuto da Cidade.....	42
2.3.3 Plano Diretor Urbano.....	46
2.3.4 Lei de Uso e Ocupação do Solo.....	48
2.3.5 Zoneamento.....	51
2.3.5.1 Zoneamento de áreas de inundação.....	55
2.3.6 Plano Diretor de Drenagem Urbana.....	57
2.3.7 Legislação nacional para cursos d’água urbanos.....	62
<b>2.4 Resiliência e Vulnerabilidade nas Cidades.....</b>	<b>66</b>
2.4.1 Vulnerabilidade.....	66
2.4.1.1 Conceitos iniciais de vulnerabilidade.....	66
2.4.1.2 Vulnerabilidade social e ambiental.....	69
2.4.1.3 Índices de vulnerabilidade.....	72
2.4.2 Resiliência.....	73
2.4.2.1 Conceitos iniciais sobre resiliência.....	74

2.4.2.2 Resiliência na engenharia e planejamento urbano.....	75
2.4.2.3 Construindo resiliência urbana.....	79
<b>2.5 Gestão de Riscos de Cheias.....</b>	<b>82</b>
2.5.1 Conceitos de risco.....	82
2.5.1.1 Risco de cheias.....	84
2.5.2 Gestão do risco de desastres.....	86
2.5.3 Gestão do risco de cheias.....	89
<b>2.6 Integrando Soluções de Engenharia com os Aspectos Urbanísticos.....</b>	<b>95</b>
2.6.1 Reorganizando a cidade para conviver com as águas urbanas.....	95
2.6.1.1 Medidas no lote urbano.....	96
2.6.1.2 Medidas na paisagem urbana.....	99
2.6.1.3 Medidas no planejamento urbano.....	105
<b>3.0 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>108</b>
<b>3.1 Área de Estudo.....</b>	<b>108</b>
3.1.1 Breve histórico da cidade de Cuiabá.....	108
3.1.2 Características de Cuiabá.....	112
3.1.3 A bacia hidrográfica do córrego Barbado.....	117
<b>3.2 Metodologia.....</b>	<b>125</b>
3.2.1 Determinação das vulnerabilidades.....	125
3.2.2 Aplicação dos índices ao Caso de estudo.....	134
3.2.3 Construção do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias.....	136
3.2.4 Ferramenta de modelagem hidrodinâmica - MODCEL.....	143
<b>4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>150</b>
<b>4.1 Resultados Iniciais.....</b>	<b>150</b>
<b>4.2 Índice de Vulnerabilidade Urbana a Processos de Cheia.....</b>	<b>166</b>
<b>4.3 Atribuição de Pesos e Análises de Sensibilidade.....</b>	<b>171</b>
<b>4.4 Vulnerabilidade Urbana e o Planejamento Urbano.....</b>	<b>189</b>
4.4.1 Vulnerabilidade urbana <i>versus</i> Zoneamento urbano.....	192
4.4.2 Gestão de riscos de desastres – Plano de contingência.....	201
<b>4.5 Modelagem Hidrodinâmica das Cheias.....</b>	<b>206</b>
<b>4.6 Inserção da Gestão de Risco de Cheias como Ferramenta no Planejamento Urbano-Ambiental.....</b>	<b>231</b>
4.6.1 Proposição do Zoneamento Urbano-Ambiental.....	232
<b>5.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>258</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>263</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Impactos da urbanização das bacias hidrográficas sobre os cursos d'água.....	22
Figura 2.2: Tipologia das medidas compensatórias para o manejo de águas pluviais....	33
Figuras 2.3 (a): Trincheira de infiltração; (b): Poço de infiltração.....	34
Figuras 2.4 (a): Telhado verde; (b): Pavimento permeável com concreto poroso.....	35
Figuras 2.5 (a): “Piscinão” Jabaquara/São Paulo; (b): Parque linear do canal Cheonggyecheon/Seul.....	35
Figuras 2.6 (a, b, c): Reservatório enterrado da Praça da Bandeira/Rio de Janeiro.....	35
Figura 2.7: Zoneamento hipotético para uma cidade.....	53
Figura 2.8: Zoneamento para a área central de Florianópolis – SC.....	53
Figura 2.9: Exemplo de índices urbanísticos aplicados às zonas do Plano Diretor de Florianópolis (1997).....	54
Figura 2.10: Linhas: vermelha - áreas de desocupação compulsória; amarela - áreas de desocupação optativa.....	57
Figura 2.11: APP localizada a partir da borda da calha do leito regular.....	65
Figura 2.12: Múltiplas abordagens para vulnerabilidade.....	68
Figura 2.13: Dimensões dos estados de referência para mensuração da resiliência.....	78
Figura 2.14: Conceitos de Risco de Cheia.....	86
Figura 2.15: Estratégia da Gestão de Risco.....	87
Figura 2.16: Ciclo de Gestão em Defesa Civil.....	87
Figura 2.17: Ações para gestão integrada dos riscos de inundação.....	93
Figura 2.18: Gestão do Risco de Cheias.....	94
Figuras 2.19 (a, b): Reservatórios de detenção.....	102
Figuras 2.20 (a, b): Reservatórios de retenção.....	103
Figura 2.21: Perfil da praça Edmundo Rego em diferentes níveis, atuando como reservatórios temporários.....	104
Figuras 2.22 (a, b): Praça Afonso Pena em dia ensolarado, e em evento chuvoso funcionando como reservatorio de detenção.....	105
Figuras 2.23 (a, b): Trincheiras de infiltração – preparo e aspecto final.....	105
Figura 3.1: Localização de Cuiabá em relação ao Brasil e América do Sul.....	108
Figura 3.2: Esboço de Cuiabá em seus primeiros anos de fundação.....	109
Figura 3.3: Esboço de Cuiabá em seus primeiros anos de fundação.....	112
Figura 3.4: Cuiabá e suas regiões administrativas.....	113
Figura 3.5: Evolução Urbana de Cuiabá.....	115

Figura 3.6: Densidade Demográfica de Cuiabá.....	115
Figura 3.7: Localização da bacia hidrográfica do córrego Barbado.....	117
Figura 3.8 (a, b): Nascente córrego Barbado no parque MassairoOkamura; (c): Trecho médio do córrego, com presença de resíduos e obras nas margens.....	118
Figura 3.9 (a): Ocupação urbana ilegal as margens do córrego (trecho médio); (b): Canalização em concreto no trecho inferior do Barbado.....	118
Figura 3.10: Mapa de referência da enchente de fev/1995 no rio Cuiabá.....	119
Figura 3.11: Inundação fevereiro/1995 córrego Barbado, rio Cuiabá e bairro Praeirinho.....	119
Figura 3.12 (a, b): Destrução provocada pela enxurrada no córrego Barbado (abril/2001).....	120
Figuras 3.13 (a): Córrego Barbado na Av. Tancredo Neves (março/2006); (b): Córrego Barbado no bairro Praierinho (março/2006).....	120
Figuras 3.14 (a, b): Extravasamento do córrego Barbado nos bairros Praeiro e Grande Terceiro (fevereiro/2010).....	121
Figura 3.15: Projeção da Av. do Barbado no sistema viário de Cuiabá e Várzea Grande.....	121
Figura 3.16: Esboço do parque linear margeando o córrego na Av. Parque do Barbado.....	122
Figura 3.17: Seção tipo de implantação, canalização e pavimentação Av. Barbado....	123
Figuras 3.18 (a): Av. Fernando Correa congestionada devido alagamento na saída do viaduto no dia 12/12/14; (b): Córrego Barbado no entroncamento das Avs. Fernando Correa e Tancredo Neves no dia 27/10/2013.....	124
Figura 3.19 (a, b): Presença de resíduos no leito do Córrego Barbado.....	125
Figura 3.20: Detalhamento dos parâmetros avaliados no Índice de Vulnerabilidade Urbana.....	136
Figura 3.21: Representação esquemática de uma área urbana dividida em células.....	146
Figura 3.22: Divisão hipotética em células de escoamento.....	148
Figura 4.1: Subíndice Consequências – Indicador Renda.....	151
Figura 4.2: Subíndice Consequências – Indicador Saneamento Inadequado.....	152
Figura 4.3: Subíndice Consequências – Indicador Densidade de Domicílios.....	153
Figura 4.4: Hierarquização viária de Cuiabá – bacia córrego Barbado.....	154
Figura 4.5: Subíndice Consequências – Indicador Tráfego.....	155
Figura 4.6: Índice de Risco de Cheias - Subíndice Consequências.....	156
Figura 4.7: Índice de Risco de Cheias - Subíndice Consequências.....	157
Figura 4.8: Índice de Vulnerabilidade Social.....	158
Figura 4.9: Índice de Vulnerabilidade Social (diferenciação nos pesos).....	159
Figura 4.10: IVSA – Componente Exposição Física.....	161

Figura 4.11: IVSA – Componente Capacidade de Resposta.....	162
Figura 4.12: Índice de Vulnerabilidade Socioambiental.....	163
Figura 4.13: Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica.....	166
Figura 4.14: Presença de equipamentos de saúde – bacia do córrego Barbado.....	169
Figura 4.15: Presença de equipamentos de ensino – bacia do córrego Barbado.....	169
Figura 4.16: Índice de Vulnerabilidade Urbana.....	170
Figura 4.17: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices.....	180
Figura 4.18: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices.....	182
Figura 4.19: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices.....	183
Figura 4.20: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices.....	184
Figura 4.21: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices.....	186
Figura 4.22: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices.....	187
Figura 4.23: Organização da Lei nº 389/2015.....	193
Figura 4.24: Planta do Zoneamento Urbano previsto para Cuiabá.....	195
Figura 4.25: Detalhe do zoneamento urbano na área da bacia do Córrego Barbado....	196
Figura 4.26: Aplicação do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias.....	198
Figura 4.27: Superposição do Zoneamento Urbano com o mapa do Índice de Vulnerabilidade.....	199
Figura 4.28: Percentual de municípios, conforme presença de instrumentos de planejamento.....	206
Figura 4.29: Bacia do córrego Barbado e células de escoamento.....	209
Figura 4.30: Esquema do modelo de células para a bacia do córrego Barbado.....	210
Figura 4.31: Mancha de alagamento Chuva de abril/2001.....	213
Figuras 4.32 (a, b): Destrução provocada pela enxurrada no córrego Barbado (abril/2001); (c) Detalhe da localização dos pontos mais críticos.....	214
Figura 4.33: Mancha de alagamento TR 10 anos.....	215
Figura 4.34: Mancha de alagamento TR 25 anos.....	216
Figura 4.35: Detalhe da localização dos pontos mais críticos.....	217
Figuras 4.36 (a, b): Alagamentos na região da Av. Fernando Correa.....	217
Figuras 4.37 (a, b): Alagamentos na região da Av. Fernando Correa.....	218
Figuras 4.38 (a, b): Alagamentos na região da Av. Carmindo de Campos.....	218
Figura 4.39: Mancha de alagamento TR 50 anos.....	219
Figura 4.40 (a): Detalhe da locação da av. Parque Barbado; (b): córrego Barbado no trecho capeado.....	220
Figura 4.41: Mancha de alagamento Rio Cuiabá com 8,5 m e TR 10 anos.....	221
Figura 4.42 (a): Recorte trecho final do córrego Barbado com TR 10 anos; (b): Recorte	

trecho final do córrego Barbado com rio Cuiabá com 8,5 m e TR 10 anos.....	222
Figura 4.43: Elevação do nível do córrego Barbado na Av. Tancredo Neves.....	222
Figura 4.44: Mancha de alagamento Rio Cuiabá com 8,5 m e TR 25 anos.....	223
Figuras 4.45 (a): Extravasamento do córrego Barbado nos bairros Praeiro e Grande Terceiro (fev/2014); (b): (fev/2010).....	224
Figura 4.46: Mancha de alagamento Rio Cuiabá com 8,5 m e TR 50 anos.....	225
Figura 4.47: Inundação fevereiro/1995 córrego Barbado, rio Cuiabá e bairro Praeirinho.....	226
Figura 4.48: Mancha de alagamento Rio Cuiabá com 9,7 m e TR 2 anos.....	227
Figura 4.49: Mapa de áreas de risco para Cuiabá.....	228
Figura 4.50 (a, b): Avenida Fernando Correa antes e depois da construção do viaduto.....	229
Figura 4.51: Mancha de alagamento com as obras na Av. Fernando Correa e TR10 anos.....	230
Figura 4.52: Interferências mútuas nos diferentes sistemas urbanos.....	237
Figura 4.53: Proposta de novas zonas com uso do Zoneamento Urbano-Ambiental....	250
Figura 4.54: Ocupação urbana na Área de Preservação Permanente do córrego Barbado.....	252
Figura 4.55: Ocupação urbana na Área não edificável do córrego Barbado.....	252
Figura 4.56: Proposta do Corredor Verde.....	253
Figura 4.57: (a) Mancha de alagamento TR 10 anos (sem galeria Av. Parque Barbado); (b) TR 10 anos.....	254
Figura 4.58: (a) Mancha de alagamento TR 25 anos (sem galeria Av. Parque Barbado); (b) TR 25 anos.....	255
Figura 4.59: Fluxograma de aplicação da metodologia do ZUA.....	257

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 2.1: Medidas para o controle das inundações.....	25
Tabela 2.2: Fases do desenvolvimento da gestão das águas urbanas.....	26
Tabela 3.1: Evolução da população Cuiabana.....	114
Tabela 4.1: Valor do m <sup>2</sup> por padrão típico de rua.....	168

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 2.1: Cronologia da legislação sobre Drenagem Urbana do Brasil.....	57
Quadro 4.1: Grau de significância dos critérios.....	172
Quadro 4.2: Índice de consistência.....	175
Quadro 4.3: Testes de sensibilidade para variação dos pesos dos indicadores.....	175
Quadro 4.4: Testes de sensibilidade para variação dos pesos dos subíndices.....	177
Quadro 4.5: Exemplo matemático de testes de sensibilidade para os indicadores.....	179
Quadro 4.6: Exemplo matemático de testes de sensibilidade para os subíndices.....	179
Quadro 4.7: Detalhamento das atribuições das secretarias no Plano de Contingência.....	204
Quadro 4.8: Coeficientes de Runoff adotados para a modelagem.....	208
Quadro 4.9: Descrição dos impactos gerados na inter-relação entre diferentes sistemas urbanos.....	237

## LISTA DE SIGLAS

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
PNSB – Pesquisa Nacional do Saneamento Básico  
LID – *Low Impact Development*  
SUDS – *Sustainable Urban Drainage Systems*  
WSUD – *Water Sensitive Urban Design*  
LIUDD – *Low Impact Urban Design and Development*  
HEC/RAS – *Hydrological Engineering Center/River Analysis System*  
SWMM – *Storm Water Management Model*  
EPA/US – *Environmental Protection Agency/United States*  
IPDU – Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano  
ONU/HABITAT – Organização das Nações Unidas/Habitat  
BMP – *Best Management Practices*  
CIRIA – *Construction Industry Research and Information Association*  
SERFHAU – Serviço Federal de Habitação e Urbanismo  
INEA – Instituto Estadual do Meio Ambiente  
SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente  
APP – Área de Preservação Permanente  
IHDP – *International Human Dimensions Programme*  
IGBP – *International Geosphere Biosphere Programme*  
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*  
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento  
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente  
EIRD – Estratégia Internacional para Redução de Desastres  
UNISDR – *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*  
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura  
OMS – Organização Mundial de Saúde  
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
AVADANS – Relatórios de Avaliação de Danos  
CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais  
TR – Tempo de Recorrência  
IMP – *Integrated Management Practices*  
PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso  
IRC – Índice de Riscos de Cheia  
IVS – Índice de Vulnerabilidade Social  
IVSA – Índice de Vulnerabilidade Socioambiental  
AHP – Análise Hierárquica de Processos  
CADÚNICO – Cadastro Único do Governo Federal  
IVSE – Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica  
GIS – Sistema de Informação Geográfica  
IVUC – Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias  
MODCEL – Modelo de Células  
PGV – Planta de Valores Genéricos  
PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil  
ZEIS – Zonas Especiais de Interesse Social  
ZIA – Zonas de Interesse Ambiental  
ZAP – Zoneamento Ambiental Produtivo  
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
ZPI – Zona de Passagem da Inundação

# **1.0 INTRODUÇÃO**

---

## **1.1 Contexto**

Dentre os diferentes desastres socionaturais que acontecem ao redor do mundo, as inundações figuram entre os que causam maiores impactos às populações, em termos socioeconômicos. Estima-se que as inundações sejam responsáveis por mais de um terço das perdas econômicas e por cerca de dois terços do número total de pessoas afetadas mundialmente por estes tipos de desastres (MENDIONDO, 2004). As inundações, diferentemente dos demais desastres naturais que são mais localizados (como vulcões ou terremotos), estão disseminadas por todo (ou quase todo) globo terrestre, e são preponderantemente consequência do próprio ciclo hidrológico natural.

Nota-se um aumento da urbanização cada vez mais pungente nos dias atuais, processo este mais elevado em algumas regiões asiáticas e na América Latina. Esse processo, que vem alterando o perfil da população mundial e acelerando a transferência do campo para a cidade. Para exemplificar tal situação, no Brasil já são 12 as capitais com mais de 1 milhão de habitantes (IBGE, 2010) e a população urbana total supera 80%. A urbanização carrega consigo uma pressão cada vez maior sobre os sistemas de drenagem urbana (estes que na grande maioria dos casos já são deficientes) e, somado a este fator, aumentam-se os custos financeiros envolvidos na remediação das inundações urbanas que acontecem todos os anos. A urbanização sem planejamento, sem reconhecimento dos limites naturais das bacias hidrográficas e sem controle do uso do solo, é um dos agravantes da situação de inundações ao redor do mundo, tornando mais graves as suas consequências, pela maior quantidade de pessoas e de valores expostos.

Dentre as capitais altamente urbanizadas no país, várias vem enfrentando problemas associados à urbanização descontrolada e sem o devido cuidado com relação ao manejo das águas pluviais, podendo em cada uma, serem destacados diversos exemplos de situações ocorridas, tal como brevemente relatado abaixo.

Em um estudo realizado pelo professor Eduardo Amaral Haddad e a mestrandona Eliane Teixeira dos Santos, ambos da Universidade de São Paulo, identificou-se que em cada ponto de alagamento formado após uma chuva intensa na cidade de São Paulo, pode ser gerado um prejuízo de até 1 milhão de reais ao dia; como foram levantados mais de 700 pontos de alagamento no município ao longo de um ano, o prejuízo gerado

chegou na casa dos 336 milhões de reais em um ano. Esse estudo foi publicado no artigo “*Economic Impacts of Natural Disasters in Megacities: The Case of Floods in São Paulo, Brazil*” disponibilizado na revista *Habitat International* (ARANTES, 2013).

O aumento no número de ocorrências de inundações com impactos deletérios observados recentemente no Brasil tem despertado cada vez mais o interesse de diversos setores da sociedade por medidas que permitam compreender esses eventos, reduzindo seus impactos e, também, preparar a sociedade e a própria cidade para conviver de maneira mais ordeira com essa nova realidade – provocada tanto pela própria urbanização do município, quanto pelas alterações em termos de clima local. A cultura de prevenção, mitigação e adaptação, em termos de inundações, precisa ser explorada e incorporada no planejamento urbano.

Quando da introdução da pauta ambiental na gestão e no planejamento do território das cidades, fica evidente que este processo de estruturação urbana deve ser pautado na integração de diversos aspectos, tais como, a valorização e preservação do meio ambiente, assegurando, porém, que a cidade possa se desenvolver de maneira satisfatória e segura para todos os que nela habitam.

As tentativas de disciplinar a ocupação e uso do território urbano – através de legislações (em sua maioria) de cunho municipal – têm por escopo promover o ordenamento da ocupação urbana. Estas, muitas vezes, mostram um distanciamento dessas recomendações com a temática da drenagem urbana, o que tem potencial para promover severos problemas na gestão das águas urbanas.

## 1.2 Base teórica

### Drenagem Urbana Sustentável

A drenagem urbana vem passando por um período de maior destaque nas discussões sobre saneamento ambiental, no Brasil, nos últimos anos. Diversas técnicas vêm sendo estudadas para melhorar os sistemas de drenagem e minimizar os problemas existentes nos sistemas deficientes.

Interessantes informações que demonstram a presente realidade da Drenagem Urbana no país podem ser encontradas na Pesquisa Nacional do Saneamento Básico (PNSB) realizada em 2008 pelo IBGE. Partiu-se da premissa que: o município tinha serviço de manejo de águas pluviais quando este existisse em pelo menos um distrito,

ou parte dele, independentemente da extensão da rede de drenagem. E tal sistema de drenagem contempla pavimentação de ruas, implantação de redes superficial e subterrânea de coleta de águas pluviais e destinação final de efluentes (IBGE, 2008).

Os dados demonstram que, para o país, o percentual de municípios com sistema de drenagem superficial é de 94%, e aqueles que possuem drenagem subterrânea é de 76,5% - dados estes sem levar em consideração o índice de cobertura ou a eficiência do sistema. Dos municípios que declararam possuir sistema de drenagem urbana, apenas 12,7% apresentam dispositivos coletivos de detenção e amortecimento de vazão das águas pluviais – dispositivos estes de grande importância na minimização dos impactos produzidos por precipitações de elevada intensidade e, consequentemente, na prevenção de alagamentos e inundações em áreas urbanas.

Ainda com dados desta pesquisa, 51,2% das cidades declararam possuir problemas com relação a inundações e pontos de estrangulamento no sistema de drenagem, sendo que 60,7% destas informaram haver ocupações urbanas em áreas inundáveis e 48,1% relatam a existência de áreas urbanas irregulares em terrenos que naturalmente recebem o escoamento pluvial. Outro dado importante é que apenas 19% dos municípios com sistema de manejo de águas pluviais dispõem de algum instrumento regulador da drenagem urbana – Plano Diretor de Drenagem, Plano Diretor Municipal, Plano Diretor de Recursos Hídricos, Plano Diretor de Saneamento Básico, Legislação Municipal (IBGE, 2008).

Uma possível explicação para essa situação (que mostra cobertura de drenagem alta e também alta ocorrência de alagamentos) é a maneira como é feita a imensa maioria das concepções de projeto em drenagem urbana nos municípios, onde usualmente se parte da premissa e da abordagem que:

- A drenagem urbana tem sido desenvolvida com base em um princípio equivocado – “A melhor drenagem é a que retira a água pluvial excedente o mais rápido possível do seu local de origem”.
- Abordagem localizada do problema: Na microdrenagem, as soluções utilizadas aumentam a vazão de escoamento, e a transferem quase que completamente para o trecho a jusante. Já na macrodrenagem, são construídos canais para dar vazão ao escoamento conjunto produzido pela microdrenagem e, para evitar inundações em determinados trechos críticos.

Essa suposição, que reflete o conceito higienista, é suportada pela pequena porcentagem de cidades com dispositivos de detenção e amortecimento. Este tipo de solução segue a visão particular de um trecho da bacia, sem que as consequências sejam previstas para o restante da mesma ou dentro de diferentes horizontes de ocupação urbana. A canalização dos pontos críticos acaba apenas transferindo o problema de um lugar para o outro da bacia (TUCCI, 2005).

A visão mais comum (e antiga) da drenagem urbana tem como princípios: remover as águas pluviais para jusante e executar projetos e obras de caráter estrutural para resolver os problemas. Já uma visão mais atualizada busca a compreensão integrada do meio ambiente: social, econômica, legal, institucional e tecnológico. Os fundamentos da drenagem urbana moderna estão basicamente em não transferir os impactos à jusante, evitando a ampliação das cheias naturais, recuperar os corpos hídricos, buscando o reequilíbrio dos ciclos naturais (hidrológicos, biológicos e ecológicos) e considerar a bacia hidrográfica como unidade espacial de ação.

De tal forma, que o sistema de drenagem urbana passa a ser considerado de um modo integrado com o desenvolvimento urbano, compreendendo assim as inter-relações entre o crescimento urbano e os problemas das cheias, levando em consideração aspectos como a conservação ambiental, o uso e controle do solo e a busca pelo desenvolvimento de baixo impacto.

Nas últimas décadas, novas abordagens mais próximas do conceito de sustentabilidade têm sido estudadas, sob diferentes denominações: *Low Impact Development* (LID), nos EUA e Canadá; *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), no Reino Unido; *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), na Austrália; e *Low Impact Urban Design and Development* (LIUDD), na Nova Zelândia.

Nesse contexto, surgem os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (do inglês *Sustainable Urban Drainage Systems*, ou simplesmente SUDS), onde os ideais de desenvolvimento sustentável já devem estar imbuídos no próprio processo de concepção do sistema de drenagem, buscando assim o melhor gerenciamento dos riscos ambientais e melhorias no desenho urbano e nos ambientes construídos (ELLIOT & TROWSDALE, 2007).

Tais sistemas se constituem em soluções de drenagem que fornecem uma alternativa para a canalização direta de águas superficiais, simulando regimes de

drenagem natural, visando reduzir as inundações, melhorar a qualidade da água e aumentar a comodidade e a biodiversidade do meio ambiente. Para tanto, é necessário diminuir as taxas de escoamento, aumentando a capacidade de armazenamento de água e reduzindo o transporte de poluição ao meio ambiente aquático. Algumas das medidas consideradas em projetos de Drenagem Urbana Sustentável são: **captação de água da chuva, bacias de detenção e retenção, pavimentos permeáveis, áreas verdes, bacias de infiltração, entre outras tipologias** (ELLIOT & TROWSDALE, 2007).

No Brasil, Batista *et al.* (2005), entre outros, consolidou o conceito de técnicas compensatórias em drenagem urbana com a proposta da introdução de medidas cujo foco é aumentar a capacidade de infiltração e armazenamento, objetivando assim uma compensação dos efeitos deletérios provocados pela urbanização.

Na publicação feita pelo Ministério das Cidades em 2006 – Manual para Apresentação de Propostas de Drenagem Urbana Sustentável – a busca por um conceito de desenvolvimento de baixo impacto já representa uma orientação na execução de tais propostas; o que lhe concede status de fundamento dentro dos princípios previstos no manejo de águas pluviais de maneira sustentável no país. Do ponto de vista de arcabouço técnico e legal, se constitui numa importante ferramenta para melhor gestão do sistema de manejo de águas pluviais, já que o município ao apresentar propostas técnicas para liberação de verbas federais deve levar em consideração à temática “ambientalmente sustentável” (BRASIL, 2006).

### **Uso de ferramentas matemáticas e de modelagem como auxilio em tomadas de decisão**

Uma importante ferramenta que pode ser utilizada para o planejamento e obtenção de respostas da bacia hidrográfica são os modelos hidrológicos e hidráulicos. A modelagem na drenagem urbana se propõe a analisar e verificar diversas condições de funcionamento dos sistemas de drenagem, assim como a avaliação de todas as respostas da bacia, como parte da estratégia e planejamento detalhado do sistema (GARCIA e DE PAIVA, SD.).

A determinação da vazão de cheia é imprescindível para o dimensionamento hidráulico nos diferentes projetos de engenharia e, muitas vezes, existem dificuldades na obtenção destas informações, em função da ausência de monitoramento, o que leva a uma busca por alternativas de determinação destas vazões, a partir de medições de

chuva, com a utilização de modelos matemáticos. Ainda assim, os modelos precisam de um conjunto (mínimo, ao menos) de dados para a sua calibração.

O contínuo desenvolvimento computacional, através das ultimas décadas, estimulou de maneira crescente a utilização de modelos matemáticos para determinação do hidrograma de cheia; já que há uma maior disponibilidade de computadores com maior capacidade de processamento de dados, o que melhora a simulação do processo chuva-vazão, que é a base para determinação de alagamentos e inundações (MIGUEZ & MAGALHÃES, 2010).

Alguns modelos muito presentes na prática técnica podem ser citados tais como o HEC –RAS (muito usual entre empresas de consultoria brasileiras), o SWMM (um importante modelo de rede de drenagem no mundo, em virtude de sua característica de código aberto), além de outros modelos matemáticos desenvolvidos por pesquisadores brasileiros tais como o MODCEL (Modelo de Células de escoamento, desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro) e o Cliv (modelo de simulação do escoamento em condutos livres, desenvolvido na Universidade de São Paulo).

O modelo hidrodinâmico *Hydrological Engineering Center – River Analysis System* (HEC-RAS) foi desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). Por ser gratuito e de fácil acesso, tem sua utilização bastante difundida para simulações hidráulicas unidimensionais. Este sistema trabalha com escoamentos unidirecionais de regime permanente e não permanente, transporte e deposição de sedimentos e modelos de qualidade da água, sendo que estes 4 componentes usam o mesmo procedimento de cálculo geométrico e hidráulico.

Outro modelo também utilizado para o estudo da hidrologia urbana é o SWMM (*Storm Water Management Model*). Este é um *software* bastante difundido e com grande aplicação para bacias urbanas. Ele foi desenvolvido pela US EPA (*Environmental Protection Agency*) entre 1969 e 1971 e, após essa data, sofreu diversas atualizações. O pacote deste modelo é bastante completo, pois ele se propõe a resolver problemas qualitativos e quantitativos. A estrutura do modelo é apresentada em nove blocos ou módulos. O bloco “*Runoff*” refere-se à transformação de chuva em vazão, o bloco “*Transport*”, ao transporte na rede de drenagem segundo o conceito da onda cinemática, o bloco “*Extran*” à modelação hidrodinâmica em condutos e canais e o bloco

“Storage/Treatment” à qualidade das águas (<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>).

Além da utilização de ferramentas computacionais, também se faz necessário o uso de índices multicritério, pois estes conseguem condensar e traduzir por meio de um único valor numérico, diferentes informações provenientes de naturezas de dados distintas. Essa característica é útil no estudo do risco de inundações, onde um evento de inundaçāo pode ser associado aos danos e consequências negativas diversas sobre o sistema socioeconômico, representado pelo ambiente urbano, como forma de nortear ações e direcionar esforços para regiões mais críticas. Dessa forma, com uso de um ou mais índices, é possível entender tendências, comparar os efeitos de ações em diferentes lugares, proporcionar antecedência de impactos de determinadas ações (sociais ou ambientais) e também prever condições futuras.

### **Planejamento Urbano**

Em pouco mais de 50 anos, o Brasil passou de um país majoritariamente rural para um país urbano, que apresenta 84% da população, estimada em 190 milhões pelo IBGE (IBGE, 2010), habitando as cidades.

Essa transformação no perfil de urbanização do país deixa claro, através de números, o processo de inchamento populacional das cidades, que não foi, entretanto, acompanhado por um incremento adequado na infraestrutura disponível, comprometendo as condições de vida oferecidas à população. Termos como favelização, cortiços, problemas urbanos, transporte de massa, caos urbano, planejamento urbano, planos urbanos, esvaziamento dos centros, diagnóstico dos problemas da cidade, dentre outros, passam a fazer parte do vocabulário dos que vivem, governam e estudam as cidades (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Numa interpretação livre do conceito de planejamento, o mesmo consiste em um processo técnico, desenvolvido e verificado ao longo do tempo, em que, a partir de determinados instrumentos e ferramentas, visa transformar a realidade existente, para o atendimento de objetivos anteriormente estabelecidos.

O planejamento de um sistema de drenagem urbana deve ser concebido e executado dentro de um contexto mais abrangente do planejamento de todo o ambiente urbano em uma bacia hidrográfica e estar de acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana, o qual indica as principais linhas de ação para a área; integrando o sistema de

drenagem com os outros sistemas do ambiente urbano e com o próprio desenvolvimento da cidade (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Essa nova abordagem visa transformar o *status quo* dominante de fragmentação da ação dos diversos setores de infraestrutura urbana, tratados separadamente por diferentes secretarias e instituições sem articulação entre si, migrando para um planejamento integrado das políticas públicas, tanto transversalmente, quanto verticalmente, entre esferas diferentes da administração pública. A abordagem integrada aplicada ao plano de drenagem urbana consiste na vinculação dos aspectos ligados ao manejo das águas pluviais com o projeto de ordenamento territorial de forma geral, e com os demais sistemas urbanos específicos.

### **Gestão do Risco de Cheias**

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 vulnerabilidade de pessoas e/ou bens passíveis de serem afetados, assim como do valor associado a estes.

A Gestão do Risco de Desastres pode ser considerada como um conjunto de decisões administrativas, de organização e conhecimentos operacionais desenvolvidos com intuito de implementar políticas e estratégias com a finalidade de fortalecer capacidades a fim de reduzir os impactos de ameaças naturais e de desastres ambientais e tecnológicos. Envolve diversos tipos de atividades para evitar (prevenção) ou limitar (mitigação, preparação e resposta) os efeitos adversos dos desastres (ISDR, 2007).

Como primeiro passo para a gestão de riscos, é preciso que os formuladores de políticas de planejamento e gestão urbana entendam que os perigos das inundações podem afetar o ambiente urbano. Compreender o perigo requer um melhor entendimento dos tipos e causas de inundação, suas probabilidades de ocorrência, e seu impacto em termos de extensão, duração, profundidade e velocidade. Sendo esta compreensão essencial para o planejamento de medidas e soluções que podem prevenir ou limitar danos específicos de inundação. Igualmente importante é saber aonde e com que frequência eventos de inundação provavelmente venham a ocorrer, bem como qual população e ativos ocupam as áreas potencialmente afetadas, o grau de vulnerabilidade destas pessoas e das edificações.

Uma abordagem integrada da gestão de riscos de cheias urbanas é uma combinação de medidas, podendo estas serem tipicamente descritas como estruturais e não estruturais. As medidas estruturais visam reduzir o risco de inundação através da tentativa de controle do escoamento das águas na calha dos cursos d'água e na paisagem urbana, por meio de canalizações, barragens, reservatórios, criação de parques inundáveis, diques, reservatórios em praças ou lotes, entre outros. São consideradas como medidas de controle e, geralmente, imprescindíveis para ações corretivas.

Trabalhando de maneira complementar, as medidas não estruturais pretendem manter as pessoas seguras contra inundações por meio de um melhor planejamento e gerenciamento do desenvolvimento urbano, por meio de ações como:

- Planejamento e gerenciamento de emergência, inclusive alerta e evacuação;
- Maior e melhor preparação, o que inclui procedimentos de gestão urbana com vistas à redução de risco de cheias;
- Trabalhar com planejamento do uso do solo, que contribui tanto na prevenção quanto na adaptação em situações de cheias urbanas;
- Aceleração da recuperação e uso do pós-inundação para aumentar a resiliência do sistema urbano (WORLD BANK, 2012).

### **1.3 Motivação**

Historicamente, os problemas associados a enchentes nas áreas urbanas foram imputados, principalmente, ao excesso de chuvas – diminuindo a importância dos efeitos provocados pelas ações humanas sobre a bacia hidrográfica. As soluções de engenharia buscavam o aumento da capacidade de escoamento dos rios e canais para resolver tais problemas, caracterizando a conceituação básica dos sistemas convencionais de drenagem urbana.

Porém, com o passar dos anos, tais problemas continuaram a persistir, o que levou a uma busca de conhecimento técnico que viesse a minimizar as situações de alagamento e inundações enfrentadas nas cidades. Nesse caminho, passou-se a investigar mais a fundo como se dá a relação da drenagem urbana com os acontecimentos em escala de bacia hidrográfica e, principalmente, buscou-se uma integração entre o que é estudado, planejado, projetado e executado em drenagem

urbana com aquilo que é planejado para o ordenamento territorial nos municípios, uma vez que o uso do solo é determinante na relação de geração de escoamentos superficiais.

Junto a esse caminho de pesquisas, se fortaleceu o conceito de desenvolvimento sustentável, que passou a ser incorporado em diversas esferas da sociedade, estando o mesmo também presente nas diretrizes inerentes ao planejamento das cidades e também em um novo modo de planejar e projetar a drenagem urbana, sem favorecer a transferência de alagamentos no espaço ou no tempo.

Atualmente, busca-se trabalhar com uma abordagem integrada e simultânea entre os planos de manejo de águas pluviais e os planos de ordenamento territorial, já que, física, social e politicamente, não há como ser feita a gestão separada destes. Como exemplo desta assertiva, podem-se citar, de forma simplista, para ilustração, situações genéricas tais como: Pode haver a autorização de ocupação social de uma determinada área onde o período de retorno das cheias é de 2 a 5 anos? Ou como pode ser liberada a instalação de um pólo industrial sem que seja feita a adequação necessária de uma área que “alaga” a cada 15 a 20 anos?

Dentro dessa visão integrada do planejamento territorial urbano, o Brasil deu um passo importante quando, a partir da chamada “Lei do Saneamento Básico – 11.445/2007” decretou-se a obrigatoriedade da execução do plano de saneamento ambiental para os municípios, plano este que contempla obras de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais urbanas. Tal plano deveria ser obrigatório a partir de dezembro/2015 (prazo este adiado para dezembro/2017) para que os municípios tenham acesso às verbas federais destinadas à área de saneamento ambiental. O que se nota é um esforço político na regulamentação dos serviços de manejo de águas pluviais e, o mais interessante no momento da execução desses planos, é que os mesmos já estejam integrados com os planos diretores municipais e ao zoneamento ambiental e urbano do município.

Cuiabá, a capital do estado de Mato Grosso, é uma cidade de quase 300 anos, que surgiu e se estabeleceu em função da exploração de ouro e outras riquezas minerais, encravada no centro geodésico do continente. A cidade cresceu muito e sem um planejamento eficiente nos últimos 50 anos (quando houve uma intensa migração em direção ao MT), contando hoje com aproximadamente 600.000 habitantes. A cidade possui uma boa rede hidrográfica, com os rios Cuiabá e Coxipó como principais cursos

d'água, e é cortada por cerca de 30 córregos (hoje praticamente todos poluídos). Problemas com relação à inexistência/insuficiência do sistema de drenagem urbana são comuns no dia-a-dia da cidade.

A partir dos anos 1950 até o final do século XX, a cidade de Cuiabá sofreu com recorrentes enchentes por parte do rio Cuiabá, estas que somadas ao elevamento do nível de água nos córregos urbanos (em eventos de chuvas intensas), e o aumento da impermeabilização do solo na cidade que se expandia rapidamente (principalmente depois de 1970) acabou por gerar um quadro de criticidade no que tange ao sistema de drenagem urbana. Com a entrada do século XXI foi construída uma Usina Hidroelétrica de Aproveitamentos Múltiplos a montante da cidade, com intuito de controlar a sazonalidade da vazão do rio Cuiabá; portanto as cheias provocadas pelo rio já não se constituem em fator preponderante para o sistema de drenagem municipal. Porém por outro lado, a explosão urbana ocorrida (que não veio acompanhada de um planejamento urbano eficaz) teve como resultado um forte aumento dos problemas estruturais do sistema de drenagem urbana.

Para tentar resolver esse quadro, ao longo dos últimos 30 anos, a cidade passou e vem passando por diversas intervenções no que se refere a obras de engenharia (implantação de redes de microdrenagem, canalizações, retificações de córregos, entre outras) buscando “controlar” a situação e minimizar os impactos gerados. Porém parte destas ações possui como agravante o fato de aumentarem o potencial de transferência de inundações. E somado a este quadro, verifica-se a leniência do poder público com relação ao uso de medidas não estruturais para gerir o sistema municipal de drenagem urbana.

O plano diretor de desenvolvimento estratégico do município foi aprovado em 2007, sendo previstas, no mesmo, diversas ações no âmbito do saneamento ambiental – incluindo a drenagem urbana – entre elas está a elaboração do plano diretor de drenagem urbana em curto prazo. Até a corrente data, este plano ainda não foi construído, estando em fase inicial de desenvolvimento. A cidade sofre com alagamentos frequentes e com os prejuízos decorrentes. Portanto, este trabalho pode ser utilizado como uma ferramenta de suporte importante aos propósitos deste plano.

## **1.4 Hipótese**

O zoneamento ambiental do território municipal urbano, enfocando a temática de gestão do risco de cheias, é uma ferramenta fundamental no planejamento urbano e pode dar condições para um desenvolvimento mais sustentável e com menores riscos.

## **1.5 Objetivos**

O objetivo principal desta Tese é promover a integração da aplicação de técnicas de gestão do risco de cheias, associando ferramentas matemáticas de avaliação multicritério de vulnerabilidade urbana e modelagem hidrodinâmica, como instrumentos tecnológicos para um melhor embasamento metodológico do planejamento urbano, no tocante ao zoneamento ambiental urbano, promovendo, assim, orientações que visem a melhor execução (ou readequações) deste planejamento. Um caso de estudo na cidade de Cuiabá será utilizado para ilustrar as discussões e propostas.

Para tanto, é necessária a consecução de alguns objetivos específicos, sendo estes:

- Visitar a literatura técnica e científica, para compor a base de trabalho, revendo temas como drenagem urbana e controle de cheias, planejamento urbano, análise multicritério e modelagem matemática e, fazer um levantamento do arcabouço legal relacionado com o tema;
- Compreender a evolução histórica do desenvolvimento da cidade de Cuiabá, bem como o processo de planejamento urbano da cidade;
- Propor o desenvolvimento de um Índice específico, para mapeamento de vulnerabilidades urbanas ao processo de inundações, para subsidiar a discussão ambiental no âmbito do zoneamento urbano, e em sequência identificar e avaliar a vulnerabilidade urbana frente processos de inundações para a bacia do córrego Barbado, em um estudo de caso piloto;
- Verificar o comportamento do zoneamento urbano previsto para o caso de estudo quando em comparação com a avaliação da vulnerabilidade urbana desta mesma área;
- Elaborar o mapeamento das áreas suscetíveis ao processo de inundaçao para o caso de estudo;

- Proposição da inserção deste arcabouço técnico no processo de zoneamento ambiental e urbano da cidade – com vistas a adequações e melhoramentos deste – com a consecução de uma metodologia orientativa para este processo, que possa servir de referência para outros casos semelhantes.

## **1.6 Caso de estudo**

A micro-bacia de interesse neste trabalho é a do córrego do Barbado. Córrego este completamente inserido na área urbana do município de Cuiabá e que consegue demonstrar claramente os conceitos de “causa e consequência” ao se promover a urbanização de uma área sem o devido planejamento. Essa micro-bacia será utilizada como piloto de testes representativo da metodologia que se pretende desenvolver, para suporte ao planejamento ambiental de Cuiabá.

A micro-bacia do córrego Barbado se localiza na porção centro-leste de Cuiabá e possui aproximadamente 13 km<sup>2</sup> tendo como principal corpo d’água o córrego de mesmo nome, com cerca de 9 km de extensão; atravessando 25 bairros do município (IPDU, 2002). No seu trecho superior, a mesma ainda se encontra com nível de antropização menor, porém de seu curso médio até seu curso inferior a bacia foi praticamente toda alterada. Em sua área se localizam importantes estruturas organizacionais da cidade e do Estado tais como: o Centro Político e Administrativo do Estado, um dos campi do Instituto Federal de Educação de Mato Grosso, o campus principal da Universidade Federal de Mato Grosso, bem como importantes eixos viários que ligam a cidade sentido norte-sul e centro-leste.

Devido às intensas alterações sofridas na bacia hidrográfica, inclusive às margens do córrego – tais como canalização, habitações residenciais e comerciais ilegais, lançamento de esgoto e resíduos sólidos, sistema viário sem projeto de drenagem urbana – associados a características naturais da bacia, que apresenta predominância de solos rasos e com baixa permeabilidade (o que favorece ao escoamento superficial), têm-se tornado comum nos últimos anos problemas com relação a alagamentos em alguns pontos e principalmente no seu trecho inferior.

## **1.7 Contribuição da pesquisa**

A concepção deste trabalho é realizar uma proposta metodológica da construção e utilização de um mapa amplo de zoneamento ambiental (focado na temática das cheias urbanas) com base na análise das vulnerabilidades associadas às áreas urbanizadas (social, econômica, ambiental e infraestrutural), que tenha por interesse principal o desenvolvimento sustentável da cidade a partir da gestão do risco de cheias, sendo buscada a integração deste zoneamento no processo de desenvolvimento das diretrizes norteadoras do planejamento urbano do município.

## **1.8 Metodologia resumida**

Deve ser feita uma extensa revisão metodológica com relação ao planejamento urbano, com ênfase na elaboração do zoneamento urbano, principalmente no que tange à adequação destes aos preceitos da drenagem urbana, e também com relação à temática da gestão do risco de cheias, na aplicação e avaliação de índices de riscos de cheia e no zoneamento de inundações. Devem também ser estudadas as atuais metodologias utilizadas para identificação e avaliação das vulnerabilidades ambiental, social e econômica em áreas urbanizadas. A partir deste estudo, esta Tese desenvolve um índice original, para mapeamento de vulnerabilidades urbanas a inundações e define este índice como ferramenta de mapeamento espacial destas vulnerabilidades para compor o processo de zoneamento urbano e ambiental.

Com relação à definição do caso a ser estudado, bem como da obtenção dos dados necessários para execução da pesquisa, tal escolha leva em consideração alguns requisitos tais como: uma bacia urbanizada e de preferência com urbanização consolidada, que enfrente problemas de cheias, e que o município na qual esta se inseriu possua legislação municipal com a ferramenta de zoneamento já implantada ou em vias de implantação. Os dados necessários à execução da modelagem hidrodinâmica possuem bases topográficas, hidrológicas, hidráulicas, tipo, uso e ocupação do solo, existência de obras hidráulicas, entre outros.

Com os dados levantados, podem-se iniciar os trabalhos de modelagem do comportamento hidráulico e hidrológico da onda de cheia. Dentro de uma variada gama de modelos matemáticos computacionais, este trabalho busca se utilizar de um modelo desenvolvido na UFRJ, o MODCEL (Mascarenhas e Miguez, 2002; Miguez, 2001; Miguez, 2011), que simula tanto escoamentos superficiais, como escoamentos em rede. Este é um modelo hidrodinâmico, quasi-bidimensional, que também tem capacidade de

realizar funções hidrológicas simplificadas de uma forma distribuída, e integra os escoamentos superficiais, a rede de drenagem (aberta e fechada) e os cursos d'água da bacia a ser modelada. Tal modelo vem sendo utilizado em diversos trabalhos desenvolvidos na temática de recursos hídricos nos cursos de graduação e pós graduação na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tal como os dois modelos anteriormente citados, é um modelo livre, não comercial.

Tendo em vista que o manejo de águas urbanas vem migrando a abordagem de redução de alagamentos para a gestão dos riscos envolvidos e que, a avaliação da vulnerabilidade do sistema é um item fundamental neste processo, índices que consigam determinar a vulnerabilidade da área da bacia hidrográfica tornam-se útil dada à diversidade envolvida na sua caracterização.

A vulnerabilidade urbana para o caso de estudo proposto utilizará o índice original desenvolvido, buscando abranger as diferentes vertentes da vulnerabilidade urbana. Esse índice pode ser replicado em diferentes situações.

Possuindo os mapas produzidos para avaliação da vulnerabilidade urbana na situação atual (identificando-se as áreas mais frágeis da bacia em questão), a superposição destes mapas com o atual zoneamento urbano previsto, contando, além disso, com o levantamento das manchas de inundação provenientes da modelagem de cheias, é possível avaliar a situação urbana com relação aos fenômenos de cheias, comparando-a com aquela proposta no zoneamento urbano do município. A partir de então gera-se uma base tecnológica para inferências sobre o próprio planejamento da cidade e, é possível propor o uso de técnicas de drenagem sustentável para reordenar os escoamentos, minimizar vulnerabilidades e gerir da melhor maneira tanto os riscos de cheias quanto o próprio planejamento urbano.

É essa base tecnológica que visa fornecer respaldo metodológico para inferências com relação às readequações propostas no planejamento urbano municipal (no que tange a ferramenta zoneamento ambiental urbano), bem como fornecer uma metodologia orientativa quando da execução desse zoneamento; fornecendo ao mesmo um caráter mais focado em uma avaliação técnica dos problemas de caráter ambiental, econômico e social, com o viés do desenvolvimento urbano ambientalmente sustentável.

## **2.0REVISÃO DA LITERATURA**

---

### **2.1.A CIDADE E SUAS ÁGUAS**

As formas de organização espacial das cidades são resultado de um complexo processo de interação entre diversos fatores, principalmente os históricos, geográficos, políticos, econômicos e sociais. Em boa parte das situações, tais aspectos não devem ser avaliados de maneira isolada, extraídos de um contexto mais amplo, tendo em vista as relações de interdependência e influência mútua que existem entre eles. E nessa intrincada teia de processos que se conjugam para a produção do espaço urbano encontram-se os cursos de água, desempenhando papéis alternados ao longo da história – ora como elementos vitais ao cotidiano das cidades e embelezadores da paisagem, ora como meios altamente degradados e degradantes indesejáveis perante o convívio urbano.

A urbanização está diretamente relacionada ao problema das cheias urbanas. As cidades se instalaram em territórios que são constituídos por bacias hidrográficas que já apresentam seus próprios padrões de escoamentos e vazões naturais, se sobrepondo assim a essa paisagem e sofrendo a influência dessa água. Além disso, a sequência de modificações físicas imposta pela urbanização faz com que as vazões de escoamentos superficiais sejam aumentadas, reorganizadas ou artificializadas, elevando o acúmulo de água sobre a superfície do terreno.

Ao longo deste capítulo deseja-se fazer um *tour* pela intrincada teia de ações que ligam as cidades às suas águas, inicialmente tendo em vista os aspectos históricos deste processo, depois como se dá a estruturação do ciclo hidrológico urbano e, por fim, como se deu o desenvolvimento da drenagem urbana – caminhando a partir dos conceitos higienistas (em seus primórdios) até a inserção do conceito de sustentabilidade nos dias atuais.

#### **2.1.1. Aspectos históricos**

*“A cidade nasce da água. A história urbana pode ser traçada tendo como eixos as formas de apropriação das dinâmicas hídricas. A trajetória das relações entre*

*cidades e corpos d’água reflete, assim, os ciclos históricos da relação entre homem e natureza”* (MELLO, 2008).

Como expressado no pensamento acima, a história do homem, das águas e das cidades segue uma trajetória construída com base nas suas diferentes formas de interação ao longo do espaço e do tempo, centrada basicamente na relação entre a dinâmica e a sazonalidade naturais dos corpos de água e das necessidades humanas, no decorrer de distintos períodos.

As atividades inicialmente baseadas no provimento de alimentos (pesca e agricultura) e consumo condicionaram o assentamento das primeiras aglomerações humanas às margens dos cursos de água. A facilidade de suprimento de água para higiene e evacuação de dejetos, aliada aos benefícios nos setores de comunicação e transporte, também foram determinantes para o estabelecimento de aglomerações às margens de rios e córregos (CASTRO *et al.*, 2004).

Nas Idades Antiga e Média as águas ainda desempenhavam importante papel militar, favorecendo a defesa do meio urbano (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2001). Dessa forma, as cidades implantavam-se em ilhas ou em elevações junto a meandros ou penínsulas. A essa época, a estratificação social já implicava em condições distintas de apropriação do espaço urbano, sendo as áreas baixas das cidades, sujeitas aos efeitos das frequentes inundações, ocupadas pelas classes menos favorecidas. Todavia, apesar dos riscos associados a esse tipo de ocupação, a sua aceitação incorporava-se ao cotidiano das populações, que consideravam, de modo geral, que os benefícios decorrentes do acesso mais direto à água eram superiores aos danos e transtornos das cheias periódicas (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2002).

Encerrando um ciclo na Idade Média, não houve a preocupação com a manutenção e “modernização” dos sistemas de evacuação de esgotamento sanitário o que acabou por implicar em condições de vida bastante insalubres nas cidades, com a constante presença de lama e esgoto junto ao sistema viário (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2001).

A deterioração da qualidade das águas se acentuou no final do século XVIII, com o advento da revolução industrial, onde os grandes cursos d’água foram convertidos em privilegiadas fontes de abastecimento para as indústrias e, ao mesmo tempo, receptores de águas residuais altamente contaminadas (REYNOSO *et al.*, 2010).

Ao longo do século XIX, o aumento das aglomerações urbanas (devido a crescente industrialização), juntamente com as grandes epidemias (doenças de veiculação hídrica, como cólera e tifo) que assolaram a Europa, explicitaram pela primeira vez os problemas decorrentes da precariedade da infraestrutura das cidades quanto à convivência com suas águas. Em paralelo, avanços científicos – notadamente nos campos da microbiologia e epidemiologia – contribuíram de maneira impactante para uma mudança na relação existente entre a água e o meio urbano.

Observa-se, nesse sentido, o surgimento dos chamados conceitos higienistas, que deram início a um período de concepção de sistemas de esgotamento sanitário e drenagem pautados na execução de redes de tubulação subterrâneas e na canalização de rios e córregos, em busca do controle de enchentes e de doenças de veiculação hídrica por meio da rápida evacuação das águas pluviais e servidas (BAPTISTA *et al.*, 2015).

Essas soluções, originárias da Europa, foram amplamente difundidas, tendo sido adotadas também no Brasil no final do século XIX. Assim, a água perde, progressivamente, seu papel na paisagem das cidades.

Na segunda metade do século XX observa-se uma nova mudança da vida urbana, através de uma diversificação na economia urbana: há uma redução das atividades industriais e um crescimento das atividades econômicas ligadas aos serviços. E em paralelo, também é percebido um crescimento na consciência sobre os riscos que a contaminação ambiental representa para a sobrevivência humana.

Diante deste novo contexto, ocorreu uma mudança de paradigma em relação ao século XVIII – no qual houve um triunfo da tecnologia sobre a natureza, e o ambiente natural foi encarado como uma barreira a ser superada para o alcance da comodidade urbana. A partir de então, a natureza não é mais vista como obstáculo, mas sim como um insumo para a melhoria da qualidade de vida nas cidades (REYNOSO *et al.*, 2010).

Todavia, o aumento da concentração populacional nas cidades a partir de meados do século XX amplia, significativamente, os impactos da urbanização sobre as águas. De acordo com ONU - HABITAT (2013), os cerca de 50% da população mundial que vivem atualmente em áreas urbanas devem superar os 60% em 2025, e ultrapassar os 70% em 2050. No Brasil, esse cenário é ainda mais crítico, segundo dados censitários do IBGE (2010), a população urbana já supera os 80%. A preocupação não se encerra nesses dados, mas sim que esse aumento da população é

muito mais pungente em países em desenvolvimento – e principalmente em áreas de urbanização sub-normal (favelas e assentamentos informais) – o que representa um desafio ainda maior na questão urbano-ambiental.

Sendo assim, neste século corrente, as questões urbana e ambiental se confundem, formando o atual campo de trabalho tecnológico, social, econômico, e de planejamento político para gerir os ambientes urbanos.

### **2.1.2. Ciclo hidrológico urbano**

A água circula pelo planeta em todos os seus estados, líquido, sólido e gasoso. A essa circulação dá-se o nome ciclo hidrológico, o qual Silveira (2004) define da seguinte maneira: O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

Essa circulação acontece em diversos sentidos, sendo de grande importância as trocas verticais entre a superfície terrestre e a atmosfera. O transporte da água no sentido superfície terrestre → atmosfera acontece principalmente através do fenômeno de evapotranspiração, já o sentido inverso, atmosfera → superfície terrestre, a parcela mais significativa deste transporte ocorre em forma de precipitações, tanto como chuva ou como neve.

A interferência do ser humano neste processo se dá de forma mais significativa na tentativa de se controlar os processos de escoamento superficial por uso da drenagem, que é, historicamente, a infraestrutura responsável por direcionar as águas precipitadas sobre o solo mais rapidamente para o seu destino final, evitando que fique acumulada em regiões de interesse para ocupação humana.

É sabido que a urbanização está diretamente relacionada ao problema das cheias urbanas. Em bacias hidrográficas pouco urbanizadas, os fenômenos comuns que podem ocorrer com a água precipitada são a infiltração, a retenção em depressões ou por vegetais e o escoamento superficial. Nesses casos, a cidade tem que conviver com a parcela da chuva que escoa sobre o terreno, porém esta é reduzida em função da parcela infiltrada e daquela retida, que ainda podem ser consideráveis devido à preservação de parte da cobertura vegetal e de parte das características naturais do solo.

Em bacias hidrográficas com urbanização já consolidada ou em processo avançado, é aumentada grandemente a parcela de escoamento superficial da água da chuva, bem como reduzida as parcelas de infiltração, armazenamento em depressões e evapotranspiração. Algumas das modificações que provocam essas variações são: o desmatamento, a impermeabilização do solo, a canalização dos escoamentos, a ocupação de planícies de inundação, os acúmulos de resíduos sólidos e a favelização (BAPTISTA *et al.*, 2015).

Essas condições acarretam impactos diretos nos hidrogramas de cheias, que têm seus picos antecipados e acentuados. A combinação desses processos com a canalização dos cursos de água tem potencial para agravar o quadro apresentado, levando as redes de drenagem a crises de insuficiência e ao consequente aumento na frequência de inundações. E quanto à qualidade, o aumento da carga orgânica e de poluentes reduz, substancialmente, a biodiversidade e a potencialidade de usos múltiplos da água.

*Toronto and Region Conservation* (2006) categoriza os impactos da urbanização de acordo com seus efeitos no balanço hidrológico:

- **Mudanças no fluxo dos corpos d'água:** os efeitos podem ser sentidos pelo aumento do pico de vazão das cheias e da velocidade e do volume dos escoamentos superficiais, o que leva a um aumento dos riscos associados às inundações; outro efeito negativo está associado às vazões de estiagem, que tendem a diminuir devido à redução da capacidade de infiltração do solo, responsável pelo reabastecimento das águas subterrâneas;
- **Alterações na geometria dos canais:** A largura do canal aumenta para comportar o aumento da vazão em eventos de cheia, o que também propicia a erosão das margens, que por sua vez irão assorear o leito do rio nos trechos de jusante, o que faz com que a declividade média do corpo d'água tenda a diminuir, favorecendo ainda mais o processo de sedimentação. Por outro lado, a urbanização tende a aumentar a descarga de sedimentos grosseiros nos rios, o que intensifica o processo de erosão das margens e reduz a sinuosidade do curso, aumentando as velocidades de escoamento;
- **Degradação do habitat aquático:** mudanças nos padrões físicos do escoamento das águas pluviais causados pela urbanização da bacia hidrográfica acabam por degradar o meio aquático, reduzindo a sua qualidade ambiental, por meio de redução do nível de oxigênio dissolvido, até a retirada de comunidades

biológicas pelo processo de erosão das margens, chegando por fim a mudanças nos padrões de escoamento natural dos rios;

- **Prejuízo à qualidade da água:** Grande parte dos poluentes presentes é composta por matéria orgânica, que acaba por aumentar as concentrações de nutrientes presentes na água, como nitrogênio e fósforo, apresentando, ainda, altas concentrações de hidrocarbonetos e metais, presentes em óleos, combustíveis, pneus e gases do escapamento dos automóveis, que são carreados das ruas, além de microrganismos patogênicos nos corpos receptores, provindos de ligações clandestinas de esgotamento sanitário na rede de drenagem.

Em áreas densamente ocupadas, as condições de degradação são ainda mais visíveis. Além do considerável aporte de águas residuais, resíduos e carga de poluição difusa, observa-se significativa alteração da morfologia fluvial, seja em decorrência da canalização e retificação dos canais, seja pela ocupação desordenada de leitos ainda não revestidos.

Esse cenário, recorrente no panorama brasileiro, foi-se agravando à medida que as cidades foram crescendo; não exatamente por conta do avanço da urbanização, sua escala e velocidade, mas pelo modo como esta foi estabelecida (GROSTEIN, 2001).

Essa relação entre a urbanização e as enchentes pode trazer diversas consequências para as cidades. Entre elas estão: a paralisação do comércio, deslizamentos de encostas, colapsos na infraestrutura urbana, interrupção do tráfego de veículos, prejuízos materiais, contato da população com água poluída, perda de vidas, entre outros (D'ALTÉRIO, 2004). A Figura 2.1 procura ilustrar os principais impactos mencionados.

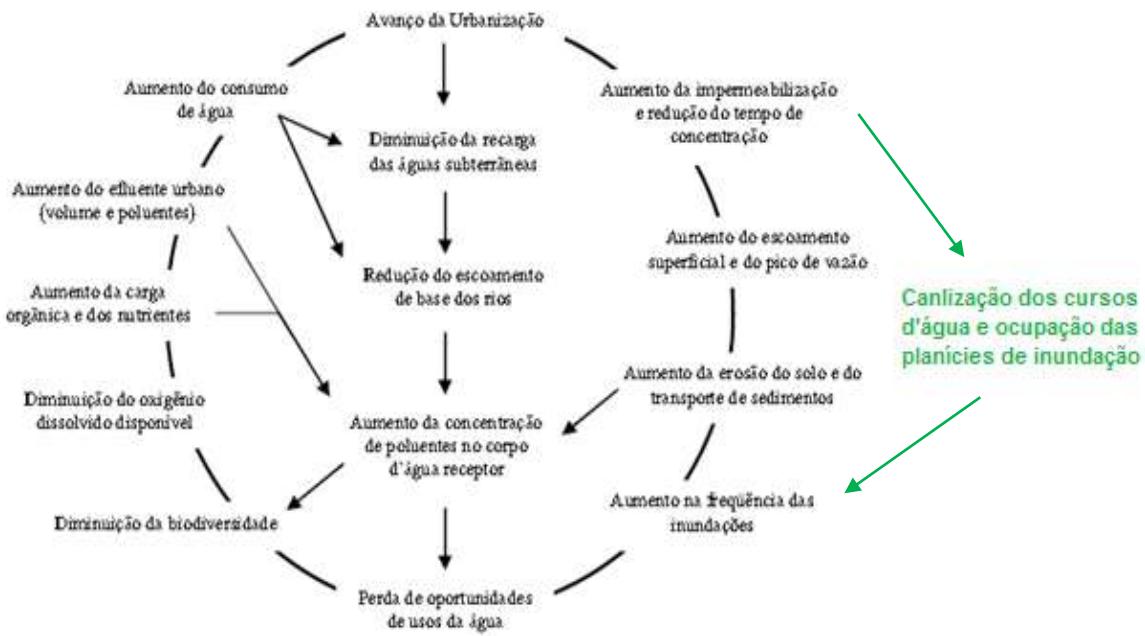


Figura 2.1: Impactos da urbanização das bacias hidrográficas sobre os cursos d'água  
Fonte: Adaptado de Chocat (2007)

De acordo com Mello (2008), o crescimento urbano e a pressão sobre os espaços intersticiais desocupados das cidades foram fatores que induziram a ocupação das áreas marginais aos corpos de água, especialmente nas áreas centrais saturadas.

Não raramente, as áreas de proteção ambiental são ocupadas pela população de baixa renda que, em vista dos custos envolvidos quando de sua remoção, acabam por se consolidar na ocupação ilegal (MARICATO, 1995). No caso das áreas de mananciais da cidade de São Paulo, França (2009) argumenta que, de fato, a remoção de população deve ser recurso de última instância, dados os vultosos custos econômicos e sociais que representa.

Miguez *et al.* (2005) enfatiza alguns aspectos relacionados à urbanização, ao ciclo hidrológico urbano e às inundações urbanas comuns em países periféricos:

- Elevado crescimento populacional em um curto intervalo de tempo;
- Urbanização sem planejamento e desordenada;
- Deficiência na cobertura espacial da infraestrutura de saneamento;
- Necessidade de definição de planos e orientações para o gerenciamento da drenagem urbana e qualificação do quadro técnico municipal;
- Políticas habitacionais incapazes de prevenir e evitar ocupações irregulares;

- Ocupação de áreas de risco de inundações legais e ilegais;
- Grande número de habitações subnormais;
- Falta de programas de educação e sensibilização da população, que frequentemente causa danos às estruturas de controle de inundações e dispõem resíduos domésticos nas ruas e margens dos cursos d'água;
- Dificuldade para diagnosticar os problemas e implantar soluções devido a problemas de segurança pública, em áreas à margem da cidade legal.

O conceito de reintegração da água ao cenário urbano, contudo, insere-se em um contexto bastante complexo, onde múltiplas demandas urbanísticas, ambientais e sociais exigem uma nova postura de governos, planejadores e cidadãos para o seu adequado equacionamento.

### **2.1.3. Desenvolvimento da drenagem urbana – das práticas higienistas a inserção da sustentabilidade**

Para compreender o atual estado da arte da drenagem urbana no Brasil e no Mundo, inicialmente é preciso conhecer a conceituação original dada para a ciência da drenagem, e como este conceito foi sendo alterado com o passar dos anos em função basicamente das mudanças sociais, econômicas, políticas, de pensamento vigente, tecnológicas e ambientais, todos estes aspectos interferindo no que atualmente é considerado como em voga na drenagem urbana.

Este caminho será percorrido desde a chamada drenagem higienista em direção à inserção dos conceitos de sustentabilidade que tem vigência atualmente.

O sistema de drenagem urbana constitui-se basicamente de dois subsistemas característicos:

**1. Macrodrenagem** – É formada pela hidrografia natural da bacia. A rede de macrodrenagem recebe grandes intervenções hidráulicas a fim de retificar os rios, aumentar sua capacidade de escoamento, diminuir áreas de alagamento, entre outras, com riscos ou recorrência variando entre 10 e 100 anos. Mas, essas intervenções convencionais normalmente tornam-se obsoletas pela falta de manutenção ou projetos mal dimensionados, ou ainda, como é muito comum nos países em desenvolvimento, perdem sua validade, pois não contam com uma boa política de habitação e uso do solo

que alteram significativamente as parcelas do ciclo hidrológico da bacia, exigindo revisões das estruturas dimensionadas (TUCCI, 2007).

**2. Microdrenagem** – É constituída pela drenagem dos loteamentos urbanos e áreas públicas como praças, parques e ruas, convencionalmente visando à retirada das águas precipitadas e sua condução para a rede secundária, ou macro-drenagem, o mais rapidamente possível, com um risco associado de 2 a 10 anos (TUCCI, 2007).

Tucci (2007) divide os problemas relacionados com as inundações em dois processos principais:

- **Inundações de áreas ribeirinhas:** ocorre principalmente pelo processo natural de cheia do rio em eventos de grandes precipitações. Nestas ocasiões o nível d'água do rio sobe e passa a escoar em sua calha secundária, com uma recorrência de aproximadamente 2 anos. A inundaçāo ocorre quando essa calha secundária está ocupada por habitações humanas, que acabam por dificultar o escoamento das águas levando a uma elevação ainda maior no nível d'água e a um aumento na frequência de extravasamento da calha principal do rio.
- **Inundações devido à urbanização:** ocorre principalmente em consequência do aumento da taxa de impermeabilização do solo devido ao processo de urbanização. Na medida em que a cidade se desenvolve, reduz-se a cobertura vegetal e impermeabilizam-se as superfícies, dificultando a infiltração da água de chuva no solo e assim, aumentando o volume de água escoada superficialmente, podendo superar a capacidade de escoamento de rios, córregos, canais e da própria rede de microdrenagem.

Os projetos de drenagem urbana e controle de cheias devem prever tanto medidas estruturais como não-estruturais, brevemente apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Medidas para o controle das inundações

ESTRUTURAIS	Extensivas	Agem na bacia, modificando as relações entre precipitação e vazão	
	Intensivas	Agem diretamente na calha do rio, modificando as grandezas hidráulicas e características hidrodinâmicas do escoamento	Aceleram o escoamento
			Retardam o escoamento
NÃO-ESTRUTURAIS			Derivam o escoamento

- Preservação<sup>5</sup> da cobertura vegetal – Florestas e matas ciliares
- Regulamentação do uso do solo e zoneamento das áreas de inundaçao
- Construção à prova de inundações
- Seguro-inundaçao
- Sistema de previsão e alerta de inundações
- Educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, da erosão e do lixo

Fonte: REZENDE, 2010

Medidas estruturais são intervenções diretas nas calhas dos rios ou na paisagem urbana, como canalização, barragens, reservatórios, criação de parques longitudinais inundáveis, diques, reservatórios em praças ou lotes, entre outros. São consideradas medidas de controle e, geralmente, imprescindíveis para ações corretivas. Por sua vez, medidas não-estruturais são constituídas por ações indiretas, como zoneamento urbano (identificação das áreas alagáveis e restrições na legislação urbana), reservação de áreas para alagamento, preservação das várzeas, educação ambiental, sistemas de alerta, plano de resíduos sólidos, dentre outros. Essas medidas podem ser vistas como um aprendizado de convivência harmônica com os eventos de enchentes, tendo um caráter preventivo e complementar ao corretivo (TUCCI, 2005).

Historicamente, muitas foram as tentativas de amenizar as questões relacionadas ao saneamento ambiental urbano, até alcançar o estágio atual. O combate às enchentes passou por diversas mudanças de concepção, permitindo novas avaliações dos processos de inundaçao, visualizando toda a bacia como um sistema integrado e tratando o problema com conceitos de prevenção e harmonização e não apenas uma tentativa de controle e combate locais, nos quais as intervenções buscam soluções pontuais.

Tucci (2005) distribui a abordagem sobre as águas urbanas, quanto ao seu desenvolvimento histórico, em quatro fases principais: Pré-Higienista, Higienista, Corretiva, Desenvolvimento Sustentável. A Tabela 2.2 apresenta essas fases e suas principais características. Salientando que essas fases não foram estanques, elas ocorreram de forma integrada e, muitas vezes, simultaneamente.

Tabela 2.2 – Fases do desenvolvimento da gestão das águas urbanas

FASE	CARACTERÍSTICA	CONSEQUÊNCIA
<b>Pré-Higienista:</b> Até início do séc. XX	Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas, sem coleta ou tratamento	Epidemias e doenças com alta taxa de mortalidade
<b>Higienista:</b> Até os anos 1970	Tout à l'égout – Transporte do esgoto junto às águas pluviais, por canalização dos escoamentos.	Redução das doenças e da mortalidade, degradação dos corpos d'água, contaminação dos mananciais.
<b>Corretiva:</b> Entre 1970 e 1990	Sistema separador absoluto, tratamento dos esgotos, amortecimento dos escoamentos pluviais.	Melhoria da qualidade da água dos rios, poluição difusa, obras de grande impacto.
<b>Desenvolvimento Sustentável:</b> Após 1990	Tratamento do escoamento pluvial, preservação do sistema natural, integração institucional.	Conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida, controle das inundações.

Fonte – TUCCI (2005)

A fase pré-higienista através de seus efeitos em termos de saúde pública acabou por conduzir a chamada fase higienista, onde seu objetivo principal era o de melhoria das condições de saúde pública das cidades. Onde através da construção das primeiras canalizações (esgotos e águas pluviais ainda juntos) com vistas à retirada mais rápida possível destes do contato direto com as populações, foi buscada a redução da mortalidade provocadas pelas doenças de veiculação hídrica e melhoria nas condições de qualidade dos corpos d'água.

A necessidade de se ter aglomerações populacionais economicamente desenvolvidas e com saneamento eficaz, gerando o mínimo de prejuízo ao meio ambiente, levou os organismos públicos, por meio de seus representantes técnicos, a conceituar realizações de diferentes proposições administrativas e romper paradigmas tradicionais na década de 1970, fato que ocorreu especialmente nos Estados Unidos e Europa (BAPTISTA *et al.*, 2005).

Nesse período é proposta a utilização dos sistemas separadores absolutos, onde tubulações distintas são utilizadas para esgotamento sanitário (com direcionamento destes para tratamento nas estações de tratamento de esgoto), e águas pluviais (com direcionamento destas para corpos hídricos sem tratamento anterior). Também neste período as primeiras obras de grande porte para amortecimento do escoamento pluvial e controle de cheias são executadas.

Em 1987, a definição do conceito de desenvolvimento sustentável foi apresentada no relatório de Brundtland, também conhecido como “Nosso Futuro Comum”. No documento era defendido o equilíbrio entre o crescimento socioeconômico e a preservação do meio ambiente, sem esgotar os recursos naturais, garantindo o acesso às futuras gerações (CHOCAT, 2002).

Posteriormente, na Conferência das Nações Unidas de 1992, metas para o gerenciamento dos Recursos Hídricos foram estabelecidas pela Agenda 21. No texto, em destaque, estava a necessidade do suprimento adequado de água de boa qualidade à população, assim como a conservação dos recursos naturais de forma a se compatibilizar com as atividades humanas.

A fase atual estabelece a consciência ecológica e o desenvolvimento de novas tecnologias, visando o desenvolvimento sustentável. Nesta fase, a conservação ambiental, a redução das inundações e a melhoria da qualidade de vida das populações encontram destaque (SILVEIRA, 1998).

Atualmente os aspectos de gerenciamento dos riscos e controle de inundações, integrado às ações de prevenção e mitigação das enchentes, passam a compor os planos urbanos de gerenciamento das cidades de forma a minimizar os impactos futuros. A abordagem do gerenciamento de inundações, com foco principal na redução do risco, está em destaque na Europa, considerando que as mudanças estabelecidas por meio da alteração do clima, do adensamento populacional e uso do solo, tornaram menos eficazes os métodos de defesa até então praticados (MIGUEZ *et al.* 2012).

De tal maneira que o principal fator a se destacar é a mudança ocorrida na perspectiva pública sobre a drenagem urbana, passando de uma reflexão tardia negligenciada, para um sistema de obras públicas vital e um importante componente para um sistema urbano sustentável.

## **2.2.DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL**

### **2.2.1. Evolução conceitual**

O conceito do que se entende por drenagem urbana extravasou o campo restrito da engenharia, para se tornar um problema gerencial, com componentes políticos e

sociológicos, aliados harmonicamente com o ambiente natural. O conceito higienista que predominou no século XX no mundo inteiro, teve o início do seu fim decretado no final dos anos 1960, nos países desenvolvidos, quando a consciência ecológica expôs os conflitos ambientais entre as cidades e o ciclo hidrológico.

Diferentes concepções relativas a projetos de sistemas de drenagem integrados com o desenvolvimento urbano têm sido propostas nas últimas décadas (a partir de 1970) – principalmente na Europa e na América do Norte – com algumas diferenciações entre elas, porém, todas visam à diminuição dos efeitos da urbanização sobre o sistema de drenagem, buscando resgatar características do ciclo hidrológico natural e também agregar valor a cidade.

Nos Estados Unidos da América, no início da década de 1980, foram desenvolvidos pela *Environmental Protection Agency* (EPA), os conceitos das *Best Management Practices* (BMP's), técnicas com foco na não transferência dos problemas para jusante pelo controle do escoamento na bacia, isto é, mais próximo de sua fonte e não no curso d'água. Este conceito é constituído pelo planejamento de controle de águas pluviais em escala de bacia e uso de estruturas físicas para armazenamento e infiltração do escoamento (reservatórios, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis) na tentativa de compensar os efeitos da urbanização, considerando também os aspectos relacionados à qualidade da água que escoa sobre a bacia (US EPA, 2000).

Na década de 1990, ainda nos Estados Unidos, foram implementadas de forma pioneira no condado de Prince George em Maryland, práticas do LID – *Low Impact Development* (Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto), numa tentativa de reduzir os impactos negativos do aumento das áreas impermeabilizadas (DIETZ, 2007). Os princípios e práticas preconizados pelo LID gerenciam a água pluvial de maneira a compreender e tentar reproduzir um comportamento hidrológico anterior ao processo de urbanização, de tal forma que reduz o impacto de áreas construídas e promove o movimento natural da água dentro da bacia hidrográfica e têm evoluído para a conservação de áreas verdes no meio urbano e o controle das alterações dos processos hidrológicos de forma integrada às atividades locais (DIETZ, 2007).

O armazenamento, a infiltração e a recarga de água do solo, bem como o volume e frequência de descargas são mantidos (em microescala), a partir de projetos que proporcionem a retenção de águas pluviais em áreas de detenção, a redução de superfícies impermeáveis e o alongamento das vias de fluxo e tempo de escoamento

(COFFMAN, 2000). Outras estratégias incluem a preservação/proteção dos recursos naturais ambientalmente sensíveis, tais como faixas ciliares, encostas íngremes, manutenção da vegetação, planícies de inundação etc. Estas práticas, quando avaliadas em larga escala, harmonizam as respostas ecológicas de uma bacia hidrográfica, uma vez que são mantidos importantes parâmetros hidrológicos do período anterior à urbanização, tais como o tempo de concentração da bacia e *runoff* (escoamento superficial).

Os conceitos e aplicações propostas pelo LID evoluíram e tomaram espaço nas diretrizes de controle de inundações nos EUA de tal forma que, em abril de 2007, o LID Center, organização não governamental dedicada à divulgação das práticas e técnicas do LID, assinou uma Declaração de Intenções com a EPA para promover os benefícios das estratégias de infraestrutura verde e incentivar o seu uso para a gestão municipal de águas pluviais. A parceria desenvolveu a Estratégia de Ação Infraestrutura, definindo objetivos e metas do programa. O LID Center assiste o EPA com workshops e conferências por todo o país, demonstrando como infraestrutura verde está sendo usada para gerenciar as águas pluviais. As conferências são destinadas a funcionários municipais, urbanistas, projetistas e gestores públicos.

No Brasil, Baptista *et al.* (2005) consolidou o conceito de técnicas compensatórias em drenagem urbana com a proposta da introdução de medidas cujo foco é aumentar a capacidade de infiltração e armazenamento, objetivando assim uma compensação dos efeitos deletérios provocados pela urbanização. Tais técnicas são estruturas que visam à retenção e infiltração de águas precipitadas, fazendo com que as vazões sejam rearranjadas temporalmente e que haja uma diminuição do volume escoado, visando à redução das inundações e obtendo ganhos na qualidade das águas pluviais. Essas estruturas podem assumir diferentes formas, podendo ser incorporadas ao meio ambiente e as áreas urbanas, através de espaços para estacionamento, áreas de lazer, parques e quadras esportivas.

Na publicação feita pelo Ministério das Cidades em 2006 – Manual para Apresentação de Propostas de Drenagem Urbana Sustentável – a busca por um conceito de desenvolvimento de baixo impacto, já representa uma orientação na execução de tais propostas; o que lhe concede status de fundamento dentro dos princípios previstos no manejo de águas pluviais de maneira sustentável no país. Do ponto de vista de arcabouço técnico e legal, se constitui numa importante ferramenta para melhor gestão

do sistema de manejo de águas pluviais, já que o município ao apresentar propostas técnicas para liberação de verbas federais deve levar em consideração à temática “ambientalmente sustentável” (BRASIL, 2006).

Nesse contexto, surge no Reino Unido o Sistema de Drenagem Urbana Sustentável do inglês *Sustainable Urban Drainage Systems* – SUDS. Onde os ideais de desenvolvimento sustentável já devem estar imbuídos no processo de concepção do sistema de drenagem – assim os impactos decorrentes das soluções de drenagem não devem ser transferidos nem no espaço e nem no tempo. De tal maneira que as soluções de drenagem além de contribuir para o desenvolvimento sustentável do local, ainda promovem um melhor gerenciamento dos riscos ambientais, melhorias no desenho urbano e nos ambientes construídos (ELLIOT & TROWSDALE, 2007).

O SUDS busca tanto a redução dos problemas de quantidade e qualidade das águas pluviais, quanto à oportunidade de revitalização do espaço urbano e incremento da biodiversidade da paisagem local, replicando – tanto quanto possível – as condições locais de pré-urbanização com aplicação de ações numa escala mais reduzida, evitando a necessidade de trabalho com grandes estruturas de controle de cheias (CIRIA, 2007).

Com conceitos semelhantes, na Austrália foi desenvolvido *Water Sensitive Urban Design* – WSUD (Projeto Urbano Sensível a Água), este que apresenta uma abordagem de planejamento urbano que proporciona uma maior harmonia entre a água, o ambiente e as comunidades. Desta forma, se vislumbra a oportunidade de criar ambientes menos vulneráveis e integrados à estética paisagística que, além de proporcionar segurança, oferece bem-estar à população. Para a aplicação destas práticas é necessária a integração de gestão do ciclo da água com o ambiente construído, tendo dois princípios essenciais para a aplicação desta abordagem: (a) todos os elementos do ciclo hidrológico e suas interconexões são considerados concomitantemente e; (b) as considerações sobre o comportamento hidrológico estão incluídas em todas as fases do planejamento (MORGAN, 2013).

Assim o conceito de um WUSD vem da integração dos diferentes usos das águas urbanas, em suas diferentes escalas espaciais, e envolvendo diferentes áreas do conhecimento – engenharia hidráulica, urbanismo, arquitetura, ciências sociais, econômicas e ambientais – na busca pela preservação ambiental e no intuito de agregar valor ao ambiente construído, com base em uma estrutura participativa com papel de destaque para as comunidades.

No Brasil, o Ministério das Cidades gerencia o programa de drenagem urbana sustentável, viabilizando ações necessárias à implantação ou à melhoria de sistemas para recuperação, prevenção, controle ou minimização dos impactos provocados por enchentes urbanas. O programa contempla intervenções estruturais voltadas à redução das inundações e melhoria de segurança sanitária, patrimonial e ambiental dos municípios, por meio da execução de obras que privilegiam a redução, retardamento e amortecimento do escoamento das águas pluviais por meio de (a) reservatórios de amortecimento de cheias; (b) adequação de canais para a redução da velocidade de escoamento; (c) sistemas de drenagem por infiltração; (d) implantação de parques lineares; (e) recuperação de várzeas e (f) renaturalização de cursos de água (BRASIL, 2006).

### **2.2.2. Tipologia**

Os reflexos da intensa urbanização sobre os processos hidrológicos têm evidenciado os limites da concepção tradicional da drenagem urbana. Isso decorre em função da tendência das soluções tradicionais em agravar ou intensificar esses efeitos, já que os sistemas tradicionais de drenagem possuem pouca flexibilidade em relação a mudanças uso do solo (estas que são frequentes em processos intensos de urbanização). De tal maneira que estes acabam por se revelar onerosos e de rápida obsolescência, requerendo pesados investimentos do setor público em reconstrução, em particular quando se trata de novas intervenções em espaços já construídos (PROSAB, 2009).

Inicialmente as soluções alternativas às tradicionais focaram-se no controle de escoamentos por meio de estruturas de armazenamento das águas pluviais, resultando no amortecimento das cheias e/ou na infiltração destas, promovendo assim a redução dos volumes de escoamento superficial.

Atualmente existe uma grande diversidade de técnicas alternativas e sustentáveis em drenagem pluvial. Em grande parte, essas técnicas em sua maioria continuam centradas nos processos de armazenamento e de infiltração de águas pluviais, porém, existem também soluções que promovem a interceptação e a evapotranspiração, como os telhados ou coberturas verdes, e o manejo de áreas verdes em meio urbano, com o foco na redução de escoamentos de origem pluvial.

Têm sido observados também esforços para promover uma melhor inserção urbanística das técnicas de drenagem sustentável. Em alguns casos, por exemplo, procuram-se desenvolver usos múltiplos para áreas destinadas ao amortecimento de cheias, associando-as a áreas verdes, parques, áreas adequadas a prática de esportes e funções semelhantes. Em outros casos, quando múltiplos usos não são possíveis, procura-se ao menos assegurar a adequada inserção das soluções alternativas de manejo pluvial ao projeto urbano, valorizando as estruturas e a presença da água, que pode ser eventual (em bacias de detenção secas) ou permanente (PROSAB, 2009).

Tais esforços são importantes para promover uma melhor aceitação e adaptação no uso destas soluções pela população – particularmente dos que vivem nas vizinhanças onde tais ações são implementadas – com benefícios no aumento do conhecimento sobre a presença da água no espaço urbano. Por outro lado, a escolha pelo uso múltiplo permite justificar de forma mais coerente a reserva de solo, para fins de manejo de águas pluviais.

Enfoques recentes com base na sustentabilidade de gestão de recursos tem advogado pela necessidade de valorizar as águas pluviais também como um recurso. Enfatiza-se que as alterações no regime hidrológico causadas pela urbanização implicam em comprometimento no uso dos recursos hídricos. Dentro dessa linha, por exemplo, vem sendo valorizada a recuperação de águas de chuva mesmo em áreas onde não há problemas de escassez.

O Manual do Sistema de Drenagem Sustentável publicado pela CIRIA (*Construction Industry Research and Information Association*) em 2007 descreve os principais componentes desse sistema:

- Faixas de filtração (*Filter strips*);
- Valas de infiltração (*Swales*);
- Bacias de infiltração (*Infiltration catchments*);
- Bacias de retenção (*Wetponds*);
- Bacias de detenção (*Extended detention catchments*);
- Charcos artificiais ou Banhados construídos (*Constructed wetlands*);
- Trincheiras de filtração (*Filter drains*);
- Dispositivos de infiltração (*Infiltration devices*);
- Pavimentos permeáveis (*Pervious surfaces*);

- Telhados verdes (*Green roofs*).

No Brasil a nomenclatura mais comum é a de técnicas compensatórias – que tem o mesmo embasamento conceitual de sustentabilidade dos sistemas de drenagem urbana sustentável – e existem várias possibilidades de classificação destas: quanto ao efeito sobre os escoamentos, quanto a localização na bacia hidrográfica, quanto a forma geométrica predominante e outras, conforme pode ser visualizado no esquema apresentado na Figura 2.2 (PROSAB, 2009).

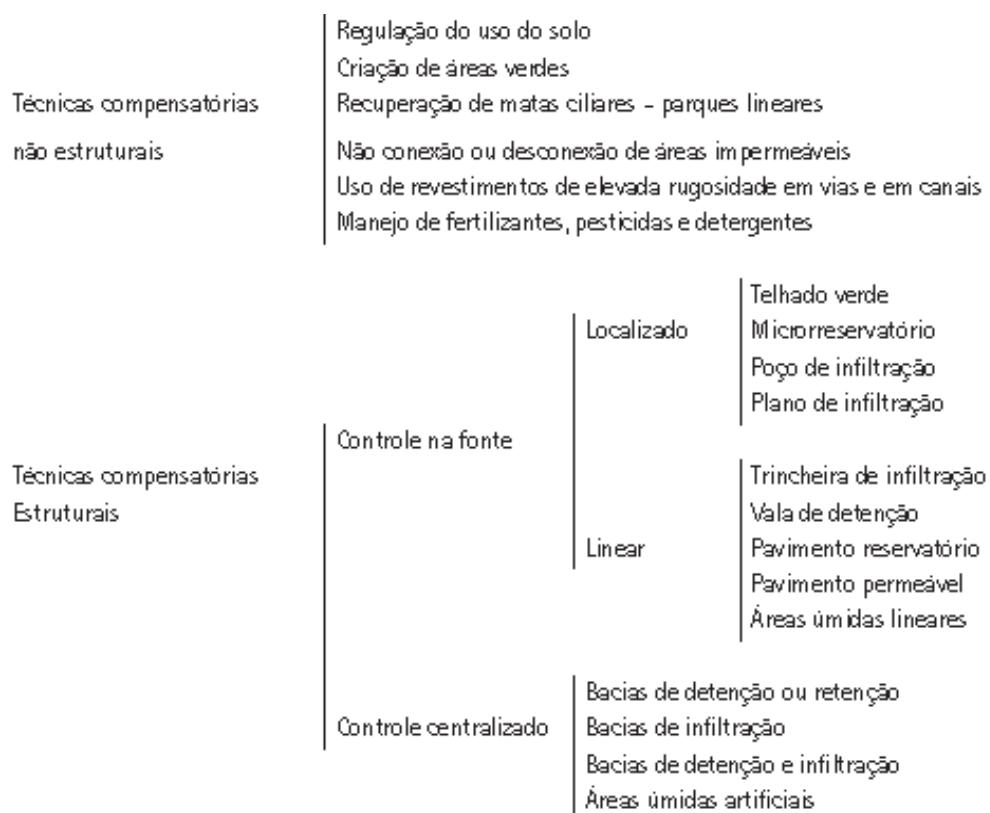


Figura 2.2: Tipologia das medidas compensatórias para o manejo de águas pluviais  
Fonte: PROSAB (2009)

Entre as técnicas compensatórias não estruturais, a regulação do uso do solo estabelece restrições a taxa de impermeabilização, e estabelece recomendações para a criação de áreas verdes e de áreas destinadas a infiltração de águas pluviais.

A criação de parques lineares ao longo de cursos d'água e, quando possível, a recuperação da mata ciliar são medidas associadas a tratamentos de fundo de vale alternativos a canalização tradicional. Essas ações geralmente visam a manutenção dos cursos d'água urbanos o mais próximo possível de seu estado original. São observadas

também ações de renaturalização de cursos d'água, recompondo os leitos canalizados para que se assemelhem a seus leitos naturais.

Tais medidas contemplam a reserva de áreas ao longo dos cursos d'água para comportar as inundações, e também requerem esforços no controle da poluição na bacia hidrográfica, como a eliminação de conexões cruzadas entre os sistemas pluviais e de esgotamento sanitário e o controle da poluição difusa de origem pluvial.

Para Baptista *et al.* (2011), as técnicas compensatórias podem ser classificadas em três metodologias e, as figuras a seguir ilustram algumas das técnicas citadas:

- Técnicas para controle na fonte: inseridas em pequenos conjuntos e associadas a pequenas superfícies de drenagem, sendo elas: poços de infiltração, valas e valetas, micro-reservatórios domiciliares e telhados armazenadores;
- Técnicas lineares: inseridas junto com os sistemas viários, pátios, estacionamentos e arruamentos com grandes áreas de drenagem associadas, através de pavimentos porosos, valas de detenção, trincheiras de infiltração e planos de infiltração e detenção;
- Técnicas para controle centralizado, que são bacias de detenção e retenção associadas às áreas de drenagem de maior porte.



Figuras 2.3: (a) Trincheira de infiltração; (b) Poço de infiltração  
Fontes: (a) <http://www.ecofossa.com.br/>; (b) <http://www.aquafluxus.com.br/>



Figuras 2.4: (a) Telhado verde; (b) Pavimento permeável com concreto poroso

Fontes: (a) <http://blogmundopossivel.com.br/?p=4097>

(b) <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/artigo254488-2.aspx>



Figuras 2.5: (a) “Piscinão” Jabaquara/São Paulo; (b) Parque linear do canal Cheonggyecheon/Seul

Fontes: (a) São Paulo (2013);

(b) <http://portalarquitetonico.com.br/uma-impressionante-renovacao-urbana-em-seul/>



Figuras 2.6: (a), (b) e (c) Reservatório enterrado da Praça da Bandeira/Rio de Janeiro

Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/>

A escolha dos tipos de técnicas a serem adotadas depende de fatores urbanísticos, sociais, econômicos e ambientais. A situação ideal para o emprego desse tipo de solução ocorre quando os estudos conduzindo a escolha das técnicas mais convenientes são feitos ao mesmo tempo em que se desenvolve o projeto de urbanização de uma nova área, o que permite uma maior flexibilidade para a escolha e a adaptação das técnicas compensatórias ao projeto urbanístico. Porém, ha vários casos de inserção de técnicas compensatórias em áreas já urbanizadas, ainda que, nessa circunstancias, notem-se maiores limitações na escolha da metodologia e os custos de implantação podem ser majorados.

Conforme enfatizado por Baptista *et al.* (2011), o processo de escolha e concepção de sistemas pluviais com técnicas compensatórias se faz em duas etapas principais: a de eliminação e a de decisão ou escolha, propriamente dita. A fase de eliminação de técnicas baseia-se na análise de suas características físicas e de suas implicações para a área de implantação. Os critérios de analise são fundamentados essencialmente no confronto entre a tipologia da técnica, seus princípios de funcionamento, e em requisitos e restrições de uso.

Cada uma das diferentes técnicas deve ser confrontada com os vários requisitos e implicações pertinentes que podem ou não limitar seu emprego, possibilitando assim a identificação das técnicas efetivamente viáveis para uma determinada situação. Diversos são os critérios de análise que condicionam a viabilidade das diferentes técnicas, sendo alguns destes apresentados a seguir.

- Critérios físicos: características topográficas locais, o nível freático, a capacidade de infiltração e de suporte do solo;
- Critérios urbanísticos e de infraestrutura: o espaço requerido para implementação do projeto é principal aspecto, bem como as condições de infraestrutura da área;
- Critérios sanitários e ambientais: aumento do risco de poluição da água e do solo, a vulnerabilidade do corpo hídrico receptor, o desenvolvimento de organismos vetores de doenças, e também o transporte de resíduos sólidos pelo escoamento pluvial;
- Critérios socioeconômicos: aceitação do uso das técnicas compensatórias pela população, a proximidade de equipamentos urbanos, o risco de utilização de

espaços de maneira inadequada (depósito de resíduos sólidos, por exemplo), bem como custos de manutenção (BAPTISTA *et al.* 2011).

## **2.3. PLANEJAMENTO URBANO**

Em pouco mais de 60 anos (a partir dos anos 1960) o Brasil passou de um país majoritariamente rural para um país urbano, que atualmente apresenta 81% da população – estimada em 204 milhões no ano de 2015 pelo IBGE – habitando as cidades. Diante deste quadro se faz necessário estudar e compreender a ferramenta do planejamento urbano, para que a mesma seja utilizada de maneira eficaz na elucidação da variada gama de situações decorrentes da atual condição urbanizada no Brasil.

Ao longo deste capítulo, inicialmente será feito um breve passeio pelo histórico do planejamento urbano no Brasil, para que se comprehenda o atual arcabouço legal hoje disponível no país para o planejamento e gerenciamento das cidades, assim em sequência serão apresentadas as principais ferramentas contidas no Estatuto das Cidades (lei maior para o planejamento das cidades no país), tais como: o plano diretor urbano, as leis de uso e ocupação do solo, bem como o zoneamento urbano. Como a temática principal deste trabalho é no espectro da drenagem urbana, também serão apresentadas as ferramentas de planejamento atualmente disponíveis, como o zoneamento de áreas inundáveis e principalmente o plano diretor de drenagem urbana – ou plano de manejo de águas pluviais, não esquecendo também de citar os principais tópicos da legislação nacional com foco nos cursos d’água urbanos.

### **2.3.1. Planejamento Urbano – o que é e um breve histórico nacional**

Inicialmente é feita uma pergunta, o que é planejar? Sendo esta respondida de maneira simples na seguinte frase: “Planejamento é o processo de preparar um conjunto de decisões para ação futura, dirigida à consecução de objetivos através dos meios preferidos” (DROR, 1973).

Assim, na opinião da autora desta tese, o planejamento urbano consiste em um processo técnico e político com vistas a organização de orientações futuras para uma cidade, se utilizando de diferentes meios para conseguir atingir os objetivos propostos;

ou seja, são as ações propostas com vistas a orientar e garantir o desenvolvimento ordenado da cidade, direcionando o desenho do ambiente urbano, o uso e a ocupação do solo.

Segundo Silva (2006), planejamento “é um processo técnico instrumentado para transformar a realidade existente no sentido de objetivos previamente estabelecidos”. O Planejamento Urbano, tanto como disciplina acadêmica quanto método de atuação no ambiente urbano, lida basicamente com os processos de produção, estruturação e apropriação do espaço urbano. Assim sob este ponto de vista, os planejadores podem antever os possíveis impactos, positivos e negativos, causados por um plano de desenvolvimento urbano.

O planejamento urbano surgiu ainda no século XIX como uma resposta aos problemas enfrentados pelas cidades, o termo foi inicialmente utilizado na Europa e nos Estados Unidos (Ribeiro e Cardoso, 1994; Topalov, 1991), e marca uma mudança na forma de encarar a cidade e seus problemas. Principalmente na Inglaterra, que na época passava por uma intensa revolução industrial, onde a chamada cidade ideal projetada pelo urbanismo não condizia com a realidade vivida pelas cidades.

Assim a base do atual planejamento urbano passa pelo reconhecimento das cidades como um sistema dinâmico, que evolui no tempo, e é resultado da sua própria história; de tal forma que a cidade não deve ser vista apenas como um modelo ideal concebido, mas sim como produto de um complexo contexto histórico, onde se deixa de lado a busca pela cidade ideal, para se preocupar com os problemas práticos e concretos, buscando assim estabelecer quais os melhores e mais adequados mecanismos de controle dos processos urbanos ao longo do tempo. Outra importante mudança é a participação de diferentes profissionais de diversas áreas do conhecimento, onde com a união das diferentes visões a cerca dos problemas da cidade é buscada a melhor forma de planejar o desenvolvimento desta.

A questão do planejamento e do urbanismo praticados no Brasil, segundo Ribeiro e Cardoso (1994), compõe o arcabouço de ideias atreladas ao projeto de modernização, desenvolvimento e construção da nacionalidade.

Ao contrário do senso comum aceito por muitos, o planejamento urbano no Brasil não teve início na década de 1950 (período em que o país passa a ser majoritariamente urbano). Verifica-se seu início, em que pese ainda não haver uma

denominação formal de “Planejamento Urbano” e nem estruturas formais nas administrações públicas, ainda no final do século XIX. Na época, as preocupações com a saúde da cidade (higienismo), a necessidade do rompimento com o passado colonial, a adesão ao “moderno” e a ascensão de uma nova classe dominante (que demandava pelo “embelezamento das cidades”), começaram a propiciar intervenções nas cidades.

Villaça (1999) divide em três períodos a história do planejamento urbano no Brasil: o primeiro inicia-se no final do século XIX, por volta de 1875 e vai até o ano de 1930. O segundo vai de 1930 até por volta de 1992, ano em que se inicia o terceiro período e que perdura até o fim do século XX. Pode-se acrescentar ainda a este esquema, um quarto período que começou em 2001, a partir da aprovação do Estatuto da Cidade, legislação que regulamenta a aplicabilidade das diretrizes da nova ordem jurídico-urbanística no país, introduzida pela Constituição de 1988. Sendo estes sucintamente apresentados a seguir.

**1º Período** – O início do primeiro período, ou como afirma Villaça (1999) o nascimento do planejamento urbano no Brasil, se deu em 1875 quando a então “Comissão de Melhoramentos da Cidade do Rio de Janeiro” criada em 1874 pelo Ministro do Império João Alfredo Correa de Oliveira, apresentou seu primeiro relatório, no qual são utilizados pela primeira vez dois conceitos-chave: o de plano e o de conjunto geral ou global, associados ao espaço urbano.

Este é o período dos planos de melhoramentos e embelezamentos, baseados nas intervenções urbanas com pretensões científicas que iniciaram no final do século XIX nas grandes metrópoles européias, com o plano de extensão de Barcelona e o Plano de Haussmann em Paris. Esta foi a proposta da nova classe dominante, que rejeita o passado colonial e usa o planejamento para impor a sua ideologia. Neste período surgem as grandes avenidas, praças e monumentos.

Conjuga-se assim a necessidade de afirmação da nova classe dominante com o higienismo para criar novas cidades, modernas e progressistas (apenas para esta mesma elite dominante). Ressalta-se, que não há preocupação, até então, com todos os habitantes das cidades. Aqueles que, por exemplo, não podiam fazer melhoramentos nos seus imóveis propostos pelas Comissões Sanitárias, eram colocados à margem da cidade bela, moderna e sadia. Marcaram este período, as Reformas de Pereira Passos (1903 – 1906), ocorridas no Rio de Janeiro.

Cabe destacar que a ação realizada por Pereira Passos foi emblemática para a história do planejamento urbano no país, pois trouxe dois elementos importantes do urbanismo: inicialmente a fase higienista no qual predominavam os médicos sanitaristas, e um segundo momento no qual os engenheiros e técnicos buscavam soluções para o saneamento e a circulação na cidade, além da preocupação com o padrão construtivo. No caso do Rio de Janeiro, o resultado mais marcante da intervenção do poder público foi a remoção da população pobre do centro da cidade, o que fez com que os morros ao redor fossem ocupados. Esse processo deu início ao crescimento da cidade informal, com o surgimento de favelas e a ocupação sucessiva de áreas de risco pela população de baixa renda (VILLAÇA, 1999).

**2º Período** - Este período teve início na década de 1930, momento da história mundial influenciado pela forte recessão econômica pós quebra da bolsa americana em 1929 e, em território brasileiro o desejo pelo fim da chamada Velha República, o que reflete no Movimento Político de 1930. A implantação da chamada Era Vargas (com o uso da “mão forte do Estado”) provocou reflexos no cenário político e econômico do país e, também, refletiu-se no planejamento urbano no Brasil, na medida em que a cidade passou a ser vista como força de produção, onde a constante busca pela cidade bela é minorada, para buscar-se a cidade eficiente. As cidades passam a se expandir para áreas periféricas (reservadas para moradias), as áreas centrais passam a ser mais exclusivas para prestação de serviços e são implantados os grandes sistemas viários e de transporte, para atender esta população que agora precisa se deslocar de áreas cada vez mais distantes em direção ao centro da cidade.

Neste momento, os planos passam a uma nova fase: é o período mais intelectualizado dos planos, aos quais pretendem se impor por terem base científica, serem corretos tecnicamente e apresentarem boas ideias. É o chamado plano-discurso, que apesar de correto tecnicamente, não se preocupa com sua operação e muito menos com sua exequibilidade. Villaça (1999) dividiu este período em três subperíodos apresentados adiante.

#### *1º Subperíodo – O urbanismo e o Plano Diretor (1930-1965)*

No ano de 1930 ocorreu a divulgação dos planos para duas maiores cidades do Brasil, que trouxeram como novidade o destaque para infraestrutura e o transporte, foram eles: o Plano Agache para o Rio de Janeiro, e o de Prestes Maia, para São Paulo.

Este período é marcado pela passagem do planejamento executado para o planejamento-discurso. Foram cunhadas expressões como caos urbano, crescimento descontrolado, e necessidade de planejamento, para tentar justificar a falta de soluções para os problemas urbanos.

### *2º Subperíodo – Planejamento Integrado e os Superplanos (1965-1971)*

Para esta concepção de planejamento, a cidade não poderia ser encarada apenas em seus aspectos físicos. Os problemas urbanos não poderiam limitar-se ao âmbito da engenharia e da arquitetura. A cidade também deve ser pensada como um organismo econômico e social, gerido por um aparato político-institucional. Assim a recomendação é que os planos não se limitem a obras de remodelação urbana, mas sim que estes sejam integrados tanto espacial quanto interdisciplinarmente. Pois só assim seria possível resolver os problemas urbanos que cada vez mais aumentavam.

Este período ratifica o que já tinha sido notado no Plano Agache – o distanciamento entre os planos e a realidade encontrada nas cidades. Conforme Villaça (1999), este distanciamento atingiu seu apogeu com os Superplanos, que se caracterizavam pelas idéias de globalidade, de sofisticação técnica e interdisciplinaridade do planejamento. Surgiu uma nova forma de abordagem, conduzida institucionalmente pelo SERFHAU – Serviço Federal de Habitação e Urbanismo, que gerenciava o Sistema Nacional de Planejamento para o Desenvolvimento, que tinha por finalidade “induzir os municípios brasileiros a elaborarem planos diretores”.

### *3º Subperíodo – O Plano sem Mapa (1971-1992)*

A partir dos anos de 1970, os planos passaram da complexidade, do rebuscamento técnico e sofisticação intelectual para um plano simples, feito pelos próprios técnicos municipais, quase sem mapas, sem diagnósticos técnicos ou então com diagnósticos reduzidos (quando confrontados com seus antecessores). O resultado é um conjunto de generalidades, o que conduz novamente a planos inexequíveis.

Com a expressão “plano sem mapa” pretendeu-se designar um novo tipo de plano, este que apresentava apenas objetivos, políticas e diretrizes, sendo dispensados os diagnósticos, mapas e estatísticas. Estes planos num geral enumeravam os objetivos,

políticas e diretrizes os mais louváveis e bem-intencionados possíveis, eliminando discórdias e ocultando possíveis conflitos.

**3º Período** – O terceiro período se iniciou na década de 1990 e vigorou até 2001, quando foi promulgado o Estatuto da Cidade. Tem como ponto marcante a inserção, por meio de uma Emenda Popular (Emenda pela Reforma Urbana), na Constituição Federal de 1988, dos artigos 182 e 183, que pavimentam em definitivo uma nova fase para a questão urbana no Brasil.

Mesmo sem ter ainda uma regulamentação dos artigos, várias cidades, como exemplo Recife e Porto Alegre, tentaram por em prática os princípios estabelecidos na nova ordem urbanística vigente com a Constituição de 1988. Diversas dificuldades como a insegurança jurídica e a mentalidade técnica e política ainda vinculadas aos aspectos tradicionais da constituição anterior, fizeram com que poucos casos práticos tivessem sucesso (não desmerecendo o caráter desbravador destas iniciativas). A marca deste período foi o início da busca pela substituição dos planos tecnocráticos para os planos políticos, buscando transpor as barreiras dos escritórios técnicos e colocar em discussão a cidade real, com seus anseios e a diversidade de atores envolvidos.

### 2.3.2. O Estatuto da Cidade

Pela primeira vez na história nacional, foi incluído um capítulo específico para a política urbana, que previa uma série de instrumentos para a garantia, no âmbito de cada município, do direito à cidade, da defesa da função social da cidade e da propriedade e da democratização da gestão urbana – sendo estes os artigos 182 e 183.

*Constituição Federal de 1988  
Capítulo II - Da política urbana*

*Art. 182. A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.*

*Art. 183. Aquele que possuir como sua área urbana de até duzentos e cinquenta metros quadrados, por cinco anos, ininterruptamente e sem oposição, utilizando-a para sua moradia ou de sua família, adquirir-lhe-á o domínio, desde que não seja proprietário de outro imóvel urbano ou rural.*

No entanto, o texto constitucional requeria uma legislação específica de abrangência nacional para que os princípios e instrumentos enunciados na Constituição pudessem ser implementados. Era necessária, por um lado, uma legislação

complementar de regulamentação dos instrumentos, e por outro, a construção obrigatória de planos diretores que incorporassem os princípios constitucionais.

Finalmente o projeto de lei nº 5.788/90 que ficou conhecido como o Estatuto da Cidade, foi aprovado em julho de 2001, e entrou em vigência a partir de outubro desse mesmo ano. A aprovação do Estatuto da Cidade através da Lei nº 10.257, após dez anos de negociação política com o Congresso Nacional, veio regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, que estabelecia as diretrizes gerais da política urbana, bem como das bases de elaboração do Plano Diretor. São 58 artigos distribuídos em cinco capítulos que reforçam a tendência da diminuição ao discurso desenvolvimentista e reduzem o papel do Estado na determinação da política urbana no território brasileiro.

Rolnik (2006) destaca as novidades do Estatuto da Cidade em três áreas: a) os novos instrumentos urbanísticos que induzem as formas de uso e ocupação do solo; b) a participação do cidadão nos processos decisórios sobre o futuro da cidade e c) a ampliação das possibilidades de regularização das posses urbanas.

O Estatuto da Cidade regulamentou e expandiu os dispositivos constitucionais sobre política urbana, além de ter explicitamente reconhecido o “direito à cidade sustentável” no Brasil.

Para o Ministério das Cidades (2010), o Estatuto da Cidade tem quatro dimensões principais, sendo estas: uma conceitual, que explicita o princípio constitucional central das funções sociais da propriedade e da cidade e os demais princípios determinantes da política urbana; uma instrumental, que cria uma série de instrumentos para materialização de tais princípios; uma institucional, que estabelece mecanismos, processos e recursos para a gestão urbana; e uma dimensão de regularização fundiária dos assentamentos informais consolidados. As quais serão brevemente descritas adiante.

#### A) As funções sociais da propriedade e da cidade

O Estatuto da Cidade propõem uma mudança de “olhar”, substituindo o princípio individualista do Código Civil pelo princípio das funções sociais da propriedade e da cidade. Com isso estabelecem-se as bases de um novo paradigma jurídico-político que controla o uso do solo e o desenvolvimento urbano por meio da junção do poder público e da sociedade organizada. Tal efeito de deu especialmente pelo reconhecimento da obrigação do poder público (especialmente dos municípios) em

controlar o processo de desenvolvimento urbano com a formulação de políticas territoriais e de uso do solo, nas quais os interesses individuais de proprietários têm que coexistir com os interesses sociais, culturais e ambientais da cidade como um todo. Para tanto, foi dado ao poder público o poder de – por meio de leis e instrumentos jurídicos, urbanísticos e financeiros – determinar como se daria esse equilíbrio entre interesses individuais e coletivos quanto à utilização do solo urbano.

#### B) Uma “caixa de ferramentas”

Confirmando e ampliando o espaço constitucional garantido para a ação dos Municípios, o Estatuto da Cidade não só regulamentou os instrumentos urbanísticos e financeiros da Constituição Federal de 1988, como também criou outros. Há na lei federal uma série de instrumentos que podem ser usados pelas administrações municipais, especialmente no âmbito dos seus planos diretores, para regular, induzir e reverter a ação dos mercados de terras e propriedades urbanas, conforme os princípios de inclusão social e sustentabilidade ambiental. A combinação entre mecanismos tradicionais de planejamento como o zoneamento, loteamento, taxas de ocupação, modelos de assentamento, coeficientes de aproveitamento, gabaritos, recuos etc., com os novos instrumentos — parcelamento/edificação/ utilização compulsória, tributação progressiva, desapropriação com pagamento em títulos da dívida pública, direito de superfície, direito de preferência para os municípios, transferência onerosa do direito de construir etc. — abriu uma nova série de possibilidades para a construção de uma nova ordem urbanística economicamente mais eficiente, politicamente mais justa e sensível face ao quadro das graves questões sociais e ambientais nas cidades. Entretanto, a utilização desses instrumentos pelos municípios depende da definição prévia de uma ampla estratégia de planejamento e ação, expresso por um “projeto de cidade” que deve ser explicitado através da legislação urbanística e ambiental municipal, começando com a lei do Plano Diretor.

#### C) Planejamento, legislação e gestão do desenvolvimento urbano

Outra importante dimensão do Estatuto da Cidade diz respeito à necessidade dos municípios promoverem a integração entre planejamento, legislação e gestão urbano-ambiental, de forma a democratizar o processo de tomada de decisões e legitimar a nova ordem jurídico-urbanística de natureza socioambiental. O reconhecimento pelos municípios de diversos processos sociopolíticos e mecanismos jurídicos que garantem a participação dos cidadãos e associações representativas no processo de formulação e

implementação do planejamento urbano-ambiental e das políticas públicas é tido como essencial para democratizar os processos decisórios locais. Além disso, a lei federal enfatizou a importância do estabelecimento de novas relações entre os setores estatal, privado e a comunidade, especialmente com as parcerias público-privadas, consórcios públicos e consórcios imobiliários, e das operações urbanas consorciadas, que devem ocorrer dentro de um quadro jurídico-político claro e previamente definido.

#### D) Regularização fundiária de assentamentos informais consolidados

Outra importante face do Estatuto da Cidade diz respeito aos instrumentos jurídicos reconhecidos para a promoção de programas de regularização fundiária dos assentamentos informais. Além de regulamentar os instrumentos já existentes do usucapião especial urbano e da concessão do direito real de uso, que devem preferencialmente ser usados pelos municípios para a regularização das ocupações respectivamente em áreas privadas e em áreas públicas, onde a nova lei avançou no sentido de admitir a utilização de tais instrumentos de forma coletiva. Uma ênfase especial foi dada na demarcação das chamadas Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), onde diversos dispositivos foram aprovados no intuito de garantir a regularização de tais áreas informais; salientando que o Estatuto faz repetidas menções à necessidade dos programas de regularização fundiária se pautarem em critérios ambientais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010).

Em 2003 o governo federal criou o Ministério das Cidades com a proposta de suprir a ausência de uma política nacional de desenvolvimento urbano consistente e capaz de indicar projetos que concretizem a necessidade do povo brasileiro ao direito às cidades sustentáveis e mais democráticas. Dentre as iniciativas executadas por este, destaca-se a Campanha Nacional “Plano Diretor Participativo: Cidade para Todos” que em 2005, incentivava a elaboração e revisão dos Planos Diretores com prazo determinado até 2006 e, em um segundo momento, a implantação dos instrumentos de planejamento urbano. Tema este a ser abordado em sequência neste trabalho, já que é no Plano Diretor onde devem se concretizar as aspirações legais previstas no Estatuto das Cidades.

### **2.3.3. Plano Diretor Urbano**

*Constituição Federal de 1988  
Capítulo II - da política urbana*

*Art. 182 - A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público Municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem estar de seus habitantes.*

*§ 1º - O Plano Diretor, aprovado pela Câmara Municipal, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana.*

*§ 2º - A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação de cidade, expressa no plano diretor.*

O Plano Diretor, nos termos dados pela Constituição Federal e pelo Estatuto da Cidade, é peça chave para o enfrentamento dos problemas urbanos, contribuindo para a minimização do quadro de desigualdade urbana instalado, quando elaborado e implementado de forma eficaz. Este tem por função fortalecer a gestão democrática e a função social da cidade e da propriedade, objetivando a inclusão territorial e a diminuição das desigualdades, expressas na maioria das cidades brasileiras por meio das irregularidades fundiárias, da segregação socioespacial e da degradação ambiental.

Essa eficácia diz respeito a uma nova concepção de Plano Diretor pós-Estatuto, pois, embora o instrumento “plano diretor” seja anterior ao Estatuto da Cidade, o conceito e, principalmente suas formas de elaboração foram adaptadas de um formato anterior, mais burocrático e tecnocrático, para uma prática com ampla participação da população.

O objetivo principal do Plano Diretor, é definir a função social da cidade e da propriedade urbana, de forma a garantir o acesso a terra urbanizada e regularizada a todos os segmentos sociais, de garantir o direito à moradia e aos serviços urbanos a todos os cidadãos, bem como de implementar uma gestão democrática e participativa, tais objetivos podendo ser atingidos a partir da utilização dos instrumentos definidos no Estatuto da Cidade.

O Plano Diretor é o instrumento que promove a ligação entre território e governo. Sua finalidade é a gestão do território, sendo este um instrumento básico da política municipal de desenvolvimento e expansão urbana. É importante registrar que é parte integrante de um processo de planejamento municipal, o que envolve, além do Plano Diretor, aspectos orçamentários, e a gestão democrática da cidade (SÃO PAULO, 2014).

Lembrando que não há receita ou fórmula pronta para elaboração do plano diretor, a complexidade varia de acordo com o porte, dinâmica econômica e demográfica e capacidade institucional de planejar e implementar.

Conforme a publicação Curso Básico: Plano Diretor e Estatuto da Cidade (2005) as funções do Plano Diretor são:

- Propiciar o crescimento e desenvolvimento econômico local em bases sustentáveis, ou seja, crescer de maneira os recursos utilizados no crescimento não sejam exauridos ou depredatórios, “guardando reservas de recursos” para o futuro;
- Garantir o atendimento às necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida e justiça social;
- Garantir que a propriedade urbana sirva aos objetivos sociais que lhe são previstos (que seja usada em benefício da maioria);
- Fazer cumprir as determinações do Estatuto da Cidade.

Quando da promulgação da Constituição Federal em 1988 a recomendação era para que somente municípios com população superior a 20.000 habitantes fossem obrigadas a desenvolver seu plano diretor, porém atualmente esta premissa se estende a demais situações, sendo estas: além de todos os municípios com população superior a 20.000 habitantes, municipalidades com população inferior a esta valor porem que sejam integrantes de regiões metropolitanas, pertencentes a áreas de especial interesse turístico (seguindo definições dos Estados e da União), e cidades onde o poder público municipal pretende utilizar os instrumentos urbanísticos disponibilizados pelo Estatuto da Cidade e que estejam inseridas em áreas de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional.

Os Planos Diretores deverão conter minimamente as seguintes informações (PARANÁ, 2005):

- A delimitação das áreas urbanas, onde poderão ser aplicados os instrumentos legalmente previstos, tais como o parcelamento, edificação ou utilização compulsória, considerando a existência da infraestrutura e de demanda para sua utilização;

- A aplicabilidade e espacialização do direito de preempção; de outorga onerosa do direito de construir; permissão de alteração do uso do solo; operações consorciadas; transferência do direito de construir;
- E por fim um sistema de acompanhamento e controle.

Para consecução deste, são necessárias algumas etapas, que podem ser simplificadamente descritas a seguir (PARANÁ, 2005):

- Identificar a realidade da cidade e seus problemas através de um diagnóstico embasado técnica e cientificamente;
- Definir e delimitar os temas e objetivos a serem trabalhados;
- Elaborar a proposta do Plano Diretor;
- Encaminhar a proposta para a Câmara Municipal, para que esta seja discutida, aprimorada, e posteriormente aprovada. Em paralelo devem ser mobilizados os diversos segmentos sociais para interlocução com a câmara de vereadores para que o Plano Diretor seja aprovado de acordo com os interesses da sociedade;
- Estabelecer prazos e formas para correta implementação do Plano Diretor aprovado;
- Revisar o Plano Diretor constantemente. A cidade é um sistema em constante transformação, de tal maneira que a lei que orienta seu desenvolvimento precisa acompanhar essas mudanças, por isso o Plano Diretor deve ser revisto pelo menos a cada 10 anos.

É sabido, no entanto, que os municípios apresentam muitas dificuldades para implementar seus Planos Diretores. A maioria não apresenta uma estrutura administrativa adequada para o exercício do planejamento urbano, no que se refere aos recursos técnicos, humanos, tecnológicos e materiais, sem contar ainda a baixa difusão dos conselhos de participação e controle social voltados para uma cultura participativa de construção e implantação da política de desenvolvimento urbano.

#### **2.3.4. Lei De Uso e Ocupação do Solo**

Conforme Deák (1985) o Uso do Solo é o conjunto das atividades de uma sociedade por sobre uma aglomeração urbana assentada sobre localizações individualizadas, combinadas com seus padrões ou tipos de assentamento, do ponto de

vista da regulação espacial. De maneira simplificada, pode-se dizer que o uso do solo é o rebatimento da reprodução social no plano do espaço urbano.

O uso do solo assim admite uma variedade tão grande quanto as atividades da própria sociedade. Se categorias de uso do solo são criadas, é principalmente com a finalidade de classificação das atividades e tipos de assentamento para efeito de sua regulação e controle através de leis de zoneamento, ou leis de uso do solo.

Para Takeda (2013), o uso e ocupação do solo urbano têm por principais finalidades:

- Organizar o território potencializando as aptidões, compatibilidades, contiguidades, e as complementariedades das diversas atividades urbanas;
- Controlar a densidade populacional e a ocupação do solo pelas construções;
- Otimizar os deslocamentos e melhorar a mobilidade urbana;
- Minimizar a possibilidade de desastres ambientais;
- Preservar o meio-ambiente e a qualidade de vida urbana.

A Lei de Uso e Ocupação do Solo define as normas gerais para o desenvolvimento da cidade. Nela se encontram reunidos os princípios e orientações para a utilização e ocupação do espaço urbano, com o objetivo maior de garantir o desenvolvimento da cidade de forma equilibrada e sustentável.

Ao planejar a ocupação do território, a administração pública define o que é mais adequado para cada área da cidade, levando em conta a infraestrutura existente, a infraestrutura planejada, as restrições de natureza ambiental, a paisagem e o ambiente cultural. Devem ser consideradas as características e necessidades de cada parte da cidade, com vistas a garantia da adequada utilização do solo, do desenvolvimento social e econômico, da proteção do meio ambiente e da melhoria da qualidade de vida da população.

Estas leis são essencialmente empíricas e variam conforme cada sociedade e seu estágio de desenvolvimento; assim, o nível de detalhamento das categorias que a lei distingue depende da intensidade da intervenção do Estado, e do que este espera para gerenciar sua cidade.

Geralmente os pontos comuns e importantes inerentes a esse tipo de legislação são a atualização, organização e padronização de definições e conceitos, facilitando a

aplicação deste pela administração pública e também às legislações específicas futuras; a definição de estratégias de proteção da paisagem; a delimitação das áreas de restrição à ocupação urbana; a delimitação de princípios para o uso e ocupação das zonas pré-definidas; a padronização do zoneamento e dos parâmetros para os terrenos; definição de centros comerciais, industriais e outras especificidades.

Apresenta-se como um exemplo simplificado do capítulo inicial de uma legislação desse tipo, o projeto de lei de uso e ocupação do solo para o município do Rio de Janeiro, conforme segue:

**PROJETO DE LEI COMPLEMENTAR N° 33/2013**

**Título I – Das Disposições Iniciais**

*Art. 1º A Lei de Uso e Ocupação do Solo integra o instrumental geral de planejamento urbano da Cidade do Rio de Janeiro, juntamente com os demais normativos estabelecidos na Lei Orgânica do Município do Rio de Janeiro e no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro, Lei Complementar nº 111, de 1º de fevereiro de 2011, regulamentando o estabelecido em seus artigos 44 a 54.*

*Art. 2º Esta Lei Complementar tem por finalidade instituir as normas gerais que disciplinam o uso e a ocupação do solo no território municipal.*

*§1º As normas definidas nesta Lei Complementar serão adotadas quando da elaboração de legislações de uso e ocupação do solo local e legislações específicas, projetos urbanísticos ou demais legislações referentes à matéria, e considerarão o disposto para as Macrozonas de Ocupação estabelecidas no art. 32 do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável.*

*§2º Para os fins desta Lei Complementar entende-se por legislações específicas o instrumental de normas que regulam o uso e ocupação do solo e que englobam Áreas de Especial Interesse, Áreas de Proteção do Ambiente Cultural, Áreas de entorno de Bens Tombados, Unidades de Conservação da Natureza, e outras normas de proteção.*

*Art. 3º O uso e a ocupação do solo no território municipal, em consonância com o disposto nos artigos 14 e 38 do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável, serão regulados pela limitação das densidades demográficas, da intensidade de construção e das atividades econômicas.*

*§1º O uso e a ocupação do solo serão controlados pela definição de índices e parâmetros conforme disposto nesta Lei Complementar, nas legislações de uso e ocupação do solo local, nas legislações específicas, no Código de Obras e Edificações e na Lei de Parcelamento do Solo.*

*§2º Além do disposto no §1º, o uso e a ocupação do solo poderão sofrer restrições de natureza ambiental, conforme os instrumentos de execução da política de meio ambiente definido no Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável e no Código Ambiental da Cidade do Rio de Janeiro.*

*Art. 4º Os instrumentos de controle dos usos e da intensidade de ocupação do solo, contidos nesta Lei Complementar, têm como objetivos principais:*

*I - disciplinar a utilização e a ocupação do solo;*

- II - proteger ambientes naturais e construídos e elementos da paisagem;*
- III - possibilitar a diversidade de tipologias de edificações e a coexistência de usos compatíveis entre si;*
- IV - garantir os espaços necessários ao desenvolvimento das diversas funções urbanas.*

Como a cidade é um sistema dinâmico, a mesma está em constante mudança, portanto as legislações que regem o seu funcionamento devem acompanhar esse movimento, devendo estas ser revistas ou reformuladas com a passagem dos anos. A revisão da legislação urbanística deve ser entendida como um processo complexo, que exige planejamento e gerenciamento específicos. É importante envolver todos os setores sociais interessados (pois sem um profundo debate com esta dificilmente é encontrado apoio político para sua aprovação e implementação). E por fim baseado nos objetivos e macro-diretrizes propostas para a cidade, deve-se fazer o novo detalhamento da legislação de uso e ocupação do solo.

### **2.3.5. Zoneamento**

O Zoneamento é uma forma de planejamento físico territorial, é o dispositivo legal que o planejamento urbano tem para a implantação dos planos de uso do solo, assegurando a distribuição adequada dos usos do solo em uma área urbana, com padrões urbanísticos que garantam condições mínimas de habitabilidade e sustentação de necessidades básicas (FAZANO, 2001).

Em 1958, na Carta dos Andes, documento que resultou do Seminário de Técnicos e Funcionários em Planejamento Urbano, o zoneamento foi definido como: “instrumento legal de que dispõe o Poder Público para controlar o uso da terra, as densidades de população, a localização, a dimensão, o volume dos edifícios e seus usos específicos, em prol do bem-estar social” (Carta dos Andes, 1958, apud CARVALHO, 2000).

Barbosa e Carvalho (2010) afirmam que o zoneamento “é uma forma de planejamento físico territorial, sendo a ferramenta que o planejamento urbano tem para a implantação das estratégias definidas no planejamento do uso do solo nas áreas urbanas”.

Entende-se o zoneamento como sendo o instrumento utilizado no processo de planejamento urbano, cujo objetivo central é a utilização racional do solo urbano, sendo assim preponderante para a gestão do território.

O zoneamento foi utilizado pela primeira vez na Alemanha, mas foi nos Estados Unidos que ele ganhou força, a partir do início do século XX. Sendo alguns de seus principais objetivos: controle do crescimento urbano; proteção de áreas inadequadas à ocupação urbana; minimização dos conflitos entre usos e atividades; controle do tráfego; manutenção dos valores das propriedades.

No Brasil, até a metade do século XX, as cidades cresceram pela livre iniciativa, entremeadas por intervenções urbanas planejadas ou corretivas pontuais. A figura do zoneamento só vai ser introduzida no ordenamento urbano brasileiro no início do século XX e a partir da década de 50 destaca-se como um instrumento das elites para instituir o padrão estabelecido pelos loteamentos “cidade-jardim”, ampliando os contratos particulares ao status de normas municipais, instituindo zonas estritamente residenciais com o intuito de preservar a vizinhança e o valor dos imóveis. Já na década de 1970, as atenções se voltam para a regulação da verticalização em detrimento da compatibilização dos usos. A partir de então, o zoneamento foi se aperfeiçoando, mas seguindo principalmente as tendências de uso e valorização do solo, de especulação com os investimentos públicos e a proteção de áreas nobres (CARVALHO & BRAGA, 2005).

Ademais, o zoneamento tem sido fundamental no processo de planejamento urbano atual, pois a delimitação de áreas estabelecidas para uso e ocupação do solo tem como propósito evitar possíveis problemas urbanos tais como: construção de edificações acima do gabarito permitido pelo terreno, ocupações em áreas de riscos ambientais, realização de atividades industriais, comerciais e turísticas em lugares inapropriados que influenciam para a qualidade do ar, do solo, dos recursos hídricos, da fauna e flora afetando consequentemente a saúde do ser humano.

Um exemplo hipotético de zoneamento urbano para uma cidade pode ser visto na Figura 2.7 a seguir.

Áreas zoneadas	Característica de cada área
<b>Área de Ocupação Predominantemente Habitacional – AOPH</b>	<p>Área de Ocupação Predominantemente Habitacional está subdividida em:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de Ocupação Predominantemente Habitacional 1 – AOPH1;</li> <li>Área de ocupação Predominantemente Habitacional 2 – AOPH 2;</li> <li>Área de Ocupação Predominantemente Habitacional 3 – AOPH 3;</li> <li>Área de Ocupação Predominantemente Habitacional 4 – AOPH 4;</li> <li>Área de Ocupação Predominantemente Habitacional 5 – AOPH 5;</li> </ul>
<b>Área de Uso Sócio-Cultural - AUSC</b>	Área destinada para realização de atividades de cunho sócio-cultural.
<b>Área de Uso Múltiplo – AUM</b>	Área delimitada para realização de várias atividades (industrial, comércio e serviços, cultural e etc.).
<b>Área de Proteção Ambiental Municipal – APAM</b>	Área delimitada para preservação ambiental existente no perímetro urbano do município
<b>Área de Conservação – AC</b>	Área delimitada para preservação do patrimônio histórico e arquitetônico
<b>Área de Desenvolvimento Econômico – ADE</b>	Área destinada para realização de atividades industriais.
<b>Área de Comércios e Serviços - ACS</b>	Área que inclui o centro da cidade e outros locais para realização de atividades de fins comerciais e para prestação de serviços.

Figura 2.7: Zoneamento hipotético para uma cidade

Fonte: Adaptado de Oliveira, (2012)

Uma forma típica de apresentação de um zoneamento é um mapa contendo as zonas, representadas por cores e siglas, complementado por uma parte textual em que as zonas são descritas e seus parâmetros urbanísticos são definidos, normalmente em forma de tabela, tais como representado nas Figuras 2.8 e 2.9.



Figura 2.8: Zoneamento para a área central de Florianópolis – SC.

Fonte: IPUF (1997)

Área	Parc. do Solo		Nº Máximo de Pavimentos		Índice de Aproveitamento máximo	Taxa Máxima de Ocup. (%)	Densidade Média Hab/Ha (C)
	Lote Mínimo (m²)	Tentada Mínima (m)		(F)			
ARP-1/ATR-1	1500	22	2	-	0,3	20	40
ARP-2/ATR-2	720	17	2	-	0,7	35	85
ARP-3/ATR-3	450	15	2	-	0,8	40	145
ARP-4/ATR- 4	360	12	2	-	1,0	50	175
ARP-5/ATR- 5	360	12	4	6	1,3	(G)	420
ARP-6/ATR- 6	570	19	8	12	2,3	(G)	745
ARP-7/ATR-7	1020	30	12	-	3,0	(G)	975
ARP-0 (D)	128	8	2	-	1,0	50	325
ARE-1 (E)	5000	35	2	-	0,1	10	15
ARE-2	3000	29	2	-	0,2	15	20
ARE-3	1500	22	2	-	0,3	20	40
ARE-4	720	17	2	-	0,7	35	85
ARE-5	450	15	2	-	0,8	40	135
ARE-6	360	12	2	-	1,0	50	165

Figura 2.9: Exemplo de índices urbanísticos aplicados às zonas do Plano Diretor de Florianópolis (1997)  
Fonte: IPUF (1997)

O zoneamento foi, desde suas origens, um instrumento de política urbana destinado a mediar os conflitos surgidos na disputa entre vários agentes sociais e econômicos pelo solo urbano e, também, a estabelecer uma localização específica para as diversas atividades urbanas de modo a promover eficiência e funcionalidade no desempenho das cidades (NÉRY JR., 2002). No entanto, quando a questão ambiental ainda é na grande maioria das vezes negligenciada, de forma que este instrumento deixa de cumprir sua função, uma vez que um dos conflitos mais evidentes em nossas cidades é o fato de as desigualdades sociais serem reforçadas pelo acesso desigual ao meio ambiente saudável e seguro. Desta forma, a dimensão ambiental urbana deve ser avaliada como elemento fundamental para que a cidade cumpra sua função social.

De fato existe um zoneamento ambiental quando são estabelecidos critérios legais e regulamentos para que determinadas parcelas do solo, ou mesmo de cursos d'água doce ou do mar, sejam utilizadas ou não utilizadas, segundo critérios preestabelecidos. Tais critérios, uma vez firmados tornam-se obrigatórios, seja para o particular, seja para a Administração Pública, e assim constituindo-se em limitação administrativa incidente sobre o direito de propriedade. Vale o comentário que o chamado zoneamento ambiental urbano tem sua origem na necessidade de delimitação de espaços territoriais capazes de criar um mínimo de harmonia entre as diversas atividades e as necessidades humanas de habitação e lazer.

Assim é feita a sugestão de incorporar a questão ambiental no planejamento mediante a avaliação da compartimentação do sítio urbano com o uso da rede hidrográfica, está escolha se justifica tecnicamente pelo fato de os problemas urbanos mais comuns resultantes dos impactos ambientais nas cidades estarem, de uma forma ou outra, relacionados à água. Como exemplos deslizamentos, enchentes, assoreamentos, erosões, poluição etc., atingindo toda a sociedade, mas principalmente as populações mais carentes.

### **2.3.5.1.Zoneamento de Áreas de Inundação**

O zoneamento determina espaços urbanos em que existem ou não riscos para ocupação, e por isso, a ocupação destes locais deve ser planejada, regulamentada e às vezes, proibida por diretrizes e normas legais. Segundo Veyret (2007), ao apresentar o zoneamento, o mapa confere ao risco um caráter objetivo. A determinação dos limites destas áreas dá-se em função do grau de risco que é admissível em cada uma delas.

O mapa de áreas de risco à inundação é um instrumento importante na prevenção, controle e gestão das inundações. De acordo com Veyret (2007), assinalar o risco em um mapa equivale a afirmar o risco no espaço em questão.

Tucci (2005) descreve que os mapas de inundação de cidades podem ser de dois tipos: mapas de planejamento e mapas de alerta. Os mapas de planejamento definem as áreas atingidas por cheias de tempo de retorno definidos. Enquanto que os mapas de alerta são preparados com valores de cotas em cada esquina da área de risco permitindo o acompanhamento da enchente por parte dos moradores, com base nas observações do nível de água em relação às réguas. Ainda de acordo com Tucci (2003), com a utilização dos mapas de inundação é possível definir o zoneamento das áreas de risco à inundação. Estes mapas devem apresentar, também, informações sobre o grau de risco de cada área e os critérios de ocupação das mesmas, tanto quanto ao uso como quanto aos aspectos construtivos.

O zoneamento das áreas de inundação deve englobar assim as seguintes etapas: a determinação do risco das enchentes, o mapeamento das áreas inundáveis; o levantamento da população ocupando as áreas de risco; e por fim a definição do tipo de ocupação e o zoneamento das áreas de risco.

Conforme Tucci (2007), algumas condições técnicas devem ser levadas em consideração para realização do processo de zoneamento de inundação, primeiramente o

risco de ocorrência das inundações varia com as respectivas cotas da várzea, assim as áreas mais baixas e próximas ao curso d'água estão sujeitas com maior frequência a ocorrência destas. Além disso, o rio ocupa normalmente diferentes leitos ou níveis ao longo de um período sazonal, de tal forma que o escoamento do rio pode ser dividido em diferentes regiões para efeitos de zoneamento, sendo estas basicamente:

- Zona de passagem da enchente (esta que deve sempre ficar liberada para seu funcionamento hidráulico pleno);
- Zona com restrições (esta área é inundável, porém com baixos períodos de retorno, pequenas profundidades e baixas velocidades, o que permite sua ocupação seguindo regulamentação pertinente);
- Por fim zonas de baixo risco (região que possui pequena probabilidade de ocorrência de inundações, não necessitando de regulamentação quanto às cheias).

Devendo todas estas recomendações e regulamentações estarem contidas no Plano Diretor Municipal.

Um exemplo de zoneamento de risco de inundaçāo para a região Serrana do Rio de Janeiro foi realizado pelo INEA – Instituto Estadual do Meio Ambiente após os desastres ocorridos no ano de 2011; para este estudo foram levadas em consideração as particularidades locais e buscou-se a conciliação dos critérios técnicos para a avaliação e o respeito às restrições legais existentes. De modo a determinar o reassentamento das populações ribeirinhas, foram definidos dois tipos de áreas de desocupação: áreas de desocupação compulsória: corresponde às áreas com risco iminente de inundaçāo, nas quais as edificações deverão ser desocupadas, e áreas de desocupação optativa: corresponde às áreas com alto risco de inundaçāo, na qual a desocupação é optativa (INEA, 2015).

O zoneamento de risco de inundaçāo foi realizado nos municípios de Petrópolis (rios Cuiabá e Santo Antônio e Córrego Carvão), Teresópolis (rios Imbuí, Vieira e Formiga, Córrego Príncipe e Ribeirão Santa Rita) e Nova Friburgo (Córrego d'Antas e Rio Grande). Foram identificadas mais de 1.600 edificações em áreas de risco iminente (desocupação compulsória) e mais de 600 edificações em área de alto risco de inundaçāo (desocupação optativa), conforme pode ser observado na Figura 2.10.



Figura 2.10: Linha vermelha - áreas de desocupação compulsória; amarela - áreas de desocupação optativa

Fonte: Boletim Águas & Território - nº10 | janeiro de 2015

### 2.3.6. Plano Diretor de Drenagem Urbana

Conforme mencionado, anteriormente, o marco da evolução da política de planejamento urbano no Brasil foi à edição da Constituição Federal de 1988, embora já vigorasse a Lei Federal n.º 6.938/81 que criou o SISNAMA. Entretanto, quando o assunto é planejamento de drenagem ou plano diretor de drenagem, normas foram apresentadas, como embrionárias da política de drenagem vigente.

Carmo e De Marchi (2013) apresentam uma cronologia que resume os principais aspectos relevantes na legislação sobre a drenagem urbana em diferentes cidades do país, conforme visto no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Cronologia da legislação sobre Drenagem Urbana do Brasil.

Cidade	Ano	Assunto
Belo Horizonte/MG	1996	Plano de Desenvolvimento Urbano previa a possibilidade de impermeabilização total de áreas desde que compensada com a implantação de reservatórios na proporção de 30 litros por metro quadrado de área impermeabilizada.

Niterói/RJ	1997	a Lei nº 1620/1997, regulamentava a aprovação de edificações residenciais unifamiliares e no seu Artigo 19 definia o limite para a taxa de impermeabilização em 90% para a Zona Urbana, dispensando as edificações que apresentarem soluções de aproveitamento de águas pluviais.
Federação	1997	Lei n.º 9.433. Política Nacional de Recursos Hídricos
Santo André/ SP	1997	A instituição de mecanismos do tipo “poluidor-pagador” e a Lei Municipal 7.606/97 fixou a cobrança de taxa sobre o volume lançado no sistema de coleta de pluviais.
Porto Alegre /RS	1999	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) previa a obrigatoriedade do controle das vazões geradas excedentes à condição de pré-ocupação da área.
Guarulhos/SP	2000	O Código de Obras de Guarulhos (Lei 5617/97) prevê, desde o ano 2000, a obrigatoriedade do uso de reservatórios de detenção das águas pluviais para imóveis com área superior a 1 hectare, com a possibilidade de reutilização destas águas para rega de jardins, lavagens de passeio e para fins industriais adequados.
São Paulo/SP	2001	Conselho Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CADES) através da Comissão Especial para a Elaboração de Estudos de Políticas Públicas para o Aumento da Permeabilidade do Solo Urbano alterou a Lei n.º 11.222/92, para reservação de águas pluviais.
Curitiba/PR	2003	Programa de Conservação e Uso Racional de Água nas Edificações (PURAE)
Federação	2007	Lei n.º 11.445/2007. Dispõe sobre a Política e Plano de Saneamento Básico (água, esgoto, resíduos e drenagem).

Fonte: Carmo e De Marchi (2013)

Após passadas as experiências municipais e medidas legislativas federais, o Governo Federal, no ano de 2006, lançou o programa de Drenagem Urbana Sustentável, com o objetivo de promover políticas de desenvolvimento urbano, uso e ocupação do solo e gestão das bacias hidrográficas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Segundo consta do programa, as ações prioritárias são a gestão da drenagem urbana dos municípios segundo as diretrizes de seu Plano Diretor de Drenagem Urbana ou de Manejo das Águas Pluviais ou na ausência do plano, o desenvolvimento do mesmo, seguindo os princípios do Manejo Sustentável das Águas Pluviais Urbanas.

Com a aprovação da Lei nº 11.445/2007 – a chamada Lei do Saneamento Básico – novas exigências foram impostas aos Municípios com relação ao diagnóstico e o planejamento do saneamento básico (este que engloba a drenagem urbana), contribuindo definitivamente para a criação ou aperfeiçoamento dos sistemas de drenagem urbana.

Conforme FEAM (2006) o Plano Diretor de Drenagem Urbana é o conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem, cujo objetivo é minimizar o

impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais. Tais planos devem priorizar as medidas não-estruturantes, incluir a participação pública, ser definido por sub-bacias urbanas e ser integrado ao plano diretor de desenvolvimento urbano. Objetivando ser o instrumento orientador do poder executivo não só nas questões pontuais como inundações, mas também nas medidas de macrodrenagem como contenções de encostas e cabeceiras.

No “Curso de Gestão de Águas Pluviais – Plano Diretor de Drenagem Urbana” (TUCCI, 2013) foi definido como sendo os princípios básicos para um plano diretor de drenagem urbana os seguintes aspectos:

1. O Plano Diretor de Drenagem Urbana faz parte do Plano Direto Urbano.
2. O escoamento durante os eventos chuvosos não deve ser ampliado pela ocupação da bacia.
3. Os impactos provenientes de quaisquer medidas não devem ser transferidos sem mitigação.
4. O Plano deve prever a minimização do impacto ambiental devido ao escoamento pluvial.
5. O Plano Diretor de Drenagem Urbana, na sua regulamentação, deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.
6. O controle deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não somente em trechos isolados.
7. O controle de enchentes é um processo permanente.
8. A educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais, da população e dos administradores públicos é essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos.
9. O custo da implantação das medidas estruturais, da operação e manutenção da drenagem urbana deve ser transferido aos proprietários dos lotes, proporcionalmente a sua área impermeável – que é a geradora de volume adicional – quando em referência as condições naturais.
10. O controle do escoamento urbano deve priorizar a sustentabilidade, distribuindo as medidas para aqueles que produzem o aumento do escoamento e a contaminação das águas pluviais.
11. É essencial uma gestão eficiente na manutenção de drenagem e na fiscalização da regulamentação.

Para Tucci (2003) um dos principais objetivos de um Plano Diretor de Drenagem Urbana é prover diretrizes que auxiliem na regulamentação da implantação de novos empreendimentos, utilizando-se de uma série de medidas, tanto de ordem estrutural como não estrutural, de forma a mitigar os efeitos das inundações. O Plano

deverá levar em conta os prazos e suas magnitudes, bem como as ações pertinentes a cada prazo, de modo a encontrar a melhor solução do ponto de vista econômico. Também deverão constar os meios de supervisão, fiscalização e coordenação das atividades a serem implantadas.

Já para Canholi (2003) o objetivo principal de um Plano Diretor de Drenagem Urbana é a planificação das ações preventivas, onde possível e, corretivas nos casos onde o problema já está estabelecido. De maneira conceitual, as premissas básicas consideradas na formulação do Plano Diretor de Drenagem deve ser levado em consideração que a drenagem é um fenômeno regional – a unidade de gerenciamento é a bacia hidrográfica; a drenagem é uma questão de alocação de espaços – a supressão de áreas de inundações, naturais ou não, implicará na sua realocação a jusante; a drenagem é parte integrante da infraestrutura urbana – portanto seu planejamento deve ser multidisciplinar e harmônico com os demais planos e projetos; e por fim a drenagem deve ser sustentável – a partir do seu gerenciamento deve ser garantida sua sustentabilidade: institucional, ambiental e econômica.

Conforme FEAM (2006) a elaboração de plano diretor de drenagem urbana consiste nas seguintes atividades:

- Estudar a bacia hidrográfica como um todo: o cadastro da macrodrenagem, inventário das ocorrências de inundações, controle de erosão, controle de vetores causadores de doenças;
- Estabelecer normas e critérios de projeto uniformes para toda a bacia hidrográfica;
- Identificar áreas que possam ser preservadas ou adquiridas pelo Poder Público;
- Elaborar o zoneamento dos fundos de vale e das várzeas de inundaçõ;
- Valorizar o curso d'água por meio da sua integração na paisagem urbana e também como fonte de lazer;
- Estabelecer critérios para implantação de medidas necessárias de acordo com os recursos disponíveis;
- Articular o plano diretor com os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, sistema viário;
- Envolver a comunidade na discussão dos problemas e soluções propostas;
- Sempre que possível adotar medidas preventivas ao invés de corretivas.

Segundo Tucci (2002) a estrutura básica do Plano Diretor de Drenagem Urbana é composta por cinco fases, quais sejam:

- Informações: O conjunto de informações que abordam a área de drenagem, ou seja, é a base dados sobre as quais será fundamentado o plano;
- Fundamentos: São elementos definidores do plano, constituem-se nos princípios, objetivos e estratégias, cenários e riscos;
- Desenvolvimento: O planejamento das medidas se baseia no seguinte: medidas não-estruturais, medidas estruturais; avaliação econômica, obras de controle, operação e manutenção;
- Produtos:
  - Legislação e/ou regulamentação: compõem as medidas não estruturais;
  - Plano de ação: é o conjunto de medidas escalonadas no tempo de acordo com a viabilidade financeira;
  - Manual de drenagem: deve dar base para os elementos necessários ao preparo dos projetos na cidade;
- Programas: são estudos complementares de médio e longo prazo que são recomendados no plano para melhorar as deficiências encontradas na elaboração do Plano desenvolvido.

Segundo consta no Plano Diretor Participativo: Guia para Elaboração pelos Municípios e Cidadão, do Ministério das Cidades (2004), para atingir todas as etapas previstas no planejamento é essencial que estejam disponíveis dados e informações, entre as quais se destacam:

- Inventário da infraestrutura do sistema de drenagem urbana existente;
- Adequada caracterização do uso do solo;
- Dados hidrológicos;
- Caracterização da estrutura institucional dos serviços de drenagem.

Já Tucci (2002) afirma que o conjunto de informações requeridas relacionadas à drenagem urbana são os seguintes:

- Cadastro da rede pluvial, bacias hidrográfica, uso e tipo do solo das bacias, entre outros dados físicos;
- Dados Hidrológicos: precipitação, vazão, sedimentos e qualidade da água do sistema de drenagem;

- Aspectos institucionais: legislação municipal relacionada com o plano diretor urbano e meio ambiente; legislação estadual de recursos hídricos; e legislação federal; gestão de meio ambiente do município;
- Planos que apresentam interface com a drenagem urbana: plano de desenvolvimento urbano, plano de saneamento ou esgotamento sanitário, plano de controle dos resíduos sólidos e planos viários.

### **2.3.7. Legislação nacional para cursos d’água urbanos**

Em paralelo à renovação e ao fortalecimento das normas ambientais, o Brasil passa também pelo fortalecimento de normas para planejamento e da gestão territorial, tais como o Estatuto da Cidade, os Planos de Bacia Hidrográfica, o novo Código Florestal, os Planos Diretores Municipais e, também, a retomada de investimentos públicos em saneamento e habitação. Porém ainda existe uma grande dificuldade na resolução dos diversos conflitos existentes entre estas instâncias legislativas e também na adequação aos novos paradigmas vigente na arquitetura e engenharia, assim ainda hoje é possível verificar em grande quantidade de exemplos práticas deletérias, tais como: a criação legal de imensas áreas impermeáveis (sem nenhuma solução para o excesso do escoamento superficial a ser gerado), aterrramento de nascentes, canalização desnecessária de cursos d’água, ocupação de várzeas, e vários destes exemplos sendo legalizados (o que mostra uma face ainda complexa do problema a ser resolvida).

Nesta breve seção, serão descritas algumas das legislações que regem a ocupação e uso do entorno dos cursos d’água nas áreas urbanas.

O antigo Código Florestal Brasileiro (Lei n. 4.771/65) definia como APP “área de preservação permanente: área protegida nos termos dos artigos 2º e 3º dessa lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Portanto tal definição pode ser utilizada para definir faixas marginais aos cursos d’água tanto em áreas rurais quanto urbanas com vistas à preservação dos mesmos. Lembrando ainda que o art. 4º reza que “A supressão de vegetação em área de preservação permanente somente poderá ser autorizada em caso de utilidade pública ou de interesse social, devidamente caracterizados e motivados em procedimento administrativo próprio, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto”.

Conforme apresentado por Sepe *et al.* (2014), pode-se avaliar também a transversalidade entre as legislações de uso, ocupação e parcelamento do solo urbano, com a de áreas de proteção permanente em áreas urbanas. Desde que instituído o marco legal que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano (Lei Federal 6766/1979), impôs restrições de ocupação visando, prioritariamente, garantir a segurança humana ao impedir o parcelamento do solo em terrenos: a) alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas; b) que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados; c) com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes; d) onde as condições geológicas não aconselham a edificação e, e) em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

Quanto aos requisitos para implantação de loteamentos destacava-se a obrigatoriedade em reservar faixa não edificável de 15 (quinze) metros de cada lado ao longo das águas correntes e dormentes e das faixas de domínio das rodovias e ferrovias, salvo maiores exigências da legislação específica. Embora com propósitos diferentes, a lei de parcelamento do solo urbano não confrontava com o Código Florestal de 1965, e ambos visavam a proteção e manutenção das funções ambientais e urbanísticas dos cursos d'água (SEPE *et al.* 2014).

Como aponta Coelho Jr. (2010), a localização da APP se constituiu em elemento decisivo para caracterizá-la, e ao associá-la ao cumprimento de sua função ambiental, o que pode vir a ocasionar controvérsia a respeito da aplicação da lei para os casos em que houve alteração significativa da APP, de modo a impossibilitar o exercício pleno dessa função.

A edição da Lei Federal 11.977/2009 que dispõe sobre o Programa Minha Casa Minha Vida e sobre a regularização fundiária de assentamentos localizados em área urbana, superou a polêmica do ponto de vista legal, quanto a esse tema. Neste sentido, a Lei estabeleceu como condicionante para admitir a regularização fundiária de interesse social em APP inserida em área urbana consolidada e ocupada até 2007, a comprovação da melhoria das condições ambientais através de estudo técnico, realizado por profissional legalmente habilitado, contendo no mínimo: i) caracterização da situação ambiental da área a ser regularizada; ii) especificação dos sistemas de saneamento básico; iii) proposição de intervenções para o controle de riscos geotécnicos e de

inundações; iv) recuperação de áreas degradadas e daquelas não passíveis de regularização; v) comprovação da melhoria das condições de sustentabilidade urbano-ambiental, considerados o uso adequado dos recursos hídricos e a proteção das unidades de conservação, quando for o caso; vi) comprovação da melhoria da habitabilidade dos moradores propiciada pela regularização proposta; e vii) garantia de acesso público às praias e aos corpos d'água, quando for o caso.

Com a aprovação do Novo Código Florestal (Lei Federal 12.651/12), depois de diversas polêmicas, foi definido como uma APP: “Art. 3. II - Área de Preservação Permanente: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Sendo assim considera-se APP para efeito da lei, as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, desde a borda da calha do leito regular, em larguras mínimas determinadas conforme a largura do corpo d'água.

Conforme apresentado em ABES-SP (2012), a Lei 12.651/12 manteve o mesmo conceito dado para as APP's estabelecido no Código de 1965, considerando o caráter de preservação da área, e mantendo suas funções ambientais. Porém, verifica-se uma alteração bastante significativa, quando do estabelecimento de que as APP's de cursos d'água sejam contabilizadas a partir da borda da calha do leito regular e não mais do seu nível mais alto. Desta forma, foi reduzida drasticamente a proteção dos cursos d'água, pois a faixa ao longo dos mesmos é locada no que se entende ser o próprio corpo d'água. O corpo d'água não pode ser entendido somente onde as águas correm na maior parte do tempo, pois o seu leito sazonalmente varia em função das chuvas. A figura 2.11 ilustra tal situação, com a locação da APP tal como determina a legislação vigente.

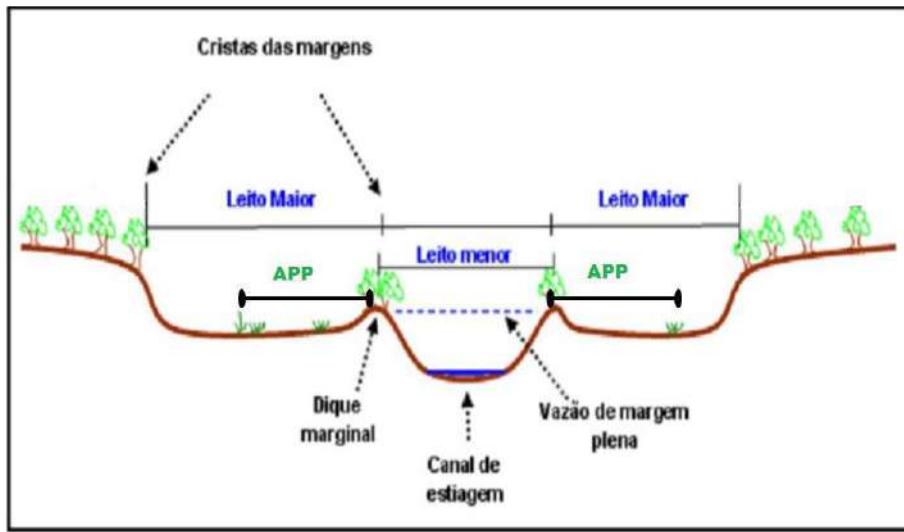


Figura 2.11: APP localizada a partir da borda da calha do leito regular

Fonte: ABES – SP (2012)

Em áreas urbanas, a ocupação de várzeas e planícies de inundação natural dos cursos d’água e das áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais e artificiais tem sido uma das principais causas de desastres ambientais, podendo ocasionar mortalidade, e principalmente morbidade em centenas a milhares de vítimas todos os anos, além de perdas econômicas de grande soma em infraestrutura, residências, edifícios etc. As inundações são grandemente amplificadas em função da impermeabilização das áreas urbanas. Usualmente, no caso dos desastres ambientais, as populações pobres são as mais vulneráveis e atingidas, já que devido ao contexto social e econômico estabelecido, estas acabam, muitas vezes por falta de alternativa, ocupando áreas inadequadas a edificações para moradia (SBPC/ABC, 2012).

No âmbito do novo Código Florestal aparece um novo conceito: faixa de passagem de inundação, definida como sendo a área de várzea ou planície de inundação adjacente a cursos d’água que permite o escoamento da enchente. Em áreas urbanas, assim entendidas as áreas compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglorações urbanas, as faixas marginais de qualquer curso d’água natural que delimitem as áreas da faixa de passagem de inundação terão sua largura determinada pelos respectivos Planos Diretores e Leis de Uso do Solo, ouvidos os Conselhos Estaduais e Municipais de Meio Ambiente, sem prejuízo dos limites estabelecidos para a APP de cursos d’água (ABES-SP, 2012).

Aparentemente, demonstra-se uma preocupação com as questões urbanas relativas à ocorrência de enchentes e inundações. Valendo ressaltar que esta área não é

considerada APP, sendo somente mais um parâmetro específico para áreas urbanas. Assim cada município irá determinar as faixas de passagem de inundação e as respectivas APP's de sua rede hidrográfica. Se por um lado, a definição em nível local da faixa de passagem para inundação para cada corpo d'água é altamente desejável, porque considerará as particularidades específicas da bacia hidrográfica; por outro lado, isto requer um conhecimento sobre o regime hidráulico e hidrológico do curso d'água, lago ou lagoa, bem como a topografia da planície de inundação.

## **2.4. RESILIÊNCIA E VULNERABILIDADE NAS CIDADES**

### **2.4.1. Vulnerabilidade**

Ao longo deste item será feito um levantamento sobre a construção do conceito de vulnerabilidade e de suas vertentes, para que por fim possam ser apresentadas algumas metodologias de avaliação da vulnerabilidade em áreas urbanas e a própria proposição de uma ferramenta de medição do nível de vulnerabilidade socioeconômica, adaptada para a realidade brasileira.

#### **2.4.1.1. Conceitos Iniciais de Vulnerabilidade**

Conforme definição do dicionário Houassis (2009) vulnerabilidade é a qualidade ou estado daquilo que é ou se encontra vulnerável, ou seja, quem é ou o que pode ser fisicamente ferido, ou sujeito a ser atacado, derrotado, prejudicado ou ofendido.

Originalmente o termo foi desenvolvido pela engenharia de estruturas – para indicar como as características construtivas poderiam fazer as construções mais propensas a sofrerem danos – apenas nas últimas décadas o conceito tomou caráter multidisciplinar ao contemplar não somente os aspectos estruturais, como os humanos e sociais. Assim podem ser caracterizados diferentes tipos de vulnerabilidade: natural, física, econômica, social, política, técnica, cultural e educacional (SAITO, 2011).

Para o Ministério das Cidades (2006) a vulnerabilidade dá o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade, dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo.

Para a Defesa Civil Nacional, a vulnerabilidade pode ser expressa como uma condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor, que em interação com a magnitude do

evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis (BRASIL, 1999).

1 – Condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor, que em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos medidos em termos de intensidade dos danos prováveis. 2 – Relação existente entre a magnitude da ameaça, caso ela se concretize, e a intensidade do dano consequente. 3 – Probabilidade de uma determinada comunidade ou área geográfica ser afetada por uma ameaça ou risco potencial de desastre, estabelecida a partir de estudos técnicos (CASTRO, 2005).

A vulnerabilidade também pode ser entendida como as condições determinadas por fatores físicos, econômicos, sociais e ambientais que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade aos impactos das ameaças (UNDP, 2004).

Outra linha de análise sobre vulnerabilidade, desenvolvida principalmente dentro da geografia, tem origem nos estudos sobre desastres naturais (*natural hazards*) e avaliação de risco (*risk assessment*). Nesta perspectiva, a vulnerabilidade pode ser vista como sendo a interação entre o perigo de um lugar (*hazard of place*) e as características e o grau de exposição da população lá residente (CUTTER, 1996).

Vulnerabilidade é geralmente interpretada na área de riscos e desastres, como sendo uma série de características socialmente construídas, que tornam uma sociedade mais suscetível aos danos e perdas, e a recuperar-se de forma mais autônoma face às dificuldades (CEPREDENAC, 2003).

Para O'Riordan (2002), a vulnerabilidade a desastres naturais pode ser descrita como a incapacidade de uma pessoa, sociedade ou grupo populacional de evitar o perigo relacionado a catástrofes naturais ou ao fato de ser forçado a viver em tais condições de perigo. Tal situação decorre de uma combinação de processos econômicos, sociais, ambientais e políticos.

Cardona (2004) também propõe pensar vulnerabilidade a desastres naturais em uma perspectiva abrangente, identificando três componentes principais em sua composição: fragilidade ou exposição; suscetibilidade; e falta de resiliência. Fragilidade ou exposição é a componente física e ambiental da vulnerabilidade, que captura em que medida um grupo populacional é suscetível de ser afetado por um fenômeno perigoso

em função de sua localização em área de influência do mesmo, e devido à ausência de resistência física à sua propagação. Suscetibilidade é a componente socioeconômica e demográfica, que captura a predisposição de um grupo populacional de sofrer danos em face de um fenômeno perigoso; esta decorrente do grau de marginalidade, segregação social e fragilidade econômica às quais um grupo populacional se encontra submetido. Falta de resiliência é a componente comportamental, comunitária e política, que captura a capacidade de um grupo populacional submetido a um fenômeno perigoso de absorver o choque e se adaptar para voltar a um estado aceitável.

Birkmann (2005) assegura que existem cinco abordagens diferentes para este conceito (Figura 2.12). A primeira considera um fator interno do conceito de risco; a segunda analisa a vulnerabilidade como uma probabilidade de provocar danos; a terceira se pauta em uma visão dualística entre a suscetibilidade e a capacidade de resposta; a quarta se relaciona uma múltipla estrutura (levando em consideração a suscetibilidade, exposição, capacidade e adaptação); já a quinta abordagem para vulnerabilidade apresenta um caráter multidimensional, abordando feições físicas, sociais, econômicas, ambientais e institucionais (sendo esta a mais abrangente entre as citadas).

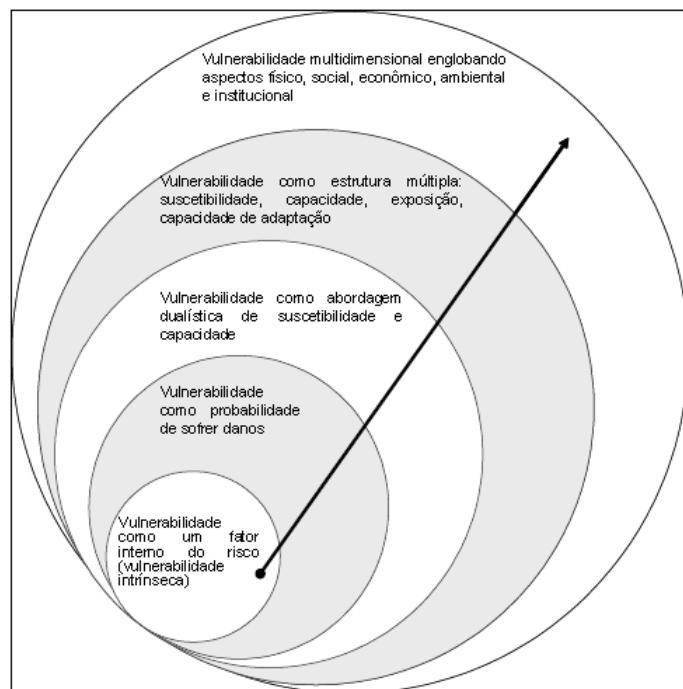


Figura 2.12: Múltiplas abordagens para vulnerabilidade  
Fonte: Adaptado de Birkmann (2005)

Diante destes conceitos, percebe-se a não uniformidade na conceituação da vulnerabilidade. O que se pode notar é a existência de alguns termos que se repetem, como: exposição e capacidade. Onde os elementos em risco (sociedade e/ou estruturas físicas) podem estar expostos de diferentes maneiras a uma ameaça. Um exemplo comumente associado é padrão construtivo (qualidade estrutural das edificações), partindo desta concepção se atrela a ideia de capacidade destes elementos a todos os esforços e recursos em lidarem com os efeitos advindos de um desastre. Então, criou-se um equivocado conceito de que vulnerabilidade é sinônimo de pobreza (noção esta combatida pelos autores anteriormente citados), o que deve ser levado em consideração é que a pobreza é uma característica local que tem potencial para aumentar a vulnerabilidade de um sistema social e/ou infraestrutural.

#### **2.4.1.2.Vulnerabilidade Social e Ambiental**

A noção de vulnerabilidade geralmente é definida como uma situação em que estão presentes três elementos (ou componentes): exposição ao risco, incapacidade de reação e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco (Moser, 1998).

O termo vulnerabilidade social tem sido utilizado com certa frequência por grupos acadêmicos e entidades governamentais. Esta incorporação da noção de vulnerabilidade teve forte influência de organismos internacionais como as Nações Unidas e o Banco Mundial. Parte da visibilidade dos estudos sobre vulnerabilidade social se deve a certa insatisfação com os enfoques tradicionais sobre pobreza e com seus métodos de mensuração, baseados exclusivamente no nível de renda monetária e em medidas fixas, como a linha de pobreza. Neste sentido, a noção de vulnerabilidade social, ao considerar a insegurança e exposição a riscos e perturbações provocadas por eventos ou mudanças econômicas, pode abranger uma visão mais ampla sobre as condições de vida dos grupos sociais mais pobres e, ao mesmo tempo, levar em conta a disponibilidade de recursos e estratégias das próprias famílias para enfrentar os impactos que as afetam (KAZTMAN *et al.*, 1999).

Para Busso (2002), uma significativa parcela da população é considerada vulnerável, mesmo sem ser considerada pobre (de acordo com critérios internacionalmente definidos). A autora define cinco dimensões mais importantes da vulnerabilidade social: de habitat (condições habitacionais e ambientais, como: tipo de moradia, saneamento, infraestrutura urbana, equipamentos, riscos de origem ambiental); de capital humano (variáveis como: anos de escolaridade, alfabetização,

assistência escolar, saúde, desnutrição, ausência de capacidade, experiência de trabalho); econômica (inserção de trabalho e renda); de proteção social (sistemas de cotização em geral, coberturas por programas sociais, aposentadoria, seguros sociais) e de capital social (participação política, associativismo, inserção em redes de apoio).

Katzman (2000) analisa a vulnerabilidade social a partir da existência, ou não, por parte dos indivíduos ou das famílias, de ativos disponíveis e capazes de enfrentar determinadas situações de risco. Ele trabalha o conceito de capital para os grupos vulneráveis, que pode capacitá-los a aproveitar as oportunidades disponíveis em distintos âmbitos socioeconômicos, e que influencia o estado de respostas diante das situações de risco.

A noção de vulnerabilidade também tem se tornado um foco central para as comunidades científicas de mudança ambiental e sustentabilidade (IHDP, IGBP, IPCC) e uma categoria importante para algumas instituições internacionais, como algumas agências das Nações Unidas (PNUD, PNUMA, EIRD, UNISDR, UNESCO), Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Banco Mundial. Uma questão bastante mencionada, por exemplo, é a vulnerabilidade em relação aos recursos hídricos: à água potável, à falta de saneamento e a doenças de veiculação hídrica.

A população carente muitas vezes não tem acesso a saneamento adequado (água e esgoto) podendo em diversas situações residir em áreas expostas a altos níveis de poluição hídrica. Estima-se que 11% da população mundial não tem acesso a água potável e 36% não tem acesso a saneamento adequado. Doenças de veiculação hídrica representam uma séria ameaça à saúde humana, principalmente para as crianças, que são as mais vulneráveis a estas doenças (UNESCO & OMS, 2015).

D'Ercole (1994) e Blaikie *et al.* (1994) estabelecem uma relação de causa e efeito gerada entre a natureza e a sociedade, reconhecendo que os fatores de risco estão associados a um certo grau de exposição a uma situação crítica, natural ou social, que gera vulnerabilidade em determinados grupos; essas contextualizações incorporam ao fenômeno da vulnerabilidade uma perspectiva temporal de futuro, quando estabelecem que os grupos mais vulneráveis são também aqueles que possuem mais dificuldades para reconstruir suas vidas após algum desastre; consequentemente, esses mesmos grupos se tornarão mais vulneráveis aos efeitos de desastres futuros.

D'Ercole (1994) afirma que a análise da vulnerabilidade na cidade não pode deixar de contar com uma abordagem sistêmica que inclua: fatores socioeconômicos, fatores psicossociológicos, fatores ligados à cultura e à história das sociedades expostas, fatores técnicos, fatores funcionais e fatores institucionais.

Segundo Deschamps (2004), Alves *et al.* (2008), Almeida (2010) e Saito (2011), o quadro teórico, no qual se insere a vulnerabilidade socioambiental urbana, contempla a sobreposição (coexistência espacial) dos processos de expansão urbana envolvendo tanto a dispersão espacial de grupos de risco social, quanto a degradação ambiental e falta de serviços de infraestrutura urbana. Dessa forma, não se pode tratar da vulnerabilidade socioambiental sem considerar a expansão urbana para áreas periféricas, relacionada à procura por habitação em áreas com baixo valor da terra e sem infraestrutura. Essa dinâmica da expansão urbana estabelece uma condição de ocupação em áreas com más condições urbanísticas e de infraestrutura – sem abastecimento de água tratada, sem saneamento, sem coleta de lixo, etc. – tais como: terrenos com alta declividade, próximos a cursos d'água e de lixões, geralmente áreas públicas e/ou de preservação. Os índices de pobreza quantificam o grau da exclusão que fatores socioeconômicos impõem em um determinado lugar a alguns grupos.

Cutter (2003) afirma que está embutido em toda a discussão sobre a ciência da vulnerabilidade socioambiental o requisito de antecipar surpresa, capturar a incerteza e adaptar-se às mudanças, salientando o investimento contínuo no conhecimento sobre essa ciência, havendo a necessidade de conectá-la a um campo teórico amplo e a uma arena de ação política comprometida com a justiça social e ambiental. A autora promove a necessidade da confluência dos conhecimentos sobre as dinâmicas sociais e naturais, condição imprescindível para um diagnóstico e um prognóstico; assim, a ciência da vulnerabilidade prescinde uma visão multidimensional associada a seus fenômenos geradores.

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

#### **2.4.1.3. Índices de Vulnerabilidade**

Dada à complexidade das diferentes dimensões da vulnerabilidade, mensurá-las requer a integração de um grande número de informações relacionadas a uma pluralidade de disciplinas e áreas de conhecimento. Trabalhar a riqueza dessas informações de forma consistente exige a produção de indicadores claros e sintéticos, adiante serão apresentadas algumas metodologias que buscam avaliar a variação da vulnerabilidade em sistemas urbanos. Estes índices podem trabalhar em diferentes níveis de avaliação – seja ele global, nacional, subnacional ou local/setorial.

Existem diversas abordagens desenvolvidas por diferentes grupos de especialistas para avaliação da vulnerabilidade em nível nacional (podendo estas permitir a comparação entre diversos países). Quatro destas que foram desenvolvidas com base em pesquisas acadêmicas realizadas nos seguintes locais: Universidade Nacional da Colômbia (Colômbia), Universidade de Malta (República de Malta), Universidade de Liverpool (Inglaterra) e Universidade Columbia (Estados Unidos da América). Outras duas metodologias foram desenvolvidas por organizações internacionais, como o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - UNDP (setorial de Prevenção e Recuperação de Crises) e o Centro Tyndall para Pesquisas sobre Mudanças Climáticas (DILLEY, 2005; UNDP, 2004; ADGER *et al.*, 2004; CUTTER, 2003; CARDONA, 2005; VINCENT, 2004).

Algumas metodologias propostas são:

- Índice de Desastre de Risco (UNDP): apresenta uma metodologia que avalia o risco e a vulnerabilidade humana com base na exposição a terremotos, ciclones tropicais, secas e inundações;
- *Hot-Spots* (*Columbia University* e Banco Mundial): centra-se na avaliação do risco em relação a desastres provocados por mortalidades e perdas econômicas (adequando-se a diferentes fontes de perigo), este método é mais adequado para avaliações em escala global;
- Índice Composto de Vulnerabilidade para Pequenas Ilhas e Estados: a meta deste índice é de avaliar a vulnerabilidade intrínseca destas pequenas regiões quando em comparação com países e estados maiores que apresentam vantagens associadas a sua maior escala.

- Índice de Vulnerabilidade Social para África (SVI): este índice avalia a capacidade de um país em antecipar, resistir, lidar e responder ao perigo de variações na disponibilidade de água.
- Índice do Risco de Desastres: desenvolvido na Colômbia com foco nos países americanos, composto por quatro subíndices que desejam avaliar – as perdas econômicas, a predisposição do país em sofrer impactos de pequeno porte em eventos sucessivos, a vulnerabilidade intrínseca da área (avaliando exposição, suscetibilidade e resiliência) e um último índice que avalia o manejo e a gestão dos riscos.
- Índice de Vulnerabilidade Social (SOVI): é uma avaliação quantitativa das características que influenciam a vulnerabilidade social aos riscos e facilita a comparação entre as unidades geográficas, os perfis socioeconômicos são gerados a partir das informações censitárias.

Para avaliação da vulnerabilidade, em suas diferentes vertentes ao nível local ou setorial, também existem diversas outras metodologias; estas costumam ser desenvolvidas por grupos universitários e/ou instituições de gestão municipal/estadual com vistas a um melhor entendimento da dinâmica urbana, ou análises e proposição de adequações no planejamento e gestão urbana.

No capítulo *Material e Métodos* serão descritas algumas metodologias para avaliação da vulnerabilidade, em nível local, com vistas a uma melhor gestão dos riscos urbanos de um sistema social. Estas foram utilizadas como base técnica para a construção da metodologia proposta nesta Tese e abarcam tanto trabalhos nacionais quanto internacionais.

#### **2.4.2. Resiliência**

Comumente o problema das cheias urbanas sempre foi tratado com foco nos alagamentos originados por chuvas intensas e falhas nos sistemas de drenagem, porém, recentemente, esta lógica tem se modificado e tem se buscado o gerenciamento dos riscos, ao invés da simples redução dos alagamentos. Para tanto, se faz necessário entender a concepção de risco, partindo do conceito do risco possuir três componentes básicos: um associado à probabilidade de ocorrência do evento, outro associado às consequências advindas (dependente das características do sistema) e uma terceira

relativa a capacidade de reação e/ou recuperação; sendo assim o risco é função do perigo, da vulnerabilidade e da resiliência.

As consequências das cheias referem-se a todo tipo de danos com efeitos prejudiciais às pessoas, saúde, propriedades, infraestrutura, sistemas ecológicos, produção industrial, sistema socioeconômico. Assim quando se busca fomentar o aumento da resiliência das cidades, tal ação implica na diminuição das possíveis consequências que possam advir das cheias.

Este aumento da resiliência urbana (no sistema de drenagem urbana) pode ser obtido com ações tanto no campo de planejamento urbano e de uso e ocupação do solo, quanto por meio de ações de engenharia – estas que buscam preparar a cidade para um melhor convívio com as inundações (por meio de zoneamento de áreas inundáveis), ou pelo aumento da resistência das edificações, ou ainda diminuindo a geração de escoamento e reorganizando os padrões de escoamento das vazões resultantes.

Inicialmente é importante conhecer e compreender como um conceito puramente físico se tornou uma importante ferramenta no planejamento e gestão de recursos hídricos no território urbano, através de uma revisão conceitual a cerca do tema.

#### **2.4.2.1. Conceitos Iniciais sobre Resiliência**

Nas ciências exatas, o termo resiliência integra os estudos sobre resistência dos materiais e já era usado desde 1807, quando o inglês Thomas Young publicou a obra em que a noção de módulo de elasticidade foi introduzida, Young fala de resiliência ao apresentar uma discussão sobre fraturas de corpos elásticos produzidas por impacto.

Conforme Nash (1982), para a disciplina resistência dos materiais, a resiliência é definida como “a capacidade de um material de absorver energia na região elástica”, sendo essa capaz de voltar à forma original, quando cessa a causa de sua deformação.

Beer e Johnston (1989) explicam que “a capacidade do material estrutural suportar um impacto sem ficar deformado permanentemente depende de sua resiliência”.

Para captar como esta propriedade física dos materiais foi transformada em conceito por outras áreas do conhecimento, é necessário conhecer a etimologia da palavra, que tem origem no termo (em latim) *resilio*, que significa saltar para trás, voltar, ser impelido, recuar, retirar-se sobre si mesmo, encolher, desdizer-se, romper.

Assim dessa conceituação inicialmente física, o termo resiliência passou a ser empregado em outras áreas do conhecimento, além de seu uso pela área de engenharia e arquitetura, e também no planejamento e gestão dos territórios urbanos. Como exemplos podem ser citados alguns conceitos de resiliência na ecologia e na área de psicologia.

Em ecologia a resiliência pode ser entendida como a capacidade de um sistema restabelecer seu equilíbrio após este ter sido rompido por um distúrbio, ou seja, sua capacidade de recuperação; diferindo de resistência, que é a capacidade de um sistema de manter sua estrutura e funcionamento após um distúrbio. O conceito de resiliência na ecologia ganhou foco nos trabalhos do pesquisador canadense HOLLING, C. S. (1973). Pode-se dizer que a resiliência possui as seguintes propriedades básicas: a quantidade de troca que o sistema pode suportar; o grau de auto-organização do sistema; o grau de aprendizado e adaptação do sistema em resposta ao distúrbio.

Já na área da psicologia, a resiliência é entendida como a capacidade de uma pessoa em lidar com seus próprios problemas, vencer obstáculos em diferentes situações, demonstrando se esta consegue ou não viver bem em ambientes sob pressão. Investiga-se o quanto as pessoas poderiam suportar de pressão ou estresse, antes de apresentarem abalo psicopatológico irreversível. Também é observado como as pessoas se abalam e se transformam sob uma pressão, e se recuperam posteriormente.

#### **2.4.2.2. Resiliência na Engenharia e Planejamento Urbano**

Inicialmente, deseja-se buscar os mais variados conceitos de resiliência formulados por diferentes organizações e profissionais, que são aplicados na área da engenharia e da arquitetura.

Conforme a organização independente e sem fins lucrativos CIRIA a resiliência no contexto de infraestrutura (viés da engenharia), é definida como a habilidade de um bem ou conjunto de bens urbanos em continuar a desenvolver seus serviços essenciais, mesmo em situações de ameaças por eventos extremos (tais como uma inundação de grandes proporções), bem como a velocidade de recuperação e habilidade que este possui em retornar às condições normais de funcionamento quando cessada a ameaça.

O *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* define resiliência como a capacidade de um sistema e seus componentes para antecipar, absorver, acomodar, ou se recuperar dos efeitos de um evento perigoso em tempo hábil e eficiente.

Para o PNDU – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, em seu Relatório do Desenvolvimento Humano do ano 2014, que teve por título – Sustentando o Progresso Humano: Redução da Vulnerabilidade e Construção da Resiliência – a resiliência incentiva uma melhor compreensão dos sistemas, a interação dos componentes e as respostas dos atores envolvidos, sendo importante ter em conta a arquitetura interna e lógica dos sistemas, especialmente uma vez que alguns sistemas podem ser eles próprios fontes de vulnerabilidade (PNDU, 2014).

Conforme a Estratégia Internacional para Redução de Desastres (EIRD) da ONU, a resiliência é considerada como a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade potencialmente exposta a ameaças, a adaptar-se resistindo ou mudando, com o fim de alcançar e manter um nível aceitável em seu funcionamento e estrutura. Esta é determinada pelo grau no qual o sistema é capaz de se auto-organizar para incrementar sua capacidade de aprendizagem sobre desastres passados com o fim de alcançar uma melhor proteção futura e melhorar as medidas de redução de risco de desastres.

Já para Freire (2013) no IV Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública em Belo Horizonte, em sua palestra: Vulnerabilidade x Resiliência em Cidades Brasileiras, “Resiliência é a capacidade de absorver ou resistir aos potenciais impactos gerados a partir da ocorrência de um evento natural”. Assim, cidades resilientes são aquelas preparadas para resistir, absorver e se recuperar de catástrofes naturais, prevenindo e minimizando a perda de vidas e bens materiais.

Para o Banco Mundial (2013), a Resiliência Urbana a Desastres é a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposto a riscos para resistir, absorver, acomodar e se recuperar dos efeitos de um perigo pronta e eficientemente através da preservação e restauração de estruturas básicas essenciais. A comunidade resiliente é aquele que pode absorver perturbações, mudança, reorganizar, e ainda reter as mesmas estruturas básicas e fornecer seus serviços. A resiliência urbana pode ser subdividida em quatro componentes: infraestrutural, institucional, econômica e social, brevemente descritas:

- Infraestrutural: refere-se à redução na vulnerabilidade dos sistemas construídos, tais como edifícios (domiciliares, comerciais, industriais, saúde), sistemas de transporte entre outros;

- Institucional: refere-se aos sistemas – governamentais ou não – que administram as comunidades;
- Econômica: refere-se à diversidade econômica de uma comunidade, e em sua capacidade de funcionar após um desastre;
- Social: refere-se ao perfil demográfico de uma comunidade.

No guia Como Construir Cidades Mais Resilientes, desenvolvido pela Estratégia Internacional para Redução de Desastres das Nações Unidas – UNISDR (2012), com foco nos gestores públicos locais, são enunciados os chamados 10 passos para tornar as cidades mais resilientes, sendo estes:

- Quadro institucional e administrativo;
- Recursos e financiamento;
- Avaliação de riscos e ameaças múltiplas;
- Proteção, resistência e melhoria da infraestrutura;
- Proteção de serviços essenciais: educação e saúde;
- Regulação e planejamento do uso do solo urbano;
- Treinamento, educação e sensibilização da comunidade;
- Proteção ambiental e fortalecimento dos ecossistemas;
- Preparação, sistemas de alerta e alarme, respostas efetivas;
- Recuperação e reconstrução das comunidades.

Para este mesmo material, uma cidade considerada resiliente é um local onde os desastres são minimizados porque sua população vive em residências e comunidades com serviços e infraestrutura organizados e que obedecem a padrões de segurança e códigos de construção; possui um governo local competente, inclusivo e transparente que se preocupa com uma urbanização sustentável e investe os recursos necessários ao desenvolvimento de capacidades para gestão e organização municipal antes, durante e após um evento adverso.

É onde as autoridades locais e a população compreendem os riscos que enfrentam e desenvolvem processos de informação com base nos danos por desastres, ameaças e riscos; é onde existe o empoderamento dos cidadãos para participação, decisão e planejamento de sua cidade em conjunto com as autoridades locais; preocupa-se em antecipar e mitigar os impactos dos desastres, incorporando tecnologias de monitoramento, alerta e alarme para a proteção da infraestrutura, dos bens comunitários

e individuais, do patrimônio cultural e ambiental, e do capital econômico; é capaz de responder, implantar estratégias imediatas de reconstrução e restabelecer rapidamente os serviços básicos para retomada de suas atividades (UNISDR, 2012).

A preocupação com a avaliação e mensuração da resiliência é um tema que tem avançado nos estudos das transformações urbanas neste início de século, principalmente com o uso de indicadores e índices como instrumentos de medição.

Entender a capacidade de resiliência como um descritor de dinâmicas em um sistema, prevê inicialmente o conhecimento dos motores de transformações neste sistema (ambientais, sociais, econômicas, governamentais), e depois identificar e conhecer os atributos que provocam os maiores efeitos. De tal maneira que devem ser lembrados os pressupostos que: a resiliência implica em avaliar o estado de preparação (estar a postos para...) e também medir a performance de ação (com vistas a...); resiliência pode se aplicar tanto ao sistema como um todo, como a seções específicas deste; assim quando um sistema é avaliado em subseções, a resiliência obtida por uma destas não confere a mesma capacidade ao sistema como um todo; e por fim a resiliência pode ser incrementada ou reduzida por meio de ações aplicadas sobre o sistema (FOSTER, 2006).

Com vistas a encontrar as variáveis (ambiental, econômica, social e político-institucional) componentes de um indicador ou índice de resiliência, inicialmente tem de ser respondida a pergunta: o que confere resiliência a uma comunidade?

A literatura postula medidas de condicionamento do desenvolvimento, mas também remete para um equilíbrio entre ações de proteção do ambiente e de promoção do desenvolvimento com vistas à criação de comunidades sustentáveis; afirmado-se tal fato como uma das chaves para a conservação e incremento da resiliência. Cutter *et al.* (2008) sugerem quatro dimensões a serem avaliadas para aferir a resiliência.

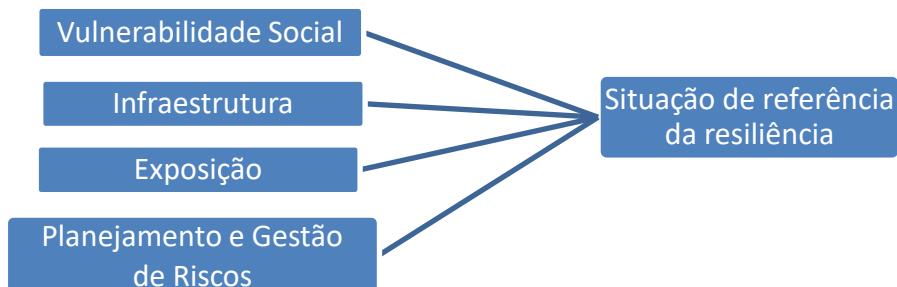


Figura 2.13: Dimensões dos estados de referência para mensuração da resiliência  
Fonte: Adaptado de Cutter *et al.* (2008)

#### **2.4.2.3. Construindo Resiliência Urbana**

É importante entender os benefícios ao se incentivar a construção e/ou aumento de estratégias de resiliência em uma cidade: esta se beneficia com a diminuição de desabrigados, desalojados e mortos quando da ocorrência de catástrofes naturais ou não (por exemplo, inundações e escorregamentos), e é conseguida a redução dos prejuízos sociais e materiais decorrentes de tais situações. Tais efeitos são obtidos quando da aplicação de ações que visam o aumento da capacidade de resistência da infraestrutura física, dos meios de produção e do tecido social, bem como quando ações de adaptação destes sistemas são aplicadas na área urbana.

No Brasil o lançamento da campanha Construindo Cidades Resilientes: Minha Cidade está se Preparando, da Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIRD) da ONU, é uma iniciativa da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) e do Ministério da Integração Nacional. Sua finalidade é aumentar o grau de consciência e compromisso em torno das práticas de desenvolvimento sustentável, como forma de diminuir as vulnerabilidades e propiciar o bem estar e segurança dos cidadãos através de uma urbanização sustentável; pretende-se sensibilizar governos e cidadãos para os benefícios de se reduzir os riscos por meio da implementação dos 10 passos para construir cidades resilientes.

Esta campanha tem tido uma adesão bastante expressiva. No ano de 2014, o Brasil contou com cerca de 280 cidades participantes, perfazendo assim, no país, com maior participação de municípios no mundo. Entre as cidades brasileiras encontram-se participando desde pequenas cidades no interior de praticamente todos os estados até grandes capitais, como Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte entre outras.

Exemplos recentes de desastres naturais têm ocorrido no Brasil, com enchentes e deslizamentos de terra entre os anos de 2008 e 2011 (casos de Santa Catarina, Pernambuco, Alagoas, São Paulo e Rio de Janeiro). Após estudos de avaliação de perdas e danos realizados após estes eventos – onde as estimativas giram na ordem de grandeza de 16 bilhões de reais – a dimensão do desafio de gestão dessas situações pode ser mais bem contextualizada no país (BANCO MUNDIAL, 2012).

Ao analisar o caso de Itajaí em Santa Catarina, pode-se constatar a aplicação de ações de construção da resiliência no sistema urbano. No ano de 2008 o vale do rio Itajaí atravessou um período de fortes chuvas o que levou a uma enchente de grande

proporção na região, que teve como balanço cerca de 20.000 desabrigados e 5 óbitos, já no ano de 2011 outra nova enchente assolou a região, porém neste evento o número de desabrigados foi de menos de 4.000 pessoas e apenas 1 óbito foi registrado. O que levou a essa mudança de quadro? Quais ações entre 2008 e 2011 foram tomadas?

A adoção de um modelo de gestão integrada entre os diferentes setores resultou na construção de uma sociedade mais resiliente e apta a responder à ocorrência de eventos extremos. Algumas das ações efetivadas na cidade de Itajaí foram:

- Melhor estruturação do sistema de defesa civil municipal;
- Integração das diversas entidades governamentais em todas as esferas, através de um Sistema de Comando de Operações e um Grupo de Ações Coordenadas;
- Criação de um sistema de monitoramento do nível dos rios (por via telemétrica, com informações a cada 15 minutos);
- Criação de um serviço de alerta para a população com 36 horas de antecedência;
- Desenvolvimento do plano de contingência com abrigos e logística definida;
- Utilização da Secretaria de Comunicação Municipal para divulgação de boletins oficiais através da mídia local e de redes sociais;
- Projeto de contenção às ocupações irregulares e de obras de macro drenagem;
- Mapeamento da inundação de 2011 e construção de propostas de ações para contenção/mitigação de cheias (FREIRE, 2013).

Entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011 chuvas de grande intensidade deflagraram na região Serrana do Rio de Janeiro o que até o momento é considerado como um dos piores desastres brasileiros dos últimos tempos: as inundações e deslizamentos de terra que vitimaram fatalmente cerca de 900 pessoas, mais de 300 desaparecidos, milhares de desalojados e desabrigados, além de severas perdas econômicas e destruição de moradias e infraestrutura.

Tal desastre se deu em função da conjugação de diversos fatores, a entrada de massas de ar provenientes da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a região serrana, associadas ao uso e ocupação do solo, bem como às chuvas antecedentes e erosões fluviais e pluviais culminaram na situação de diversos deslizamentos de encostas e inundações verificadas; como exemplo, o INMET registrou 166 mm de chuva em Nova Friburgo (mais de 70% do valor médio histórico para o mês). Os municípios de Areal, Bom Jardim, Nova Friburgo, São José do Vale do Rio Preto,

Sumidouro, Petrópolis e Teresópolis decretaram Estado de Calamidade Pública, e outros municípios da região também foram afetados, como Paraíba do Sul, Três Rios, Sapucaí, entre outros (BANCO MUNDIAL, 2012).

Além dos danos às comunidades, conforme visto em Canedo *et al.* (2011) este evento também provocou severos impactos ambientais, com a modificação da geografia e hidrografia da região Serrana. Tanto a macrodrenagem quanto o regime hidrosedimentológico locais foram comprometidos, em função do assoreamento das calhas e alterações no traçados dos rios, do desbarrancamento dos taludes, da degradação das áreas ribeirinhas em função do arraste e deposição de sedimentos, detritos e entulhos.

De acordo com o censo 2010 do IBGE, nos sete municípios que entraram em estado de calamidade pública viviam 713.652 pessoas e, conforme as informações dos AVADANS (relatórios de avaliação de danos) 304.562 pessoas foram diretamente afetadas pelo desastre, o que representa cerca de 40% da população destes municípios. A cidade de Nova Friburgo reportou 180.000 afetados (60% da população atingida); já a população desabrigada se concentrou mais fortemente em Teresópolis (41%), Nova Friburgo (23%) e Petrópolis (17%) (BANCO MUNDIAL, 2012).

As perdas e danos econômicos também foram significativos, impactando diretamente a qualidade de vida dos sobreviventes e as atividades econômicas da região. As perdas e danos totais foram estimados em R\$ 4,8 bilhões – valor este que omite impactos relevantes nos setores da educação e saúde (que não foram considerados em função da indisponibilidade de informações detalhadas). Do montante total R\$ 2,2 bilhões (46%) correspondem aos danos – custos diretos das inundações e deslizamentos – e R\$ 2,6 bilhões (54%) foram estimados em perdas – custos indiretos do desastre. Destas perdas o impacto se concentra principalmente no aspecto social, nos setores habitacional e de infraestrutura (BANCO MUNDIAL, 2012).

Os impactos do desastre na região Serrana não se limitaram as perdas e danos citados, mas também se apresentam como um marco na política de gestão de riscos e desastres no Brasil, pois além das providências imediatas de socorro e apoio à reestruturação das áreas afetadas, ficou patente a necessidade de centralizar esforços e investimentos em prevenção, monitoramento e mitigação de catástrofes de modo a reduzir o número de vítimas e de prejuízos sociais e econômicos. Assim, ainda sob o impacto deste desastre entre 2011 e 2012 foram criados o CEMADEN – Centro

Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – órgão federal que tem como missão realizar o monitoramento das ameaças naturais e pesquisa e inovações tecnológicas em meteorologia, hidrologia, geologia e desastres naturais; e também foi promulgada a lei 12.608/2012 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.

## **2.5.GESTÃO DE RISCOS DE CHEIAS**

### **2.5.1. Conceitos de Risco**

O conceito de risco possui significado variável, de acordo com o contexto em que este se encontra inserido, seja ele social, econômico ou ambiental. Muitas vezes, esta diversidade de definições pode vir a gerar interpretações errôneas, o que dificulta na tarefa de análise de risco. A busca por uma definição única – que abarque todas essas esferas, não é recomendável, devido às dificuldades em se abordar aspectos tão distintos e específicos (ZONENSEIN, 2007).

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 volatilidade inesperada do retorno financeiro, ou a possibilidade de um investimento perder seu valor. No campo da engenharia, o risco está relacionado tanto à probabilidade de ocorrência de um evento adverso, 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 consequências.

1. Medida de dano potencial ou prejuízo econômico, expresso em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis.
2. Probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento adverso, relacionado com a intensidade dos danos ou perdas, resultantes dos mesmos.
3. Probabilidade de danos potenciais dentro de um período especificado de tempo e/ou de ciclos operacionais.
4. Fatores estabelecidos, mediante estudos sistematizados, que envolvem uma probabilidade significativa de ocorrência de um acidente ou desastre.
5. Relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize e

o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos (DEFESA CIVIL, 2009).

Conforme EIRD (Estratégia Internacional para Redução de Desastres), o risco é dado pela probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas – mortes, lesões, propriedades, meios de subsistência, interrupção de atividade econômica – em função de ameaças naturais ou antropogênicas e das condições de vulnerabilidade.

Convencionalmente, o risco é expresso por Risco = Ameaças x Vulnerabilidade. Algumas disciplinas também incluem o conceito de exposição para referir-se principalmente aos aspectos físicos da vulnerabilidade. Mas além de expressar uma possibilidade de dano físico, é crucial reconhecer que os riscos podem ser inerentes, aparecem e/ou existem dentro de sistemas sociais. De tal forma que é importante considerar os contextos sociais nos quais os riscos ocorrem, pois a população não necessariamente compartilha as mesmas percepções sobre o risco e suas causas subjacentes (EIRD, 2004).

O risco é uma função da ameaça (um ciclone, um terremoto, a cheia de um rio, ou o fogo, por exemplo), da exposição de pessoas e bens a essa ameaça, e das condições de vulnerabilidade das populações e bens expostos. Esses fatores não são estáticos e podem ser aperfeiçoados, a depender das capacidades institucional e individual em enfrentar e/ou agir para redução do risco. Os padrões do desenvolvimento social e ambiental podem ampliar a exposição e vulnerabilidade e então ampliar o risco (UNISDR, 2012). Podendo essa relação ser expressa através da equação a seguir.

$$Risco\ de\ Desastres = \frac{ameaça * vulnerabilidade * exposição}{resiliência} \quad (1)$$

No guia Como Construir Cidades Mais Resilientes (UNISDR, 2012) são levantados alguns fatores que são considerados como responsáveis pelo aumento do risco em áreas urbanas, já que estas representam um complexo e denso sistema de serviços interconexos, e como tal, enfrentam um crescente número de aspectos que conduzem ao risco de desastres, alguns destes fatores sendo:

- O crescimento e o aumento da densidade das populações urbanas, o que interfere diretamente nos solos e nos serviços, ampliando as ocupações de planícies costeiras, encostas instáveis, e das áreas de risco;

- A concentração de recursos e capacidade em âmbito nacional, com ausência de fiscalização, recursos humanos e capacidades no governo local, incluindo ordens pouco claras para ações de resposta e de redução de riscos de desastres;
- A governança local fragilizada e com participação insuficiente dos interesses públicos locais no planejamento e gestão urbana;
- Gestão inadequada dos serviços de recursos hídricos, sistemas de drenagem e de resíduos sólidos, podendo promover emergências sanitárias, inundações e deslizamentos;
- O declínio dos ecossistemas, devido as atividades humanas, tais como a construção de estradas, poluição, ocupação de zonas úmidas e a extração insustentável de recursos, o que compromete a capacidade de oferecer serviços essenciais, como, por exemplo, a proteção e regulação contra inundações;
- A deterioração da infraestrutura e uso padrões de construção inseguros, que podem levar ao colapso das estruturas;
- Os serviços de emergência descoordenados, que afetam a capacidade de resposta e preparação;
- Os efeitos adversos das mudanças climáticas, que provavelmente poderão aumentar as temperaturas extremas e as precipitações, com um impacto sobre a frequência, a intensidade e a localização das inundações e outros desastres relacionados ao clima.

#### **2.5.1.1.Risco de Cheias**

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, 2011). 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 consequências.

A componente do risco de cheia relativa à probabilidade pode ser associada ao conceito de tempo de recorrência (ou período de retorno) da chuva que dá origem à inundação (TR). 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 (GOULDBY e SAMUELS, 2005).

A componente do risco relativa às consequências da cheia 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 suscetibilidade do elemento aos danos 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).

O *FLOOD site* possui um interessante esforço na compilação de literaturas relativas aos processos de inundações. Assim buscaram-se também neste material algumas definições do risco de cheia, e com base nas diversas definições, pode-se livremente admitir o risco de cheia como descrito a seguir.

$$\boxed{\mathbf{RISCO = PROBABILIDADE (CHEIA) \times CONSEQUÊNCIAS (CHEIA)}}$$

Esta definição é a preferida entre os cientistas e especialmente entre os engenheiros, que geralmente se esforçam para uma redução da probabilidade de inundação por meio de proteção contra inundações e, por conseguinte, precisa de ser capaz de calcular riscos.

Uma definição alternativa, que também pode ser encontrada na literatura recente, é descrita como:

$$\boxed{\mathbf{RISCO = PERIGO (CHEIA) \times VULNERABILIDADE (SOCIEDADE/ÁREA)}}$$

Esta definição tem sido muitas vezes preferida pelos cientistas sociais e, especialmente, entre os planejadores, que geralmente consideram o perigo como um

dado, e o Ordenamento do Território com potencial de influenciar o comportamento das pessoas com os meios, como forma de se adaptar a estes. Ambas as definições são sintetizadas na figura 2.14.

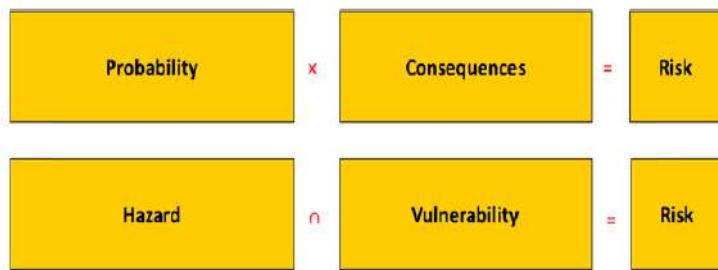


Figura 2.14: Conceitos de Risco de Cheia

Fonte: *FLOOD site* (2009)

### 2.5.2. Gestão do Risco de Desastres

A Gestão do Risco de Desastres pode ser considerada como um conjunto de decisões administrativas, de organização e conhecimentos operacionais desenvolvidos por comunidades com intuito de implementar políticas e estratégias com a finalidade de fortalecer suas capacidades a fim de reduzir os impactos de ameaças naturais e de desastres ambientais e tecnológicos. O que envolve diversos tipos de atividades, incluindo medidas estruturais e não estruturais para evitar (prevenção) ou limitar (mitigação e preparação) os efeitos adversos dos desastres (ISDR, 2007).

A estrutura da gestão do risco de desastres oferece diversas oportunidades para promover um aumento da resiliência em sistemas urbanos, pois esta se baseia na coordenação de diferentes setores. As medidas adotadas devem ser orientadas pelos princípios estabelecidos no Quadro de Ação de *Hyogo* (e foi aceito por 168 países). Uma abrangente estratégia de gerenciamento de riscos de desastre se baseia em cinco pilares: (a) identificar, avaliar e monitorar os riscos; (b) buscar a redução do risco através de medidas de prevenção e mitigação; (c) trabalhar com financiamento de risco de desastres e com seguros; (d) preparação para emergências; e (e) resposta pós-desastre, recuperação e reconstrução, o que leva a uma redução no risco de eventos futuros (WORLD BANK, 2013).

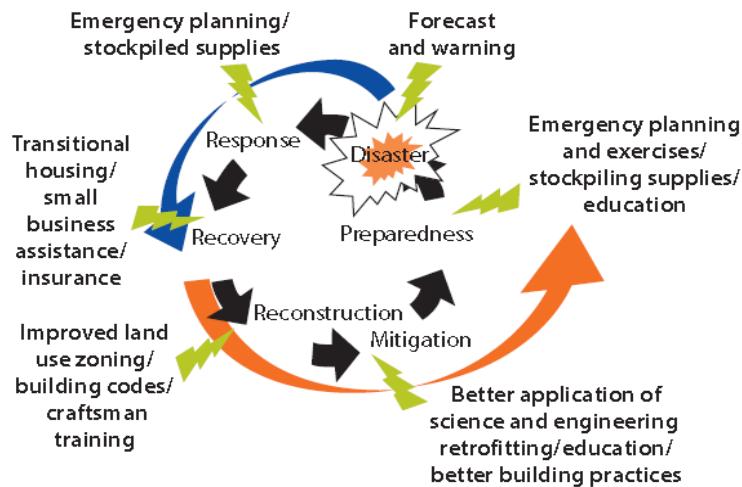


Figura 2.15: Estratégia da Gestão de Risco  
Fonte: WORLD BANK (2013)

No Brasil em conformidade com a Resolução nº 2, de 12/12/1994, do Conselho Nacional de Defesa Civil, a Política Nacional de Defesa Civil previa ações de redução dos desastres, estas que abrangiam quatro fases, a saber: a prevenção de desastres, a preparação para emergências e desastres, a resposta aos desastres e a reconstrução.

Esses conceitos foram internacionalmente atualizados pela Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIRD/ISDR), sendo também alterados no Brasil, a partir da formulação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), aprovada pela Lei n. 12.608, de 10/04/2012. Atualmente a abordagem sistêmica possui cinco pilares inter-relacionados, sendo estes: prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. Essas ações ocorrem de forma multisectorial e nas três esferas governamentais (Federal, Estadual e Municipal), exigindo também ampla participação comunitária. A Figura 2.16, apresenta o Ciclo de Gestão em Defesa Civil.

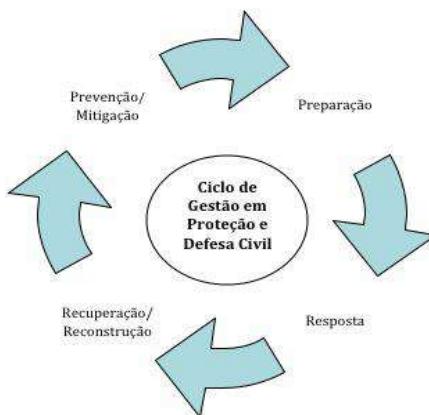


Figura 2.16: Ciclo de Gestão em Defesa Civil  
Fonte: SEDEC/UFSC (2014)

Tais etapas serão brevemente descritas e conceituadas adiante.

## **Prevenção**

Conforme Decreto 7.257/2010, prevenção se refere às ações destinadas a reduzir a ocorrência e a intensidade de desastres, por meio da identificação, mapeamento e monitoramento de riscos, ameaças e vulnerabilidades locais, incluindo a capacitação da sociedade em atividades de defesa civil, entre outras estabelecidas pelo Ministério da Integração (BRASIL, 2010).

EIRD (ISDR em inglês) define prevenção como sendo as atividades que tendem a evitar o impacto adverso de ameaças e os meios empregados para minimizar os desastres ambientais e tecnológicos, dependendo da viabilidade social e técnica e de considerações de custo/benefício, de tal forma que o investimento em medidas preventivas se justifica em áreas afetadas frequentemente por desastres. Neste contexto, a conscientização e a educação pública relacionadas com a redução do risco de desastres, contribuem para mudar a atitude e os comportamentos sociais, assim como para promover uma “cultura de prevenção” (ISDR, 2009).

## **Mitigação**

A mitigação se refere a: “Medidas estruturais e não estruturais empreendidas para limitar o impacto adverso das ameaças naturais e tecnológicas, e da degradação ambiental” (ISDR, 2009).

Na maioria das situações não é possível prevenir todos os impactos adversos das ameaças, mas é possível limitar consideravelmente sua escala e severidade mediante diversas estratégias e ações. Sendo assim, as tarefas preventivas acabam por se transformar em ações mitigatórias (de minimização dos desastres), por essa razão, algumas vezes, os termos prevenção e mitigação (diminuição ou limitação) são usados indistintamente.

## **Preparação**

O conceito de preparação, conforme *International Strategy for Disaster Reduction*, se refere às atividades e medidas tomadas antecipadamente para assegurar uma resposta eficaz ante o impacto de ameaças, incluindo a emissão oportuna e efetiva de sistemas de alerta antecipado, bem como a evacuação da população (ISDR, 2009).

## **Resposta**

Resposta é a prestação de serviços de emergência e de assistência pública durante ou imediatamente após a ocorrência de um desastre, com o propósito de salvar vidas, reduzir impactos sobre a saúde, garantir a segurança pública e satisfazer necessidades básicas de subsistência da população afetada (ISDR, 2009).

A resposta diante de um desastre se concentra predominantemente nas necessidades de curto prazo e, por vezes, é difícil definir uma divisão entre a etapa de resposta e a fase seguinte de recuperação/reconstrução. Por isso, algumas ações de resposta, podem se estender até a fase seguinte.

Conforme o Decreto n. 7.257/2010, a etapa de resposta envolve:

- Ações de Socorro: ações imediatas de resposta aos desastres com o objetivo de socorrer a população atingida;
- Ações de Assistência às vítimas: ações imediatas destinadas a garantir condições de cidadania aos atingidos;
- Ações de Reestabelecimento de serviços essenciais: ações de caráter emergencial destinadas ao restabelecimento das condições de segurança e habitabilidade da área atingida pelo desastre (BRASIL, 2010).

### **Reconstrução /Recuperação**

Pelo Decreto 7.257/2010, observa-se que a reconstrução é definida como ações de caráter definitivo destinadas a restabelecer o cenário destruído pelo desastre (BRASIL, 2010).

A recuperação está relacionada à tomada de decisões e ações após um desastre com o objetivo de restabelecer as condições de vida da comunidade afetada, enquanto se promovem e facilitam as mudanças necessárias para a redução de desastres. A recuperação é uma oportunidade para desenvolver e aplicar medidas para reduzir o risco de desastres (ISDR, 2009).

#### **2.5.3. Gestão do Risco de Cheias**

Inicialmente é preciso que os formuladores de políticas de planejamento e gestão urbana compreendam que os perigos das inundações podem afetar o ambiente urbano. Compreender o perigo requer um melhor entendimento dos tipos e causas de inundações, suas probabilidades de ocorrência, e seu impacto em termos de extensão, duração,

profundidade e velocidade. Sendo esta compreensão essencial para o planejamento de medidas e soluções que podem prevenir ou limitar danos específicos de inundação. Igualmente importante é saber aonde e com que frequência eventos de inundação provavelmente venha a ocorrer, que população e ativos ocupam as áreas potencialmente afetadas, o grau de vulnerabilidade destas pessoas e das edificações, e o que está sendo feito visando à redução do risco de inundação.

Proteger-se contra inundações futuras exige abordagens robustas em relação à gestão de inundações, estas que sejam capazes de lidar com elevados níveis de incerteza e sejam adaptáveis. Com uma sólida compreensão das causas e impactos da inundação urbana, análises da probabilidade futura de inundação e suas incertezas, e o conhecimento tanto dos potenciais quanto das limitações das várias abordagens de gerenciamento de risco de inundação, os formuladores podem adotar uma abordagem integrada em relação ao gerenciamento de risco de inundação.

Uma abordagem integrada da gestão de riscos de cheias urbanas é uma combinação de medidas que podem reduzir com sucesso o risco de acontecimento destes eventos. As medidas de gerenciamento utilizadas ao longo desse processo são tipicamente descritas como estruturais e não estruturais. As medidas estruturais visam a reduzir o risco de inundação controlando o fluxo de água tanto fora quanto dentro dos assentamentos urbanos, trabalhando de maneira complementar as medidas não estruturais que pretendem manter as pessoas seguras contra inundações por meio de um melhor planejamento e gerenciamento do desenvolvimento urbano. Lembrando que uma estratégia integrada abrangente deve necessariamente estar ligada a políticas e práticas de gerenciamento e planejamento urbanos (WORLD BANK, 2012).

Medidas estruturais e não estruturais não se opõem umas às outras, e estratégias mais bem sucedidas devem combinar ambos os tipos. As medidas estruturais vão desde obras de engenharia e estruturas, tais como defesas contra as cheias e canais de drenagem até as mais naturais e sustentáveis medidas complementares ou alternativas, tais como zonas úmidas. Elas podem ser altamente eficazes quando usadas adequadamente, entretanto, estas podem ser suplantadas por eventos fora de sua capacidade de projeto. Muitas medidas estruturais também transferem o risco de inundação, reduzindo o risco em um local, mas aumentando em outro. Estas soluções também podem ter um custo inicial elevado, e em algumas situações podem induzir a

complacência devido a sua presença, o que tem potencial de resultar em impactos aumentados em caso de falhas nas mesmas (WORLD BANK, 2012).

Levando em consideração os fatores descritos, além do fato de sempre haverá um risco residual, acentua-se a necessidade de incorporar medidas não-estruturais a qualquer estratégia. Sempre há uso para medidas não-estruturais que tem por função administrar o risco, e aumentar a capacidade das pessoas em lidar com inundações em seus ambientes.

Medidas não-estruturais geralmente não exigem pesados investimentos, porém com frequência necessitam de bom entendimento do processo de inundaçao e sistemas adequados de previsão meteorológica. As medidas não-estruturais podem ser categorizadas em quatro objetivos básicos:

- Planejamento e gerenciamento de emergência, inclusive alerta e evacuação;
- Maior e melhor preparação, esta que inclui procedimentos de gestão urbana com vistas à redução de risco de cheias;
- Trabalhar com planejamento do uso do solo, que contribui tanto na mitigação quanto na adaptação em situações de cheias urbanas;
- Aceleração da recuperação e uso do pós-inundaçao para aumentar a resiliência do sistema urbano (WORLD BANK, 2012).

Planejamento do uso do solo e regulação de novos desenvolvimentos é um aspecto chave dentro da gestão integrada de risco de cheias urbanas. Principalmente em países em desenvolvimento (como no caso do Brasil), a oportunidade de melhor planejar o crescimento das áreas urbanas é fundamental para evitar que o aumento previsto de futuros impactos das cheias ocorra. A necessidade de integrar a gestão de risco de cheias ao planejamento e gestão de uso do solo urbano é, portanto, importante para minimizar os riscos e gerir seus impactos.

Conforme World Bank (2012) podem ser considerados 12 os princípios chave para implantação da gestão integrada do risco de cheias:

- Todos os cenários de risco de cheias são diferentes, não há cópia entre os processos de gestão;
- Projetos para gestão de cheias devem ser capazes de lidar com um futuro incerto e mutável;

- A rápida urbanização requer a integração da gestão do risco de cheias ao planejamento urbano e a governança regulares;
- Uma estratégia integrada requer o uso de medidas tanto estruturais quanto não-estruturais, e de uma boa métrica para “se obter o equilíbrio correto” entre estas;
- Medidas estruturais de engenharia podem transferir o risco à jusante e à montante;
- É impossível eliminar por completo o risco de cheias, há o risco residual;
- Muitas medidas de gestão de cheias têm múltiplos co-benefícios sobre a gestão do território urbano;
- É importante considerar as consequências ecológicas e sociais ao longo do processo de gestão de cheias;
- A clareza das responsabilidades para construir e dirigir programas de risco de inundação é imprescindível;
- Implementar medidas de gestão de risco de cheias requer a cooperação das múltiplas partes envolvidas;
- É necessária a comunicação contínua para criar consciência e reforçar o processo de preparação;
- É necessário construir um plano para rápida recuperação pós-evento, bem como aproveitar o período pós-desastre para capacitação e promoção da resiliência urbana.

O processo para a Gestão Integrada de Risco de Cheias Urbanas abrange cinco etapas, que vão desde compreender o perigo de inundação e identificar as medidas mais adequadas, até planejar, implementar e finalmente avaliar a estratégia e suas medidas, sendo estas descritas nos estágios apresentados a seguir, bem como na figura 2.17.

- Estágio 1: Compreender o risco é essencial para projetar medidas e soluções que podem evitar ou minimizar os danos decorrentes dos eventos de cheia;
- Estágio 2: Uma abordagem de gestão integrada de risco de cheias consiste em uma combinação de medidas de gestão que, vistas como um todo, podem reduzir com sucesso o risco de cheias urbanas;
- Estágio 3: A gestão de risco de cheias urbanas requer o desenvolvimento de uma estratégia de longo prazo abrangente que deve estar ligada ao planejamento urbano e às política e práticas de gestão;

- Estágio 4: A gestão integrada é uma intervenção multisectorial e multidisciplinar que deve estar sob a responsabilidade de diversos organismos governamentais e não-governamentais;
- Estágio 5: A avaliação é importante para melhorar o projeto, bem como a implementação de medidas de gestão de risco de cheias tanto estruturais como não-estruturais (WORLD BANK, 2012).

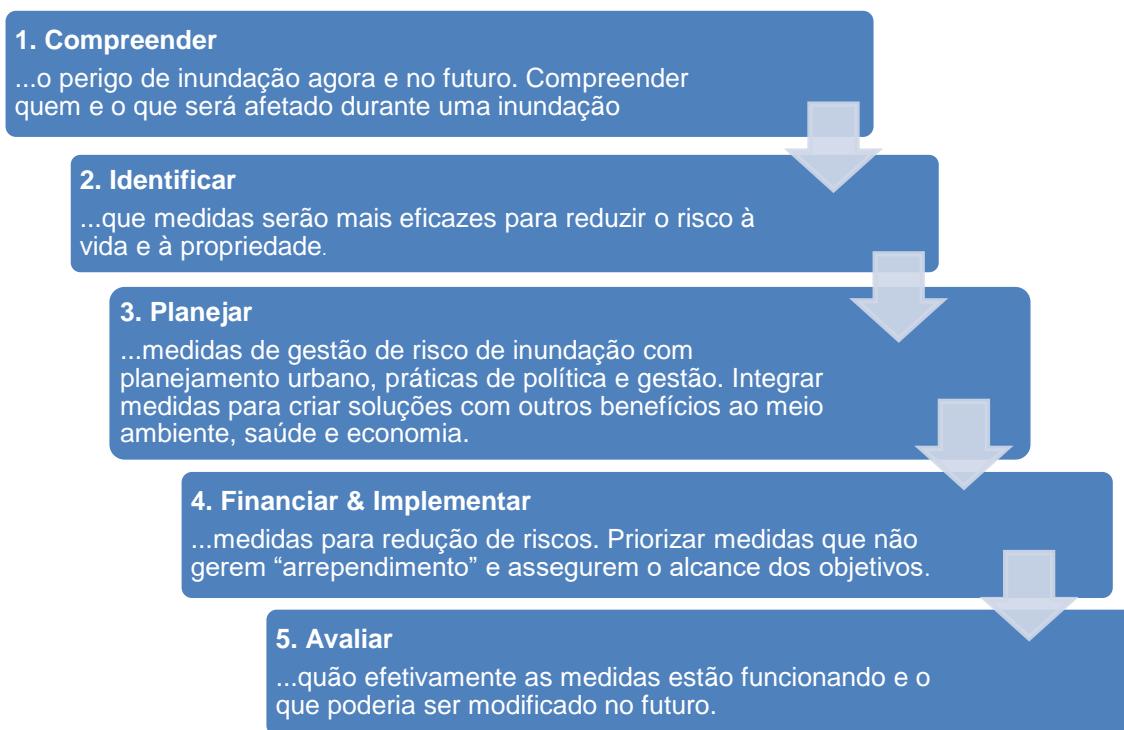


Figura 2.17: Ações para gestão integrada dos riscos de inundações  
Fonte: Adaptado World Bank, (2012)

Ahmad e Simonovic (2006) entendem o gerenciamento do risco de cheias conforme apresentado na Figura 2.18, e descrito adiante, sendo definidas algumas etapas, tais como: planejamento pré-inundação, gerenciamento das emergências (durante o evento de cheia) e a recuperação pós-evento de inundação.



Figura 2.18: Gestão do Risco de Cheias

Fonte: Ahmad e Simonovic (2006)

O planejamento de medidas anterior à inundação é o conjunto de ações tomadas com intuito de planejar e preparar para lidar com eventuais eventos de cheias, citando:

- Análise e comparação de medidas estruturais e não-estruturais com vistas a redução dos impactos;
- Planejamento de sistemas de alerta;
- Implementação de reservatórios de detenção e retenção;
- Simulação de futuras atividades de uso e ocupação do solo em escalas de longo prazo;
- Ações de planejamento urbano;
- Execução de planos de evacuação (AHMAD E SIMONOVIC, 2006).

Durante a etapa de gerenciamento do evento se encontram as medidas de combate direto à inundação, ou seja, as ações e mecanismos utilizados durante o período de tempo em que o evento ocorre, tais como:

- Avaliação periódica da cheia (controle de níveis d'água);
- Controle das respostas reativas;
- Identificação de danos e problemas estruturais;
- Evacuação de áreas e ações humanitárias.

Já a etapa de recuperação após um evento de cheia consiste nas medidas a serem aplicadas no local com vistas à retomada das atividades, bem como recuperação dos danos sofridos na área, consistindo em ações de:

- Avaliação dos danos estruturais e principalmente não estruturais;

- Análise dos impactos ambientais, econômicos e sociais;
- Identificação dos riscos;
- Recuperação das áreas afetadas;
- Planos de mitigação (AHMAD E SIMONOVIC, 2006).

## **2.6. INTEGRANDO SOLUÇÕES DE ENGENHARIA COM OS ASPECTOS URBANÍSTICOS**

A partir da evolução no tratamento das questões hídricas nas cidades descritas nos capítulos 1 e 2, é percebida uma revisão conceitual na temática da drenagem urbana, que vem levando atualmente a uma convergência entre os projetos de drenagem urbana, o planejamento de uso do solo, do desenho da paisagem urbana, bem como uma busca pela valorização da inserção da água nesta. De tal maneira que vem ocorrendo uma busca pela reorganização da cidade para que esta conviva de melhor maneira com suas águas urbanas.

Também no capítulo 2, foram descritas as atuais metodologias propostas nos chamados sistemas de drenagem sustentável e suas variações de nomenclatura e metodologias ao redor do planeta. A linha evolutiva para estas metodologias parte inicialmente da busca do aumento da infiltração e do armazenamento das águas pluviais nas áreas urbanas (na busca por padrões anteriores à urbanização), sendo estas técnicas aplicadas tanto em nível de lote urbano quanto em nível de uma mímica da hidrologia natural. Em sequência estas técnicas passaram a ser integradas também a paisagem urbana, buscando também a inserção e valorização da água dentro do espaço urbano. E em uma visão mais avançada também se trabalha além da visão técnica (ótica da engenharia) com a junção desta a um arcabouço legal maior, onde os aspectos urbanísticos são levados em consideração na busca por um melhor arranjo social, econômico, ambiental e legal.

### **2.6.1. Reorganizando a cidade para conviver com as águas urbanas**

Na publicação *Water Sensitive Urban Design* (CIRIA, 2013) é apresentado como se dá o processo de integração entre a gestão do ciclo da água com o ambiente

urbano construído através de planejamento e desenho urbano, com base em dois princípios básicos:

- Todos os elementos do ciclo hidrológico e suas inter-relações devem ser considerados de maneira conjunta visando alcançar um resultado que sustente um ambiente naturalmente saudável enquanto o mesmo atende às necessidades humanas; o que inclui a gestão da demanda por abastecimento de água potável, as águas residuais e poluição, a precipitação e o escoamento superficial, os cursos d'água e as inundações;
- As considerações a cerca do ciclo da água devem permear por completo os processos de planejamento e projeto; de forma que as soluções para gestão dos recursos hídricos buscam atender às expectativas e aspirações para o projeto de cidades que: respeitem suas características locais, a comunidade e o meio ambiente; otimizam-se as relações custo-benefício da infraestrutura e tipo construtivo, melhorando a qualidade de vida da população e promovendo segurança na oferta de recursos e uma maior resiliência futura.

As medidas para promover uma reorganização da cidade para um melhor convívio com as águas urbanas podem ser aplicadas em diferentes escalas – no lote urbano, ao longo da paisagem urbana, e também inseridas no planejamento urbano – e diferentes são as tipologias a serem aplicadas tais como: telhados verdes, pavimentos permeáveis, reservatórios de armazenamento (em nível de lote, ou maiores em praças e outros locais), trincheiras e valas de infiltração, zoneamento de inundações, plano diretor de drenagem urbana, sistemas de alerta e previsão de cheias, entre outros. Sendo estes brevemente descritos ao longo deste capítulo.

#### **2.6.1.1.Medidas no Lote Urbano**

Iniciativas denominadas LID e WSUD têm sido aplicadas em diversos países, apresentando abordagens bastante parecidas com foco no tratamento do escoamento pluvial em pequena escala, próximo à sua fonte, reaproximando novamente o urbanismo às águas urbanas.

O Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (uma tradução livre de LID) surgiu na década de 80 como uma estratégia de manejo de águas por meio do emprego de planejamento multidisciplinar integrado a práticas de tratamento e controle em pequena-escala para mimetizar o comportamento hidrológico natural em configurações

residenciais, comerciais e industriais. A estratégia avançou principalmente no manejo de águas pluviais, apresentando ênfase na utilização de ecossistemas naturais como infraestrutura, por meio de conservação e aproveitamento de características de solo e vegetação. Aplicações desta abordagem são encontradas nos Estados Unidos, Canadá e Europa, sendo capaz de atender aos critérios estabelecidos em certificações ambientais para edificações quando devidamente empregada (SOUZA *et al.*, 2012).

Práticas de manejo integrado (uma tradução livre de *Integrated Management Practices*, IMP's) são ferramentas utilizadas em LID para tratamento de qualidade e quantidade de águas pluviais. O diferencial está no provimento de amenidades paisagísticas e no controle integrado (ao harmonizar funções variadas em um ambiente comum), havendo aproveitamento e incentivo para dispositivos com estas características (por exemplo: pavimentos permeáveis e telhados verdes). Estes são caracterizados pelo emprego de vegetação para interceptar, evaporar, armazenar, absorver e infiltrar água, nutrientes e sedimentos. IMP's artificiais se limitam à reservação e ao aproveitamento de água (cisternas), e à adaptação de estruturas ao sistema de drenagem (pavimentos permeáveis, telhados e fundações verdes). Em seguida, apresenta-se uma descrição breve de algumas das técnicas citadas (SOUZA *et al.*, 2012).

**Telhados verdes** — Os telhados verdes são conhecidos por converter a superfície de um telhado convencional em um espaço multifuncional, utilizando, para isso, a vegetação. As primeiras companhias especializadas na implantação de telhados verdes surgiram no fim da década de 50 na Alemanha e na Suíça.

De maneira geral, um telhado verde apresenta a seguinte estrutura: camada de vegetação, substrato, geotêxtil, camada de drenagem, camada protetora, impermeabilização, estrutura do telhado. Dentre as vantagens apresentadas por estes dispositivos constam: a melhoria de eficiência energética, da qualidade do ar (retenção de até 85% da poeira) e da estética, redução de temperatura e barulho, controle de águas pluviais e aumento da vida útil do telhado (PSAT & WSU, 2005).

A diversidade de opções de configuração de telhados verdes facilita a sua implantação em proporções crescentes (em 2003, 13,5 milhões de m<sup>2</sup> foram instalados na Alemanha). Estes podem ser classificados em duas categorias: leves e pesados. Telhados pesados são dimensionados com perfil de solo profundo ( $\geq 15$  cm), possibilitando o plantio de arbustos e árvores de maior porte; já os telhados leves são mais comumente empregados, contendo perfis de solo rasos (2,5 a 12,5 cm) e plantas

adaptadas às condições de telhados. Para cargas menores (variando de 75 a 250 kg/m<sup>2</sup>) e com perfis de solo de 2,5 a 12,5 cm, telhados têm sido instalados em reformas nos EUA com pouco ou nenhum reforço estrutural, mostrando possuir vantagens em uma avaliação custo-benefício ambiental e estética (PSAT & WSU, 2005).

Cunha & Mendiondo (2004) realizaram estudo com telhados leves (11,76 m<sup>2</sup>) na cidade de São Carlos (SP), obtendo amenização térmica e economia de custo de instalação (R\$8,49/m<sup>2</sup>), quando da comparação com telhado cerâmico apoiado em laje.

**Pavimentos permeáveis** — Estudos com pavimento permeável iniciaram-se durante a década de 1950 na França (AZZOUT *et al.* 1994). Numa classificação geral os pavimentos permeáveis abarcam a categoria de pavimentos que permite a infiltração através da seção transversal do mesmo. Sob a ótica da engenharia, têm por finalidade principal a redução do escoamento superficial agindo diretamente sobre o hidrograma da bacia onde se encontram instalados, além de diminuir a área impermeável diretamente conectada, e, geralmente apresentam maior eficiência durante chuvas de pequena intensidade (MARTINS, 2012). Este dispositivo consiste da utilização em geral de concreto/pavimento poroso ou blocos de concreto vazados em sua camada superior, uma camada de base (normalmente brita) e uma manta geotêxtil para impedir a migração de material entre camadas. Outros materiais como anéis de plástico para a camada base ou reservatório podem ser também aplicados, os quais apresentam maior capacidade de armazenamento, sem aumento da espessura e do peso da camada, e boa resistência à compressão (ACIOLI, 2005).

Comumente as áreas de tráfego de pedestres, ciclistas e veículos leves (calçadas, estacionamentos e vias residenciais e internas a empreendimentos) são preferencialmente escolhidas para implantação de pavimentos permeáveis, recomendando-se evitar o direcionamento de escoamento de outras áreas para o pavimento, para que o aporte de sedimentos não venha a promover problemas de colmatação. Mais recentemente algumas aplicações com asfalto poroso em via expressa (Arizona, EUA), e com concreto permeável/bloco vazado em áreas industriais sujeitas a tráfego de veículos pesados provaram que estes podem ser estruturalmente eficientes (PSAT & WSU, 2005).

Em 2010 foram executados experimentos com asfalto poroso desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, estes têm sido utilizados em obras na

própria universidade e também ao longo da cidade, sendo os mesmos normatizados pela Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras (SÃO PAULO, 2012).

Estes apresentam como vantagens: redução do volume de água de escoamento superficial, amortecimento dos picos de cheia com aumento do tempo de concentração da bacia, recarga do aquífero, melhora da qualidade da água infiltrada, custo similar ao do pavimento convencional, diminuição do fenômeno de aquaplanagem. E apresentam como desvantagem principal a necessidade de manutenção periódica, com lavagem a vácuo e inspeções regulares; a possibilidade de contaminação do aquífero; bem como a exigência de mão de obra qualificada para execução da obra.

**Coletores de água de chuva** — O aproveitamento de água de chuva oportuniza o aumento da eficiência hídrica no empreendimento, exonerando o poder público ou a concessionária pelo serviço de abastecimento do volume captado. Dentre as alternativas empregadas por LID para coleta e armazenamento de água de chuva encontram-se cisternas, barris de chuva e adaptações de pavimentos permeáveis, telhados verdes e biorretenções (as que apresentam drenos subjacentes). A experiência com o uso de cisternas, especialmente na região Nordeste do Brasil, pode facilitar o desenvolvimento de mecanismos para incentivo, dimensionamento e construção.

#### **2.6.1.2.Medidas na Paisagem Urbana**

Além das medidas aplicadas ao lote urbano – um tratamento da água pluvial mais próximo possível a sua fonte de geração – outras ações ainda podem ser executadas em um escala de trabalho mais ampla, através de ações sobre a paisagem urbana como um todo. Sendo as mais comuns tipologias utilizadas as trincheiras e valas de infiltração, reservatórios de detenção e de retenção, os parques lineares, e também o uso de espaços públicos – como praças e quadras – para armazenamento temporário das águas de chuva. Sendo algumas destas brevemente descritas a seguir.

**Armazena mentos naturais em várzeas** - A regulamentação do uso das várzeas decorre do poder disciplinador do uso do solo pela administração pública. Como essa mesma administração é responsável pela expansão de outros serviços públicos, inclusive pela implantação do sistema viário, pelo menos em tese a ocupação das áreas baixas ou das várzeas está sob seu inteiro controle.

A inundação temporária das várzeas é um fato natural associado ao processo geomorfológico. Ao tentar impedir essa ocorrência, o homem encontra a oposição da

natureza, de forma que as inundações podem se agravar, tanto no próprio local ocupado, como nas áreas a montante e a jusante. E como a administração pública possui a responsabilidade sobre estas, ao se permitir sua ocupação, as autoridades acabam por colocar em risco o desempenho pleno das suas funções. Portanto a regulação do uso das várzeas precisa especificar quais condições naturais devem ser mantidas e quais áreas podem ser utilizadas pela população sem maiores riscos.

**Parques lineares** – Conforme Ahern (1995) o conceito de parque linear é utilizado em áreas de configuração linear que são planejadas, desenvolvidas e manejadas de acordo com propósitos ecológicos, recreacionais, estéticos, culturais, de forma condizente com a sustentabilidade no uso do solo urbano. Sendo estes parques definidos a partir de cinco princípios:

- A configuração espacial é essencialmente linear, o que o diferencia de outros elementos da paisagem urbana;
- A capacidade de união de diferentes elementos da paisagem, atuando assim de forma sinérgica no sistema;
- A multifuncionalidade que estes possuem ao associar usos espaciais e funcionais de maneira compatível as necessidades ecológicas, culturais, sociais e estéticas;
- A sustentabilidade como um pilar básico, e;
- A possibilidade de integração de áreas lineares com outras áreas não lineares a partir de uma estratégia espacial, capaz de gerar benefícios a ambas.

Os parques possuem diversas funções como: drenagem, proteção e manutenção dos sistemas naturais, promoção de lazer, educação ambiental, coesão social, promover estruturação da paisagem urbana, desenvolvimento econômico, entre outras.

Como um dos princípios fundamentais de um parque linear é garantir a permeabilidade do solo nas margens dos cursos d'água – permitindo assim uma maior infiltração na área e por consequência uma vazão menor e mais lenta das águas durante as inundações – estes são apresentados como alternativas tecnológicas de um sistema de drenagem urbana. Tendo um forte apelo sustentável e de valorização do recurso hídrico, ao se apresentar como opção contrastante a comumente utilizada canalização/retificação/impermeabilização e muitas vezes tamponamento do curso d'água. Sendo que este também pode ser aplicado em rios já canalizados com vistas a uma busca por melhorias nas condições ambientais do mesmo.

São Paulo (2006) assume que um parque linear se caracteriza fundamentalmente como uma intervenção urbanística associada à Rede Hídrica, em fundo de vale, mais especificamente na planície aluvial, e tem como objetivos: proteger ou recuperar os ecossistemas lindeiros aos cursos e corpos d'água, conectar áreas verdes e espaços livres de um modo geral, controlar enchentes e prover áreas verdes para o lazer.

Para o mesmo material, um parque linear possui características diferenciadas de um parque convencional por estar basicamente associado à rede hídrica. Nesse sentido, deve-se sempre buscar a implantação de espaços visando dar uma continuidade a caminhos verdes e à cobertura vegetal e arborização ao longo do curso d'água, combinando, quando possível, espaços onde a área do parque pode ser maior (assemelhando-se a um parque convencional), e espaços onde a faixa é mais estreita, limitando-se a áreas de preservação da mata ciliar. A continuidade no tratamento da paisagem ao longo do curso d'água visa não apenas a recuperação ambiental (esta que pode não ser possível em toda a margem e planície aluvial), mas também a valorização dos cursos d'água como elemento estrutural da paisagem urbana.

**Reservatórios de armazenamento** – Os reservatórios de armazenamento foram uma das primeiras concepções alternativas nos sistemas de drenagem urbana a serem utilizadas, sendo as mesmas bastante comuns nos dias atuais. Basicamente a sua finalidade é permitir a distribuição temporal dos volumes excedentes e atenuar os picos de vazão para um determinado limite pré-estabelecido. Inicialmente existem duas tipologias principais de reservatórios: de detenção e de retenção, sendo as demais derivadas destas. Os reservatórios previstos para a contenção, amortecimento ou retardamento das cheias devem ser estudados, de preferência, na concepção do sistema de drenagem da bacia hidrográfica. Em geral apresentam boas possibilidades, com grande potencialidade técnica, econômica e ambiental, principalmente se foram dimensionados prevendo-se aproveitamento para outros usos e considerarem a melhoria da qualidade ambiental da bacia.

*Os reservatórios de detenção* – também chamados de bacias de detenção – fornecem um armazenamento temporário com uma descarga gradual à jusante, sendo este projetado para permanecer sempre seco entre os eventos chuvosos, podendo assim ser utilizado para outras finalidades (NASCIMENTO *et al.*, 1999). O objetivo destes reservatórios é de minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica – provocada principalmente pelo aumento

das áreas impermeabilizadas pela urbanização – redistribuindo assim essas vazões ao longo de um tempo maior, por meio do correto e conveniente armazenamento dos volumes superficialmente escoados, formando assim certo volume útil temporário, o que promove o amortecimento dos picos de cheia desde a entrada do sistema até seu ponto de disposição final (TUCCI, 1997; CANHOLI, 2014).

Os reservatórios de detenção podem ser implantados em diferentes escalas – desde micro até a macrodrenagem, e também em escala de lotes. Salientando que a adoção destes no sistema de macrodrenagem (com o nome popular de piscinões) deve ser concebida com base nos planos diretores de drenagem urbana, após cuidadosos estudos na bacia hidrográfica, já que estes consistem em medidas estruturais corretivas que geralmente afetam em áreas densamente povoadas, com elevados custos de construção e desapropriações, necessitando também dispor de áreas convenientes à sua implantação; tais ações buscando a melhor inserção na paisagem urbana e aceitação pela população local.



Figuras 2.19: (a) e (b) Reservatórios de detenção

Fontes: (a) [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p\\_secao=69](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=69)  
(b) <http://www.aguaspluviais.inf.br/recomendacoes.aspx?id=5&RecId=6>

Já os *reservatórios de retenção* – ou bacias de retenção – são projetados para sempre manter uma lâmina de água mínima em sua parte inferior, promovendo assim a infiltração. Estes também são indicados para o controle da qualidade da água, pois estes implicam em um longo tempo de permanência da água. A implantação destes reservatórios requer uma área superior quando comparado aos de detenção, e também é necessária uma maior manutenção e cuidados; porém sua implementação é recomendada quando em situações de nível freático elevado, e também é desejado um

lago com fins paisagísticos e de recreação (o que tem potencial de facilitar a aceitação do mesmo pela população local) (NAKAZONE, 2005).



Figuras 2.20: (a) e (b) Reservatórios de retenção

Fontes: (a) <http://aguaspluviais.inf.br/recomendacoes.aspx?id=5&RecId=7>;  
(b) [http://www.contracta.com.br/index.php?pagina=reservatorio\\_tc3](http://www.contracta.com.br/index.php?pagina=reservatorio_tc3)

**Reservatório de praça** – Basicamente as bacias de detenção (como algumas praças são assim utilizadas – projetadas ou não para tal fim), são reservatórios de armazenamento de curtos períodos, que reduzem as vazões de pico dos hidrogramas das cheias, aumentando o seu tempo de base. Geralmente, não reduzem o volume do escoamento superficial direto, apenas redistribuem as vazões ao longo de um tempo maior, formando assim um volume útil temporário, com parte do escoamento superficial.

Miguez *et al.* (2007) estudaram alternativas para controle de enchentes na bacia do rio Joana na cidade do Rio de Janeiro. As intervenções propostas foram projetadas com o conceito de paisagem multifuncional, não executando ações na rede de drenagem já existente, buscando controlar os escoamentos gerados de uma forma distribuída. Todas as ações seriam criadas em áreas livres, como parques, praças, ruas, estacionamentos, agregando funções hidráulicas ao projeto de novas paisagens urbanas. Dentre as ações propostas, existe a possibilidade de reurbanização de praças para que estas possam funcionar como reservatórios de detenção temporários.

A figura 2.21 mostra um perfil da alternativa de paisagem multifuncional proposta no projeto da Praça Edmundo Rego, onde esta deverá ser rebaixada em diferentes níveis. Esses níveis diferentes poderiam permitir um escoamento seletivo e temporário de acordo com o tempo de recorrência da chuva, até que esta atinja o topo na chuva de projeto. Nesse sentido, escoamentos frequentes não interromperiam o uso da

praça. Escoamentos mais importantes exigiriam um plano de manutenção e limpeza para ser colocado em prática logo após a chuva (MIGUEZ *et al.*, 2007)



Figura 2.21: Perfil da praça Edmundo Rego em diferentes níveis, atuando como reservatório temporário  
Fonte: Miguez *et al.*, (2007)

Um exemplo de uma praça que hoje é utilizada como reservatório também na cidade do Rio de Janeiro é a Praça Afonso Pena (Figura 2.22). Esta foi projetada e implantada em um nível mais baixo que as ruas de seu entorno, e quando ocorrem precipitações a mesma acaba por receber e acumular a escoamento superficial gerado em toda a área (água esta que estaria alocada nas ruas do entorno da praça, provocando prejuízos ao trânsito local, e em algumas situações também as construções da área). Dependendo da magnitude da chuva, a praça pode até ficar completamente coberta, até que a água atinja o nível da rua. Atualmente a praça funciona como um reservatório de detenção, amortecendo parte da água precipitada e retardando a entrada desta no sistema de microdrenagem, mesmo que originalmente durante seu projeto não tenha sido levado em conta este potencial.



Figuras 2.22: (a) e (b) Praça Afonso Pena em dia ensolarado, e em evento chuvoso funcionando como reservatório de detenção  
Fontes: (a) <https://tijucarj.wordpress.com/page/332/>; (b) Veról (2013)

**Trincheiras de infiltração** – O manual *Assessment of Storm water Best Management Practices* (2008) define trincheira de infiltração como elemento longitudinal com 0,9 a 3,6 m de profundidade, preenchida com agregado de pedra grossa, permitindo o armazenamento temporário da água no espaço vazio do material, para a sua posterior percolação no solo naturalmente permeável, é recomendada sua utilização em áreas de drenagem de 2 hectares ou menos. Essas trincheiras podem contribuir de forma muito interessante com a redução do escoamento superficial, ao armazenar a água por tempo suficiente para que esta seja infiltrada, reduzindo assim os riscos de inundaçao.

Para Peiter & Poleto (2012), as vantagens na utilização dessas estruturas são: redução ou eliminação da rede de microdrenagem local, possibilidade de evitar a reconstrução da rede à jusante em caso de saturação, redução do risco de inundaçao, redução da poluição das águas superficiais, recarga das águas subterrâneas e também uma boa integração com a paisagem urbana. Souza (2002) elenca as principais desvantagens como a necessidade de manutenção frequente, a redução da eficiência com o tempo (colmatação), e o risco de contaminação do solo e do nível freático.



Figuras 2.23: (a) e (b) Trincheiras de infiltração – preparo e aspecto final

Fontes: (a) <http://www.casadaagua.com>; (b) <http://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/>

### 2.6.1.3. Medidas no Planejamento Urbano

A integração entre engenheiros, urbanistas, paisagistas e planejadores urbanos num geral é salutar, pois esta possibilita obter melhores soluções quando se deseja solucionar problemas envolvendo a drenagem urbana, com vistas à viabilidade técnica, ambiental e econômica das soluções propostas. O planejamento urbano deve considerar os aspectos relacionados ao manejo das águas urbanas, dos usos do solo e da definição das tendências nos vetores de expansão da cidade, em vistas da forte inter-relação

existente entre tais fatores. De maneira que os planos setoriais quando desenvolvidos isoladamente, podem vir a produzir resultados inadequados para a sociedade.

São elencadas algumas medidas obtidas via esta importante integração e que são passíveis de serem utilizadas no planejamento urbano.

**Plano diretor de drenagem urbana** – A elaboração de um bom plano de drenagem e manejo de águas pluviais é um assunto complexo, pois logo de início devem ser adotados critérios básicos de planejamento para o sistema de microdrenagem, para o sistema de macrodrenagem e para o programa de desenvolvimento de medidas estruturais e não estruturais. Frequentemente existem interferências com outros planos, bem como restrições orçamentárias, fatores que podem prejudicar a implantação das medidas de controle das inundações. Quando do projeto de novas edificações importantes ou de loteamentos, antes mesmo do processo de licenciamento, o sistema de drenagem deve ser estudado minuciosamente, adotando-se alguns critérios básicos. Nesta etapa de estudo são tomadas decisões que influirão bastante no custo do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais. Se existirem áreas frequentemente inundáveis por processo hidrológico e hidráulico natural, tal fato deverá ser prudentemente considerado antes de se decidir sobre a intervenção prevista.

Quanto mais cedo as questões de drenagem forem examinadas, melhores resultados poderão ser obtidos do plano urbanístico. Ao se estudar tarde o sistema de drenagem, ou se ele for projetado considerando-se objetivos de curto prazo, as repercussões para a sociedade serão sempre negativas. A aquisição de dados e informações para o planejamento de um sistema de drenagem e manejo de águas pluviais é uma fase importante, mas deve sempre desenvolver-se em paralelo com a formulação de esquemas iniciais do sistema, de critérios básicos de dimensionamento, e do exame de problemas de operação e manutenção. Com tal procedimento evita-se a execução de levantamentos desnecessários ou de menor importância.

O sistema de manejo de águas pluviais proporciona benefícios importantes quando bem projetado. A área urbana desenvolve-se de forma ordenada, a salvo de prejuízos ao tráfego de pedestres e veículos provocados por inundações. Alguns benefícios a serem considerados no planejamento conforme São Paulo (2012) são:

- Redução do custo de construção e manutenção das ruas;
- Melhoria do tráfego de veículos durante as chuvas;

- Benefícios à saúde, ao meio ambiente e à segurança urbana;
- Menor custo de implantação de parques e áreas de recreação e lazer;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Menor custo de implantação de projetos habitacionais;
- Rebaixamento do lençol freático e melhoria das áreas de várzeas.

**Zoneamento de áreas de inundação** – Uma questão básica envolvendo o programa de drenagem urbana de uma bacia hidrográfica é: qual é o critério que deve nortear os projetos das obras de controle de cheia, ou em outras palavras, de que forma a região suscetível às inundações deve ser protegida? Qual é o grau de proteção adequado para as zonas inundáveis? Conhecido o estado presente de ocupação e uso do solo urbano em questão, de que forma as inundações ocorrem? Com que frequência? Qual o grau de vulnerabilidade das áreas inundáveis? Quem está na área de inundaçāo?

Um modelo matemático hidrológico/hidráulico bem calibrado é uma ferramenta de cálculo extremamente importante para esse tipo de análise. Técnicas de hidrologia permitem estabelecer cenários de chuva para uma bacia associados a probabilidades de ocorrência ou períodos de retorno. Os cenários de chuva estimados em função dos períodos de retorno permitem estimar quais as zonas de inundaçāo. Desse modo, é possível mapear uma função extremamente importante para o planejamento que é a função de danos versus frequência de inundações.

Pode-se então obter um quadro realista dos impactos negativos sociais, econômicos e ambientais gerados pelas chuvas intensas. Essa função é fundamental para balizar os benefícios advindos das obras de controle de cheias a serem implantadas, uma vez que estes são mensurados pelos danos evitados por estas obras.

O zoneamento de inundações é um item essencial de um bom Plano Diretor de Drenagem Urbana. A calha menor e a várzea inundável dos rios devem ser regulamentadas dentro do zoneamento urbano para que sejam vetados quaisquer tipos de construção. Nas regiões onde ocorrem inundações eventuais poderão ser permitidas atividades de recreação, construção de parques e outros usos onde a inundaçāo não provoque prejuízos ou riscos importantes, conservando-se esta área para uso da população e proteção contra habitações ilegais. É importante lembrar que para um bom planejamento será necessário estabelecer os riscos em termos de probabilidades de ocorrência de determinados níveis de inundaçāo (KRÜGER *et al.*, 1999).

## 3.0 MATERIAL E MÉTODOS

---

### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1.1. Breve histórico da cidade de Cuiabá

Cuiabá é uma cidade de quase 300 anos de criação, localizada no Centro Geodésico da América do Sul – sendo esta localização tão interiorana e estratégica, decisiva para sua manutenção como cidade, que acabou por influenciar na formação da estrutura social da cidade. Sua localização é apresentada na Figura 3.1.



Figura 3.1: Localização de Cuiabá em relação ao Brasil e América do Sul  
Fonte: CUIABÁ (2004)

Os bandeirantes paulistas adentravam o interior do Brasil com propósitos bem definidos – aprisionar índios e buscar riquezas – e o Brasil só possui o tamanho continental atual em função de vilas estratégicas fundadas e mantidas por estes. Este é o caso de Cuiabá (localizada em terras originalmente pertencente aos espanhóis, porém por ocupação efetiva repassada aos portugueses).

Conforme Delson (1997), para Portugal os núcleos urbanos deveriam estar localizados próximos a riquezas minerais e de preferência possuir localização estratégica (que facilitasse a extração das riquezas). Assim em 1719, Cuiabá foi fundada pelo bandeirante Pascoal Moreira Cabral, que descobriu algumas lavras de ouro às margens do rio Coxipó. Algum tempo depois Miguel Sutil descobriu outras e maiores lavras de ouro às margens do córrego da Prainha, consolidando assim a Vila Portuguesa do Bom Jesus de Cuiabá, esta que era a única aglomeração urbana de toda a região oeste do Brasil, conforme visualizado na Figura 3.2.



Figura 3.2: Esboço de Cuiabá em seus primeiros anos de fundação  
Fonte: GARCIA (2010)

A partir desse momento, a corte portuguesa se comprometia com o desenvolvimento do oeste brasileiro, exigindo para tanto que os administradores mantivessem a população nessa vila sob quaisquer situações.

A população local se mostrou instável ao longo dos 100 primeiros anos de fundação: em 1724 já se contava com 3.000 habitantes, e já em 1737 eram 35.000 pessoas; porém as adversidades locais (doenças, combates com indígenas, difícil acesso, e o rigor da administração portuguesa com relação ao ouro) fizeram com que em 1791 a população retraísse para cerca de 15.000 habitantes. Nesse período, o Porto era o único contato com o restante do Brasil – por onde chegavam pessoas e mantimentos, e era escoada a produção de ouro (CUIABÁ, 2004).

Em meados do século XIX, Cuiabá foi elevada a capital da Província de Mato Grosso, o que influenciou na configuração urbanística com a construção de edifícios públicos e no novo crescimento da população. Outro fator histórico impactante foi a Guerra do Paraguai – que novamente isolou a cidade, reduzindo assim sua população.

No período pós-guerra do Paraguai até o início do século XX, com surtos de doenças, e uma estagnação econômica a cidade sempre teve como característica uma instabilidade no crescimento populacional.

Entre as décadas de 30 e 50, com a chamada “Marcha para o Oeste” proposta pelo governo Vargas, novamente a cidade experimentou um leve crescimento populacional, porém este não se consolidou, em função das dificuldades encontradas pelos migrantes – onde muitos chegavam e se desiludiam ao ver que as promessas de enriquecimento fácil, cediam lugar as dificuldades de toda espécie. Esta situação começou a mudar por intervenções governamentais, onde foram abertas as primeiras amplas avenidas da cidade, para permitir o crescimento urbano no sentido oeste e leste (CUIABÁ, 2004).

A partir da segunda metade do século XX com a construção da cidade de Brasília, e das rodovias ligando a nova capital do país a cidades da região norte (estas que passam por Cuiabá), a cidade passa a assumir uma especial importância – antes esta que era o final da linha, agora se constitui em uma cidade medianeira no contexto de urbanização do oeste e norte do Brasil.

Assim, Cuiabá passou por várias transformações rumo ao desenvolvimento, e sua consolidação como ponto de apoio do desenvolvimento da nova fronteira

econômica do país. O crescimento populacional acompanhou essas transformações, na década de 60 a cidade tinha cerca de 58.000 habitantes, e durante a década de 70 – em apenas 5 anos – a cidade saltou de 83.000 para 127.000 pessoas (IBGE, 2007).

Para Steinberger & Ferreira (2003) esse crescimento populacional explosivo nesta época, se deveu a euforia do chamado “milagre econômico brasileiro”, e ao programa de ocupação das fronteiras agrícolas do interior do país, dando origem a implantação de um modelo econômico (sem os devidos cuidados ambientais e com o patrimônio históricos) muito peculiar no estado de Mato Grosso. A frase “integrar para não entregar” foi uma estratégia do Governo Militar para convocar milhares de cidadãos para ocupar o Norte e o Centro-Oeste, estas que eram apresentadas como o novo Eldorado Nacional.

Esses intensos movimentos migratórios fizeram o crescimento urbano em Cuiabá explodir incontrolavelmente durante a década de 70 (já que a cidade era a porta para o “Mundo Novo a ser explorado”), aumentando de maneira brutal a demanda por moradia, infraestrutura e serviços públicos. Mesmo com o provimento de parte destes serviços, não se conseguiu atender toda a demanda, assim cada vez mais a busca por moradia e infraestrutura levava a cidade a urbanizar sua periferia. O adensamento da região central da cidade a tornou impraticável do ponto de vista de tráfego e prestação dos serviços públicos governamentais, assim no final da década um novo eixo de crescimento foi dado à cidade.

Foi reservada uma extensa área desocupada a cerca de 10 km do centro urbano para onde foram transferidas as instalações governamentais estaduais e federais – o chamado CPA, Centro Político Administrativo – e juntamente a este uma grande avenida (Historiador Rubens de Mendonça, ou popularmente chamada de Av. do CPA) foi aberta para ligação do centro a região, bem como conjuntos habitacionais de classe média para atender os trabalhadores e a população em geral que desejasse migrar para área (FREIRE, 1997).

Ainda no ano de 1970 foi implantada a Universidade Federal de Mato Grosso, na região sudeste de Cuiabá (esta ainda parcialmente habitada), que trouxe consigo a pavimentação da Avenida Fernando Correa da Costa, o que impulsionou grandemente a ocupação da região conhecida como Coxipó (FREIRE, 1997).

Um esboço dessa nova configuração urbana para a cidade de Cuiabá é apresentada na Figura 3.3.

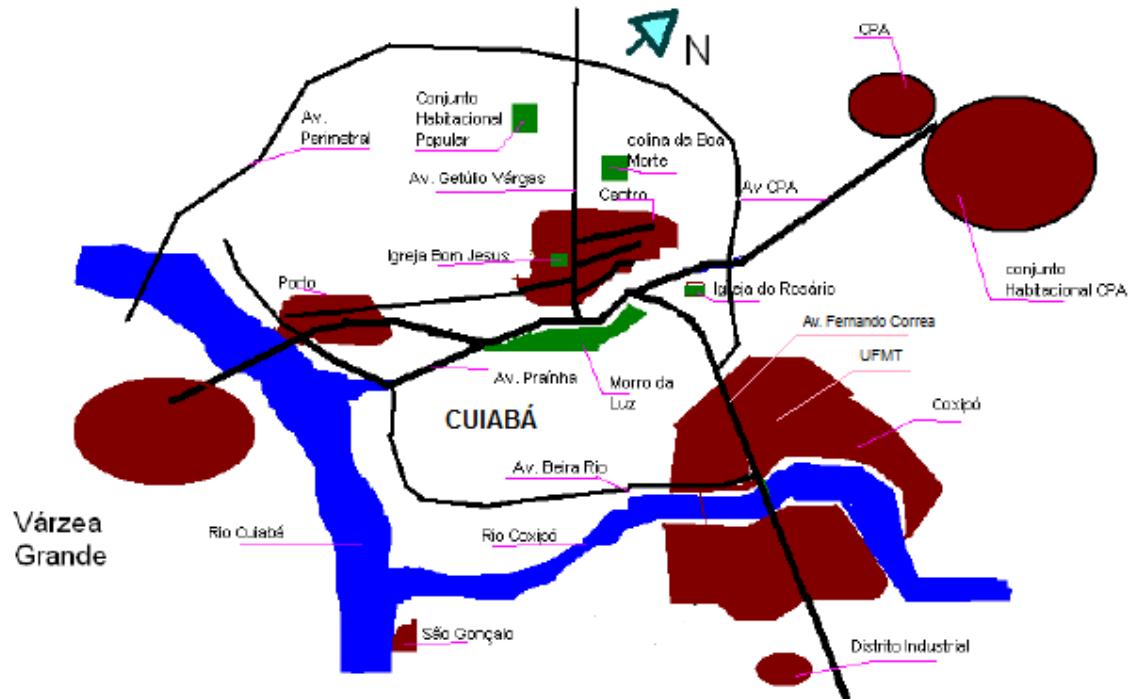


Figura 3.3: Esboço de Cuiabá na década de 1980  
Fonte: Adaptado de GARCIA (2010)

Dessa forma no início da década de 80, a cidade já possuía novos eixos de crescimento urbano estabelecidos, principalmente, em direção as suas regiões norte (CPA) e sudeste (Av. Fernando Correa e UFMT), consolidando assim a descentralização e a formação de novas centralidades, fomentando assim o crescimento de infraestrutura e prestação de serviços nesses novos bairros que foram implantados.

### 3.1.2. Características de Cuiabá

O município de Cuiabá está localizado no Centro Geodésico da América do Sul, possui uma área de 3.358 km<sup>2</sup> e é a capital do estado de Mato Grosso. A sede municipal se encontra a uma altitude de 165 metros, e possui por coordenadas 15°35'56" S e 56°06'01" W.

Cuiabá pertence a Mesorregião Sul-Matogrossense, Microrregião Cuiabá – formada pelos municípios de Cuiabá, Várzea Grande, Santo Antônio de Leverger,

Nossa Senhora do Livramento e Chapada dos Guimarães. O clima local é classificado como Tropical Continental – com temperatura médias na ordem dos 33°C e máximas em torno dos 40°C. A sazonalidade é bastante marcante na cidade, esta possui dois períodos característicos: uma estiagem (de maio a setembro) e o chuvoso (entre outubro e abril); o bioma predominante é o Cerrado (SEPLAN, 2009).

As principais atividades econômicas são o comércio, a prestação de serviço, e com menor destaque o setor industrial. Atualmente a divisão administrativa da cidade se dá conforme a Figura 3.4.

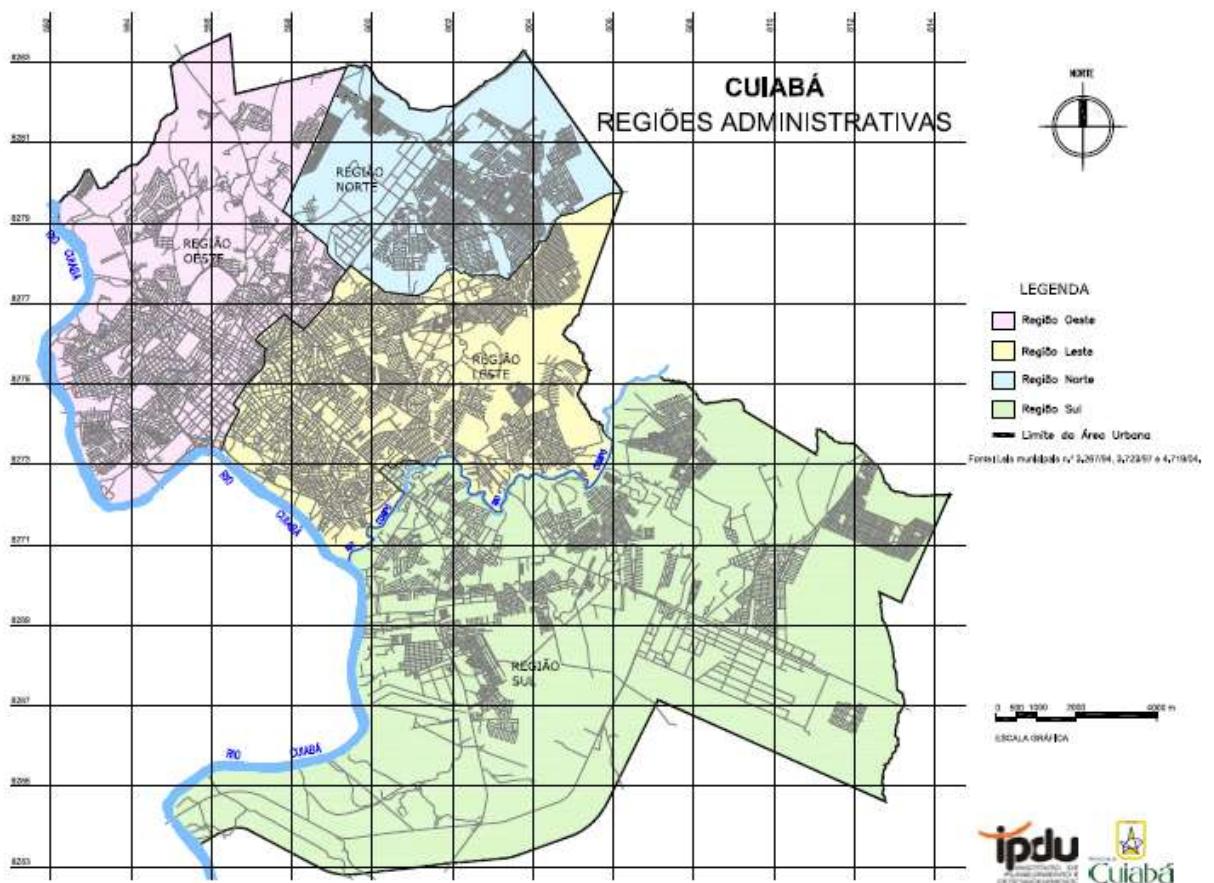


Tabela 3.1: Evolução da população Cuiabana

Ano	População Cuiabá
1950	56.204
1960	57.860
1970	100.860
1980	212.984
1990	380.140
2000	483.346
2010	551.098
2015	580.489

Fonte: IBGE (2007) e IBGE (2015)

A cidade conta hoje com cerca de 580.000 habitantes, e possui uma urbanização de 98% (IBGE, 2015). De maneira análoga a outras cidades, o processo de urbanização ocorreu de forma desordenada (especialmente entre os anos de 1960 a 1980) no que tange ao respeito aos instrumentos legais de ordenamento do solo, bem como é verificada a falta de controle dos gestores públicos no que concerne ao planejamento, implantação e manutenção da infraestrutura urbana necessária ao processo de desenvolvimento.

O Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano (IPDU) de Cuiabá é o órgão público responsável pelo planejamento urbano da cidade, e na Figura 3.5 apresenta a evolução urbana para a cidade desde sua fundação até o período atual. A Figura 3.6 apresenta a densidade demográfica (com base nos dados do Censo 2000).

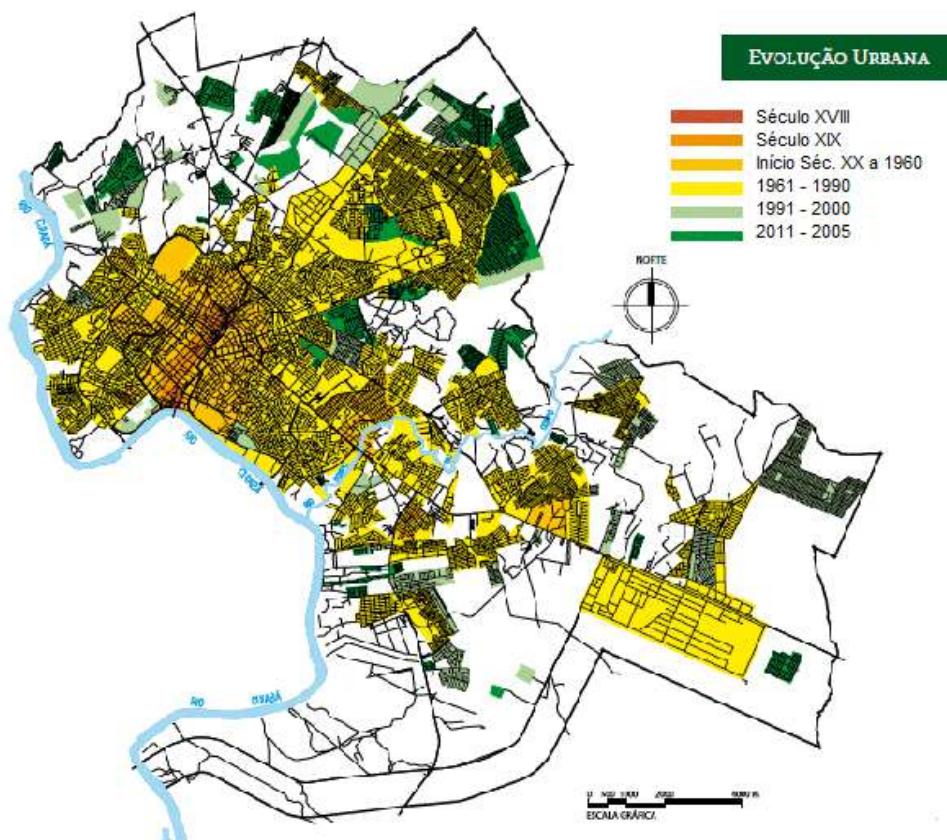


Figura 3.5: Evolução Urbana de Cuiabá  
Fonte: CUIABÁ (2004)

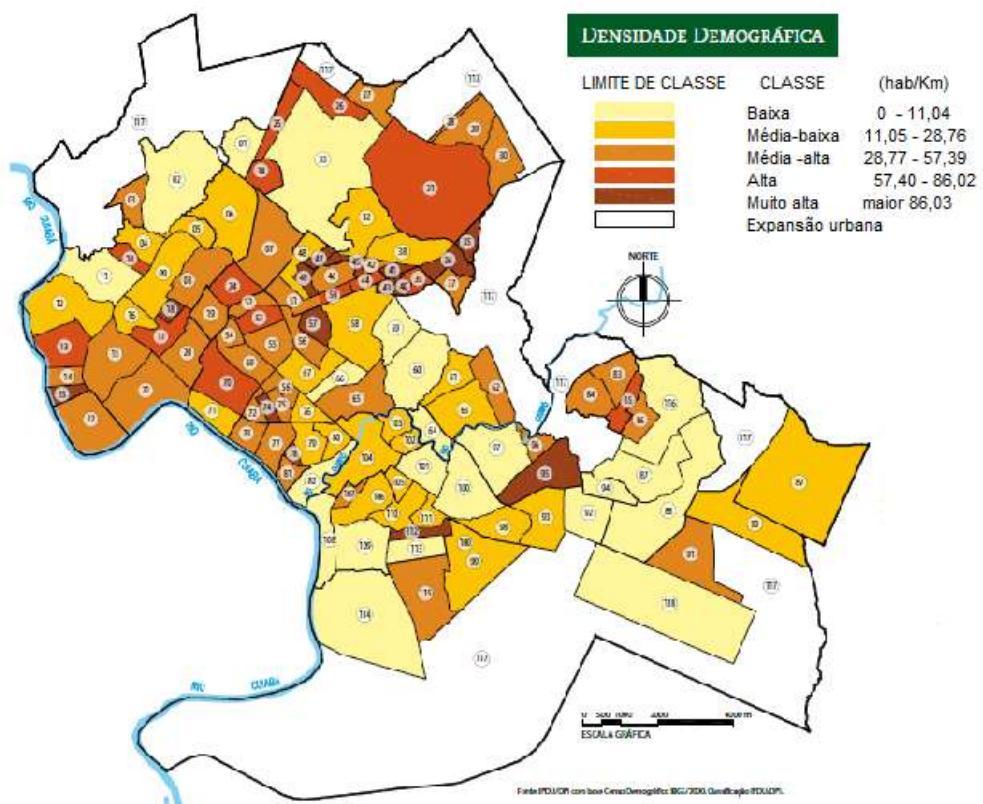


Figura 3.6: Densidade Demográfica de Cuiabá  
Fonte: CUIABÁ (2004)

No que tange ao planejamento urbano em Cuiabá, a cidade possui seu Plano Diretor aprovado por meio da Lei Municipal nº 150/2007, onde são ditadas diretrizes para gerenciamento do sistema de drenagem urbana e a recomendação para elaboração do Plano de Saneamento. Quando da obrigatoriedade da construção do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), pela Lei Federal nº 11.445/2007, este deveria conter resoluções acerca de quatro itens: abastecimento de água, esgotamento sanitário, gerenciamento de resíduos sólidos e gestão de águas pluviais.

Apesar dessa determinação federal, a cidade de Cuiabá aprovou seu PMSB em 2011 apenas abordando a temática de água e esgoto. Em dezembro de 2014, foi apresentado o Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. O Plano Municipal de Drenagem Urbana ainda se encontra em desenvolvimento até a presente data (e sem previsão de finalização). Como ferramenta de gerenciamento do sistema de drenagem urbana, há a Lei Complementar Municipal de Uso, Ocupação e Urbanização do Solo nº 389/2015, que rege o uso do solo, define o zoneamento municipal e informa os coeficientes urbanísticos previstos para a cidade.

Dentro do zoneamento previsto para a cidade de Cuiabá, são consideradas 3 macrozonas na área urbana do município: a Zona Urbana de Uso Múltiplo (ZUM), a Zona de Expansão Urbana (ZEX) e as Zonas Urbanas Especiais (ZUE). Estas últimas são subdivididas em 13 subcategorias: Zonas Predominantemente Residenciais (ZPR), Zonas Centrais (ZC), Zonas de Interesse Ambiental (ZIA), Zona de Interesse Histórico (ZIH), Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), Zonas Especiais de Regularização Específica (ZERE), Zona de Restrição de Gabarito (ZRG), Zona de Alto Impacto (ZAI), Zona Intermediária de Alto Impacto Não Segregável (ZINS), Zonas de Corredores de Tráfego (ZCTR), Zona de Reserva de Corredores de Tráfego (ZRCT), Zonas de Influência de Torres de Comunicação (ZTC), Zona de Segurança Hídrica (ZSH).

Os principais problemas atuais em Cuiabá são de ordem urbanística (com diversos “vazios” desarticulando o tecido urbano); problemas de saneamento básico – falta de água e esgoto, destinação inadequada dos resíduos sólidos, drenagem urbana, além dos problemas ambientais ligados ao Rio Cuiabá; o sistema viário que vem a cada ano se tornando mais saturado; problemas de ordem fundiária com bairros ainda clandestinos e o déficit de moradias; além da violência urbana (comum a todo o país).

### 3.1.3. A bacia hidrográfica do córrego Barbado

Neste estudo, definiu-se como foco, a microbacia do córrego Barbado. Esta completamente inserida na área urbana do município, localizada na porção centro-leste de Cuiabá, possui 13 km<sup>2</sup>, tendo como principal corpo d'água o córrego do Barbado, com cerca de 9 km de extensão, atravessando 25 bairros do município e com sua foz no rio Cuiabá, conforme visualizado através da Figura 3.7 (CUIABÁ, 2009).

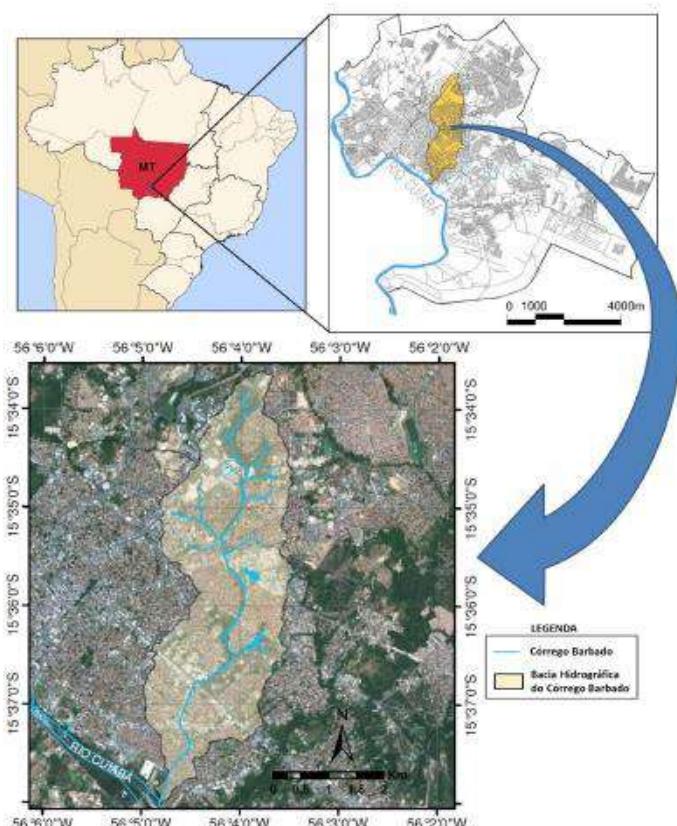


Figura 3.7: Localização da bacia hidrográfica do córrego Barbado  
Fonte: Adaptado de FARIA (2013)

No seu trecho superior, a mesma ainda se encontra com baixo nível de antropização, porém, de seu curso médio até seu curso inferior esta foi praticamente toda alterada. Em sua área se localizam importantes equipamentos comunitários: o Centro Político e Administrativo do Estado, um campi do Instituto Federal de Educação de Mato Grosso, o campus da Universidade Federal de Mato Grosso, além de eixos viários estruturais que interligam a cidade, incluindo os dois maiores *shoppings centers* da cidade, conforme Figuras adiante.



Figura 3.8: (a), (b) Nascente córrego Barbado no parque Massairo Okamura; (c) Trecho médio do córrego, com presença de resíduos e obras nas margens



Figura 3.9: (a) Ocupação urbana ilegal as margens do córrego (trecho médio); (b) Canalização em concreto no trecho inferior do Barbado

Conforme Menezes Filho & Amaral (2014) a cidade de Cuiabá se desenvolveu as margens dos rios Cuiabá e Coxipó, e é cortada por inúmeros cursos d'água (cerca de 30 córregos), onde a ocupação urbana se deu as margens de praticamente todos estes.

As maiores enchentes no trecho urbano do rio Cuiabá nos últimos anos aconteceram em 1974, 1995 e 2006, e estas possuíram significativo impacto na bacia do córrego Barbado. No ano de 1995 foram mapeados pelo IPDU as inundações e alagamentos registrados ao longo do Rio Cuiabá, conforme Figura 3.10 (Comunicação pessoal, Arq. Jandira Maria Pedrollo).

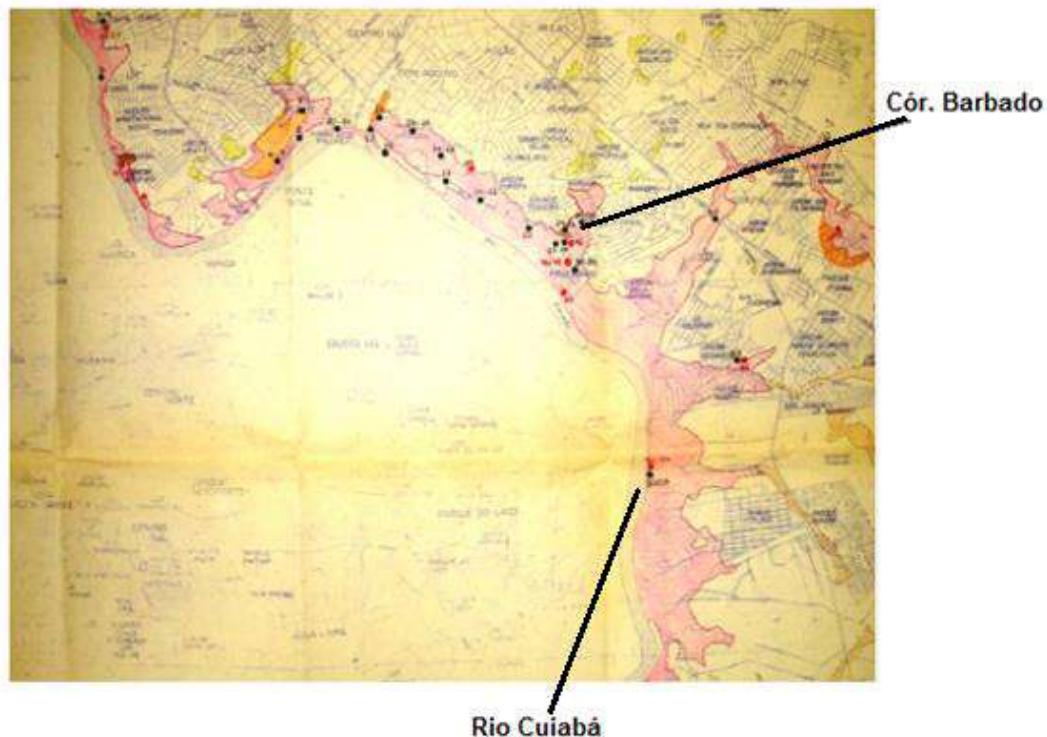


Figura 3.10: Mapa de referência da enchente de fev/1995 no rio Cuiabá  
Fonte: Adaptado de IPDU (1995)

Pelo mapa é possível perceber a mancha provocada pela inundação do córrego Barbado em sua foz junto ao rio Cuiabá, como visualizado na Figura 3.11.

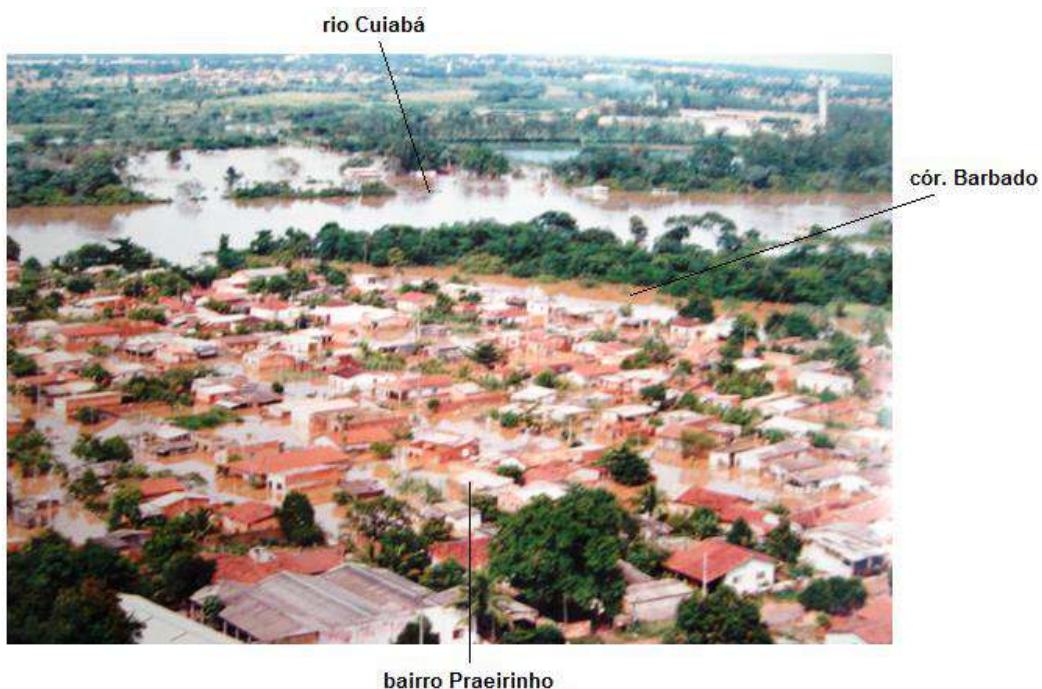


Figura 3.11: Inundação fevereiro/1995 córrego Barbado, rio Cuiabá e bairro Praeirinho  
Fonte: Jandira Maria Pedrollo (comunicação pessoal)

No mês de abril de 2001 uma chuva de grandes proporções (cerca de 160 mm, em menos de 6 horas) provocou desastres generalizados por toda a cidade. A chuva começou pela parte mais alta da cidade em direção as baixadas no entorno do Rio Cuiabá, o que deu origem a enxurradas de alto poder destrutivo em praticamente todos os cursos d'água urbanos, 5.000 desabrigados e 15 mortos foram registrados. Tais impactos também foram sentidos na bacia do Barbado, conforme visto a seguir.



Figura 3.12: (a) e (b) Destrução provocada pela enxurrada no córrego Barbado (abril/2001)  
Fonte: Jandira Maria Pedrollo (comunicação pessoal)

Em 2006 e em 2010, novamente a bacia do Barbado sofreu com eventos de inundação, juntamente a forte elevação do nível do rio Cuiabá – que tem potencial para represamento da foz do córrego – provocando assim efeito de remanso em seu trecho inferior (no bairro Praeirinho e na Avenida Tancredo Neves), algumas fotos destes eventos são apresentadas nas Figuras 3.13 e 3.14.



Figuras 3.13: (a) Córrego Barbado na Av. Tancredo Neves (março/2006); (b) Córrego Barbado no bairro Praeirinho (março/2006)  
Fonte: Jandira Maria Pedrollo (comunicação pessoal)



Figuras 3.14: (a) e (b) Extravasamento do córrego Barbado nos bairros Praeiro e Grande Terceiro  
(fevereiro/2010)

Fonte: <http://olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?id=84004>

Ao longo dos últimos anos, esta bacia vem sofrendo diversas intervenções no que se refere a obras de engenharia (canalizações e retificações no leito do córrego), o que aumenta o potencial para transferir as inundações.

A Lei Municipal nº 232/2011 define a hierarquização viária de Cuiabá. Por ela, a Avenida do Barbado é uma via projetada integrante da “Via Estrutural Circular Norte”. Essa circular atravessaria diversas outras avenidas estruturais da cidade (DOS SANTOS, 2013). A concepção desta via estrutural se deu ainda na década de 1990, pelo IPDU. Na Figura 3.15 é possível notar a importância da execução da Avenida do Barbado, com destaque rubro, quando integrado ao sistema viário.



Figura 3.15: Projeção da Av. do Barbado no sistema viário de Cuiabá e Várzea Grande  
Fonte: Adaptado de Google Earth

O IPDU elaborou um anteprojeto partindo da necessidade de preservação do córrego e a sua incorporação como elemento de composição paisagístico e climático. O cerne da questão era preservar ao máximo o córrego em seu leito natural, preservando padrões de velocidade da água e permeabilidade do solo; mantendo ao máximo a vegetação ciliar, mesmo que na parte baixa da bacia o córrego esteja canalizado, e que em muitos pontos a vegetação necessitasse de recomposição (DOS SANTOS, 2013). A Figura 3.16 apresenta o esboço da via ao longo do córrego Barbado.

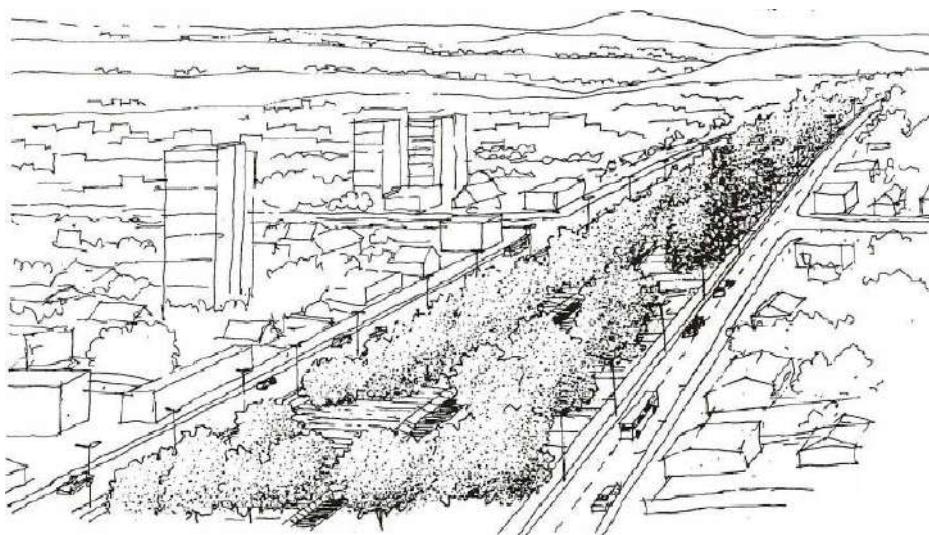


Figura 3.16: Esboço do parque linear margeando o córrego na Av. Parque do Barbado  
Fonte: IPDU (1996)

A oportunidade de implantação da avenida só ocorreu às vésperas da Copa do Mundo de Futebol de 2014. Entretanto, um problema havia ocorrido: apesar da previsão de utilização de espaços públicos às margens do córrego, tais áreas foram ocupadas por empreendimentos de grande porte: condomínio vertical, edifícios residenciais, supermercado de alto padrão, *shopping center*, além de ocupação irregular por populações de baixa renda.

De tal forma que a obra realizada não pôde seguir a proposta urbanística planejada, sendo executada a canalização e tamponamento do córrego do Barbado por 755m. A conformação da obra, para o trecho de canalização fechada, possui duas pistas de rolamento, separadas por canteiro central e margeadas por calçadas e ciclovias (estas últimas canceladas). Abaixo das pistas de rolamento há um bueiro triplo celular de concreto 3x3 m para o recebimento e passagem das águas da bacia do Barbado, conforme Figura 3.17.

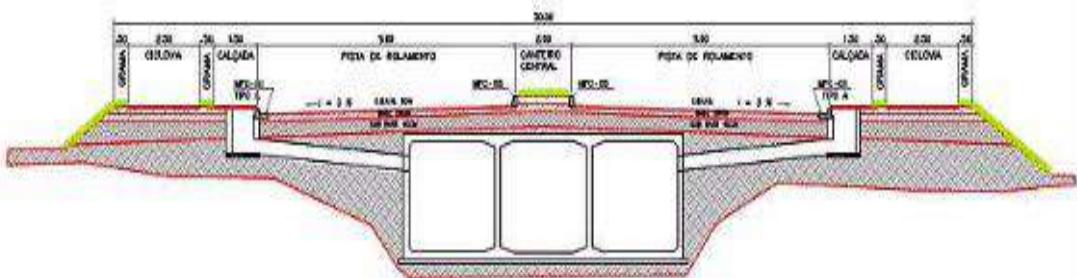


Figura 3.17: Seção tipo de implantação, canalização e pavimentação Av. Barbado  
Fonte: SECOPA (2012)

Na década atual, diversos autores estudaram a problemática ambiental na bacia do córrego Barbado, sendo alguns aqui elencados. Em Carvalho (2013) foi verificada a interferência produzida pela inserção da avenida na bacia do córrego Barbado, através de análise das variações hidrológicas na região. Para tanto foi realizada uma modelagem da geração de alagamentos com uso da ferramenta SWMM. Foram trabalhadas chuvas com períodos de retorno (TR) de 50 e 100 anos, e construídos cenários com a situação pré e pós-implementação completa da obra. No cenário pré-obras, foi verificado um ponto de inundação no córrego no trecho a jusante da Avenida do Barbado (trecho este já canalizado, não coberto) para TR 100 anos. Já para o cenário pós-obras foram verificados alagamentos para ambos TR, o que tem potencial para promover consequências danosas à estrutura da avenida, bem como ao sistema de drenagem como um todo, especialmente no trecho inferior da bacia.

Outro ponto bastante problemático é o entroncamento entre as avenidas Brasília, o acesso à UFMT, e as avenidas Tancredo Neves e Fernando Corrêa da Costa (esta última importante via estrutural da cidade). Historicamente, alagamentos são comuns na área, porém estes se intensificaram em frequência e altura das lâminas de água desde o final de 2013 (conforme apresentado nas Figuras 3.18a e b), o que tem levado a uma maior atenção por parte do poder público.



Figuras 3.18: (a) Av. Fernando Correa congestionada devido alagamento na saída do viaduto no dia 12/12/14; (b) Córrego Barbado no entroncamento das Avs. Fernando Correa e Tancredo Neves no dia 27/10/2013.

Fonte: (a) ZORZO (2015); (b) TEIXEIRA (2013)

Zorzo (2015) desenvolveu um estudo com intuito de elencar os fatores condicionantes na formação dos frequentes alagamentos na área. Foi feita uma análise da interferência da urbanização sobre a geração de escoamento superficial, do zoneamento previsto para área da bacia, das características topográficas da região, e também um mapeamento com registro das bocas de lobo da bacia, avaliando suas condições de manutenção e limpeza. Foi verificado que os principais fatores que condicionam os alagamentos na região são: falhas no sistema de microdrenagem, somadas à inexistência de manutenção e limpeza das bocas de lobo, além da urbanização inadequada de áreas ambientalmente sensíveis a montante do trecho estudado, o que contribui fortemente para geração de escoamento superficial na área de interesse.

Esse quadro retrata a associação das falhas no processo de urbanização e do trato inadequado dos resíduos sólidos, que têm trazido problemas ao sistema de drenagem da bacia. Diversos trabalhos voltados para o entendimento do sistema de drenagem e dos processos ambientais denotam essa importância (VENTURA, 2011; FARIA, 2013; CARVALHO, 2013; ROTHEBARTH *et al.*, 2013; ZORZO 2015).

É unânime entre os autores o apontamento para uma ocupação desordenada na área e a preocupação com os efeitos no sistema de drenagem. É flagrante a interferência da população através da urbanização dos terrenos marginais do curso d'água, bem como da obstrução da parte deste, à medida que partes da seção se apresentam ocupadas por resíduos sólidos, conforme Figura 3.19.



Figura 3.19: (a) e (b) Presença de resíduos no leito do Córrego Barbado

Ventura (2011) descreve a situação da urbanização com contrastes sociais na microbacia, onde esta possui regiões com valores de renda e escolaridade bastante elevados e outros extremamente baixos. Rothebarth *et al.* (2013) analisou e caracterizou amostras de resíduos sólidos nas margens do córrego em três bairros com condições sociais e econômicas distintas. Foram levantados aspectos relativos à percepção da população em relação à situação ambiental do córrego, os quais e revelaram que a maioria da população gostaria que o córrego fosse canalizado; salienta-se que tal resposta pelo desejo de canalização se dá em função do desconhecimento por parte da população de técnicas de manejo de águas pluviais que mantenham o curso d'água em boas condições, já que este é o maior desejo desta mesma população.

## 3.2. METODOLOGIA

### 3.2.1. Determinação das Vulnerabilidades

Para determinação das diferentes vertentes da vulnerabilidade associadas as áreas urbanizadas, foram selecionadas 4 metodologias distintas, buscando representar as componentes ambiental, social, econômica e infraestrutural da vulnerabilidade urbana; cada uma destas com foco em uma característica distinta a ser avaliada. Foram escolhidas 2 metodologias desenvolvidas em pesquisas nacionais e 2 outras de grupos de pesquisa internacionais, sendo todas apresentadas a seguir.

#### **IRC – Índice de Riscos de Cheia**

O Índice de Risco de Cheia (IRC) consiste em uma metodologia de análise multicritério do risco de cheia, que considera não só as propriedades da enchente, mas também as características sócio-econômicas da população e da região afetadas, informações estas conjugadas em um índice quantitativo – variável entre 0 e 100, onde regiões com baixo risco de inundação apresentam valores reduzidos de IRC, enquanto regiões mais críticas recebem valores mais altos (ZONENSEIN, 2007).

A combinação dos fatores utilizados no índice leva a uma avaliação consistente do potencial de perdas tangíveis e intangíveis ocasionadas pela cheia. O índice pode ser utilizado como ferramenta de suporte à decisão, ao permitir uma comparação entre as zonas críticas, sendo útil na hierarquização de obras e na justificativa de alocação de investimentos públicos, na comparação quantitativa de soluções ou cenários para uma mesma região, podendo auxiliar na elaboração de planos diretores de drenagem.

A análise promovida pelo IRC considera tanto a probabilidade de ocorrência dos eventos de cheia, quanto suas consequências (pelo menos as mais relevantes). Para tanto, fatores que influenciam na exposição e na vulnerabilidade ao risco foram considerados, já que sua interação afeta diretamente a estimativa das consequências. A exposição se refere à quantidade dos elementos (pessoas e propriedades) que podem ser afetados por um evento perigoso; enquanto a vulnerabilidade resulta da suscetibilidade a dano e do valor associado a estes elementos – esta representa as propriedades de um sistema, que descrevem seu potencial de ser danificado (ZONENSEIN, 2007).

Tal índice buscou incluir em sua concepção também a possibilidade de avaliação dos danos intangíveis, sendo essa a principal razão pela qual o resultado do índice não é dado em unidades monetárias – uma vez que não há consenso na valoração econômica de certos danos. Devido à avaliação de diferentes fatores (com naturezas distintas) no índice, buscou-se uma equação matemática adequada (que demonstre a interrelação entre as variáveis), bem como o emprego da normalização – para que estes possam ser operados em uma escala comum. E, por fim, para simular o julgamento de cada gestor sobre o risco, cada aspecto possui uma relevância diferenciada (representada pela associação de pesos a cada aspecto). Buscou-se, na construção deste índice, a utilização de informações facilmente disponibilizadas e com aritmética simples, para uma maior aceitabilidade, baixo custo e maior aplicabilidade do índice. Também é interessante uma apresentação da resposta do índice de maneira inteligível (inclusive para o público não

técnico), sendo assim foi bastante conveniente o uso de um SIG, para que o resultado final seja expresso como um mapa de risco, através da distribuição espacial do IRC.

A formulação geral que este possui é dada por:

$$\text{IRC} = \underbrace{\left( \sum_{i=1}^n I_i^{\text{PI}} * p_i^{\text{PI}} \right)}_{\text{PI}}^{q^{\text{PI}}} * \underbrace{\left( \sum_{j=1}^m I_j^{\text{C}} * p_j^{\text{C}} \right)}_{\text{C}}^{q^{\text{C}}} \quad (3)$$

$$0 \leq p_i^{\text{PI}}; p_j^{\text{C}} \leq 1; \sum_{i=1}^n p_i^{\text{PI}} = 1; \sum_{j=1}^m p_j^{\text{C}} = 1$$

$$0 \leq p_i^{\text{PI}}; q^{\text{C}} \leq 1 \text{ e } q^{\text{PI}} + q^{\text{C}} = 1$$

Onde

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

PI: Subíndice propriedades da inundação também variável entre 0 e 100;

C: Subíndice consequências, variável entre 0 e 100.

Como dito, o IRC é composto por dois subíndices, estes que são compostos por diversos indicadores resumidamente descritos a seguir:

- O subíndice PI reune os indicadores que informam as principais características relativas à inundação: a lâmina de alagamento (Cot), o fator de velocidade (FV), que é um produto entre a lâmina e a velocidade do escoamento e representa a capacidade destrutiva do escoamento; e o fator de permanência (FP), este que define lâminas de alagamento por tempo de permanência do alagamento acima destas lâminas, configurando perturbações à pedestres, tráfego e edificações.
- O subíndice C relaciona os indicadores que afetam a vulnerabilidade e a exposição, aumentando a gravidade dos danos: densidade de domicílios (DD), renda (R), tráfego (T) e saneamento inadequado (SI).

A formulação final o IRC é dada pela equação 4:

$$\text{IRC} = \underbrace{\left[ I_{\text{Cot}}^{\text{PI}} * p_{\text{Cot}}^{\text{PI}} + I_{\text{FV}}^{\text{PI}} * p_{\text{FV}}^{\text{PI}} + \underbrace{(0,68 \cdot T_{50} + 0,22 \cdot T_{30} + 0,10 \cdot T_{10})}_{\text{PI}} * p_{\text{FP}}^{\text{PI}} \right]}_{\text{PI}}^{q^{\text{PI}}} \times \underbrace{\left[ I_{\text{DD}}^{\text{C}} * p_{\text{DD}}^{\text{C}} + I_{\text{R}}^{\text{C}} * p_{\text{R}}^{\text{C}} + I_{\text{T}}^{\text{C}} * p_{\text{T}}^{\text{C}} + I_{\text{SI}}^{\text{C}} * p_{\text{SI}}^{\text{C}} \right]}_{\text{C}}^{q^{\text{C}}} \quad (4)$$

## IVS – Índice de Vulnerabilidade Social

Comumente a maior parte das avaliações de políticas de gestão de risco de cheias trabalha com análise da vulnerabilidade física (por exemplo, através profundidade da lâmina formada) de uma determinada área para estimar os prováveis danos provenientes de uma cheia, sem muitas vezes levar em consideração a capacidade de adaptação e resposta de um sistema social. Esta é a abordagem mais tradicional, que vem ganhando novas conotações.

Vários estudos realizados em diferentes países como Estados Unidos, China, Alemanha, Reino Unido, entre outros, tem se dedicado a determinação da vulnerabilidade social de uma determinada área, analisando sua variação temporal e principalmente espacial, bem como definindo suas características principais.

Um estudo realizado pelo Instituto de Estudos Ambientais da Universidade de Amsterdam, na Holanda, decidiu investigar a combinação entre a vulnerabilidade social, o perigo e a exposição à inundação em uma determinada área, a fim de promover lições e melhoramentos para a gestão de risco de cheias (KOKS *et al.*, 2014).

Para as análises de perigo e exposição à inundação, foram utilizados mapas de inundação da Holanda, tanto para as áreas protegidas e não protegidas por diques, e para a integração do potencial de perigo de inundação com a exposição e, posteriormente, com a vulnerabilidade. Foram criadas cinco zonas distintas de perigo de inundação, com distinção de um baixo risco de inundação (1 – 100 cm) a um elevado risco (> 300 cm).

Para a criação do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) para a Holanda, foram utilizados dados demográficos bastante detalhados. Foram utilizadas duas bases de dados: PC6 e Registro BAG. O PC6 consiste em uma área que abrange cerca de 20 endereços. Os dados disponíveis são: total de habitantes, número de famílias monoparentais (mães/pais solteiros), migrantes não-europeus, menores de 14 anos, maiores de 65 anos, número total de famílias, renda média mensal, idade média de construção da propriedade. O Registro BAG (Registro de Endereços e Edifícios) contém dados de coordenadas geográficas, endereços, áreas da propriedade, função da propriedade e ano de construção da propriedade.

Nessa metodologia, a exposição é definida através dos bens e valores localizados nas áreas inundáveis (IPCC, 2012). A densidade do ambiente construído é considerada como parte da exposição componente do risco. Assim, o número de domicílios por cada área PC6 é usado como uma aproximação para a densidade do ambiente construído (nos

Países Baixos, assume-se que cada família ocupa um imóvel, este pode ser uma casa ou um apartamento), assim um maior número de famílias em uma área PC6 representa uma elevada densidade do ambiente construído.

Na literatura internacional as principais características consideradas em estudos de vulnerabilidade social são riqueza, idade e etnia. Neste trabalho desenvolvido na Holanda foram utilizadas as seguintes variáveis: status socioeconômico, idade, etnia (migrantes não europeus), famílias monoparentais e ano de construção da propriedade.

O IVS foi construído com base na metodologia desenvolvida por Cutter *et al.* (2000) e modificada por Wu *et al.* (2002). Para cada variável analisada, um índice de vulnerabilidade foi criado para cada área PC6, e um índice composto foi desenvolvido para cada área PC6 onde foram combinados todos os índices calculados para cada variável. Para determinação deste índice geral por PC6, as variáveis precisam ser normalizadas antes de serem agregadas. E, por fim, para definição do índice de vulnerabilidade para cada variável estudada (IC), trabalhou-se com a razão entre o valor da referida variável em cada PC6 (V6) e o valor máximo desta variável na área total de estudo (VR), conforme as equações a seguir.

$$IC = \frac{V6}{VR} \quad IC = 1 - \frac{V6}{VR} \quad (5.1 \text{ } 5.2)$$

São feitas duas ressalvas, para o ano de construção da residência e o rendimento médio mensal, presume-se que quanto mais recente for a construção e mais alto for o rendimento, o índice de vulnerabilidade resultaria em um valor menor (como calculado pela Eq. 5.2), ou seja, casas mais novas dispõem de melhores recursos de defesa e de informação quanto ao risco para uma melhor preparação, enquanto famílias de maior poder aquisitivo têm maior capacidade de recuperação. Assim no final, o IVS para cada variável irá variar entre 0 e 1, com valores próximos a 1 denotando uma maior vulnerabilidade social. Para calcular um IVS composto para cada área PC6 basta realizar a média aritmética dos índices de vulnerabilidade das variáveis trabalhadas.

Depois de realizados os cálculos, podem-se exprimir os resultados da vulnerabilidade social para cada PC6 em um mapa que demonstra a vulnerabilidade social de uma determinada região, sendo importante notar a variabilidade espacial desta. Em sequência, este mapa pode ser combinado com os mapas provenientes das simulações de alagamento em diferentes níveis para a mesma área, perfazendo assim a relação entre onde se encontram as áreas com maiores probabilidades de alagamentos e

verificando a quantidade de pessoas que apresentam elevada vulnerabilidade social, para que possam ser tomadas as medidas de gestão de risco de cheias com base também na capacidade de adaptação e resposta daquele sistema social perante uma situação de inundação.

### **IVSA – Índice de Vulnerabilidade Socioambiental**

Ao longo do processo de desenvolvimento de sua tese de doutorado, Saito (2011) propôs uma metodologia para a determinação da vulnerabilidade socioambiental de comunidades de baixa renda no município de Florianópolis.

Nesse estudo adotou-se como vulnerabilidade socioambiental a qualidade da população que está exposta à processos do meio físico (como escorregamentos e queda de blocos) com baixa capacidade de resposta e alta exposição física. Assim buscou-se integrar as dimensões social e ambiental para a determinação dos territórios vulneráveis. De certa forma, representa uma avaliação de vulnerabilidade ambiental, onde o componente social dá uma dimensão do ambiente construído.

A análise foi feita utilizando dois componentes principais: um deles delimita a exposição física a que os moradores estão submetidos, sendo a análise desse aspecto sob o ponto de vista da infraestrutura e o acesso a serviços; já o segundo componente é a capacidade de resposta dos moradores, caracterizada pelos aspectos sociais que envolvem a população. Assim, a partir dos resultados advindos desses dois componentes foi analisada a vulnerabilidade das comunidades.

Em seguida, foi elaborada a análise ambiental dos assentamentos precários, buscando associar os elementos do meio físico às intervenções antrópicas. Sendo o conhecimento dessa situação uma premissa básica para elaboração da gestão de risco na área de estudo.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados dados do CADUNICO – cadastro utilizado pelo Governo Federal para identificação e caracterização socioeconômica de famílias que ganham meio salário mínimo por pessoa, ou renda familiar de até três salários mínimos. A opção pelo uso dessa base de dados se deu em função da não viabilidade temporal do uso de dados do censo IBGE 2010.

Quando se discute vulnerabilidade em termos de perdas, pouco se define sobre que tipo e de quem são essas perdas. Neste trabalho buscou-se valorar não só as perdas materiais, mas também a resiliência da comunidade (ou seja, como a comunidade pode

se restabelecer após a ocorrência de um evento), de forma que tal preocupação permeou a escolha das variáveis trabalhadas. Deve-se recordar que a resiliência, conforme definição da UNESCO (Sayers *et al.*, 2013), é uma das facetas da vulnerabilidade, atuando no sentido contrário desta e com uma percepção temporal de certa duração, em que se desenvolve o processo de recuperação.

Como dito anteriormente, a análise de vulnerabilidade foi feita sob a ótica de duas perspectivas. A primeira abrange a exposição física dos moradores, representada em especial pelas habitações e acesso a serviços, sendo considerados os seguintes aspectos: tipo construtivo, iluminação, abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo, posse do domicílio e características do mesmo. O outro aspecto considerado foi a capacidade de resposta da população frente às ameaças. Neste item foram avaliadas: idade, escolaridade, estado civil, raça, situação no mercado de trabalho, número de pessoas no domicílio e tempo de moradia.

Foi aplicada a técnica AHP – Análise Hierárquica de Processos (metodologia que tenta reduzir possíveis discrepâncias na comparação de diversos parâmetros e criar cenários aproximados para decisões multiobjetivas) para a hierarquização da exposição física e da capacidade de resposta dos moradores das comunidades. Posteriormente também foi elaborada a hierarquização da vulnerabilidade socioambiental de cada comunidade. Após a determinação dos índices de cada comunidade, foram selecionadas três faixas de classificação representativas (alta, média e baixa), definidas pelo cálculo do desvio padrão dos valores dos índices.

### **IVSE – Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica**

A gravidade do impacto de um perigo natural em uma sociedade depende, entre outros fatores, da intensidade do perigo, da exposição e da capacidade de resistência dos elementos em risco (por exemplo, de pessoas, edifícios e infraestruturas). Condições sociais e econômicas influenciam fortemente a vulnerabilidade tanto para impactos diretos quanto indiretos.

Eidsvig *et al.* (2014) apresentam um modelo para avaliar a vulnerabilidade socioeconômica em relação aos deslizamentos de terra para uma escala regional de trabalho. O modelo aplica uma abordagem baseada no uso de indicadores diversos. Estes indicadores representam os fatores que influenciam a capacidade de uma comunidade em se preparar para tratar e se recuperar de danos e perdas associadas a

deslizamentos de terra. O modelo proposto inclui indicadores que caracterizam o grupo demográfico, cenário social e econômico, bem como indicadores representando o grau de preparação, a eficácia da resposta e capacidade de recuperação. Embora este modelo concentre-se principalmente sobre as perdas indiretas, ele poderia facilmente ser alargado para incluir indicadores físicos que representam as perdas diretas.

A vulnerabilidade pode ser definida quantitativamente como um número adimensional compreendido entre 0 e 1, como visto antes, que representa o grau de perda dentro de um determinado tempo e espaço. O modelo proposto no estudo de Eidsvig *et al.* (2014), porém, é um método semi-quantitativo que classifica a vulnerabilidade em uma escala relativa entre 1 e 5, onde 1 corresponde a menor vulnerabilidade e 5 para o maior vulnerabilidade. Os indicadores devem ser escolhidos de tal modo que eles coletivamente representem os vários aspectos da capacidade da sociedade para se preparar, tratar e recuperar de um impacto. Na escolha destes indicadores, algumas perguntas foram feitas para definir quais são os elementos vulneráveis, como a sociedade se prepara e responde ao evento, e como esta poderá se recuperar do mesmo, tais como:

- 1. Elementos vulneráveis:** O que e quem são os elementos mais vulneráveis da sociedade? (por exemplo: grupos de pessoas, indústrias, edifícios, infraestruturas).
- 2. Preparação e resposta:** Está a população preparado para uma emergência? (por exemplo: existência de sistemas de alerta, procedimentos de emergência e risco, bem como conscientização da população).
- 3. Recuperação:** Há recursos disponíveis para recuperação? (por exemplo: recursos próprios ou de financiamento para a reconstrução de ambientes físicos destruídos; seguros).

Com base nesses questionamentos, os indicadores escolhidos no modelo proposto foram:

- **Elementos vulneráveis:** Crianças com menos de 5 anos e pessoas acima de 65 anos de idade; pessoas com barreiras linguísticas e culturais; populações rurais que dependem de recursos naturais como a sua principal fonte de renda; densidade populacional; pessoas sem uma educação pós-secundária. Além dos grupos de pessoas vulneráveis, outros indicadores para descrever elementos vulneráveis foram escolhidos como o tipo de habitação e infraestruturas críticas;

- **Preparação e resposta:** A percepção de risco da população; a capacidade de alerta rápido para a sociedade; o rigor no controle da regulação e a extensão dos procedimentos de emergência; a resposta de emergência;
- **Recuperação:** Riqueza pessoal; existência de seguros e fundos de desastre; qualidade dos serviços médicos.

Um sistema de ponderação é introduzido para explicar a relativa importância de cada indicador para o índice total. Definiu-se como características de maior e menor influência, como sendo:

- As características mais impactantes: tipo de habitação, a capacidade de alerta precoce e infraestruturas críticas;
- Moderadamente influente: distribuição etária, a diversidade de renda da população rural, a riqueza pessoal, seguros e os fundos de desastres, sensibilização para os riscos, controle de regulação e resposta de emergência;
- Menos influente: densidade, grupos vulneráveis da população devido à linguagem/barreiras culturais, nível de educação e qualidade dos serviços médicos.

Também é feita a distribuição das correspondentes pontuações de vulnerabilidade (variando entre 1 e 5) para cada indicador trabalhado. Após esta atribuição executada, a pontuação para cada indicador é multiplicada pelo seu peso correspondente, e somados para dar um valor ponderado da vulnerabilidade. A estimativa final do valor agregado da vulnerabilidade é formulada como uma média ponderada conforme a equação a seguir:

$$\frac{\sum \text{TODOS INDICADORES PESO DO INDICADOR} * \text{PONTUAÇÃO DO INDICADOR}}{\sum \text{PESOS}} \quad (6)$$

O modelo proposto foi aplicado em seis estudos de caso na Europa, e tais estudos demonstraram que o método permite uma classificação razoável da vulnerabilidade. A experiência prática alcançada através da aplicação do modelo mostrou que este atende bem a simples usuários com conhecimentos básicos sobre deslizamentos de terra, e também que o mesmo tem como base de dados o acesso a informações provenientes dos censos locais.

### **3.2.2. Aplicação dos índices ao Caso de Estudo**

Inicialmente desejou-se aplicar os índices estudados na bacia do córrego Barbado, para que pudessem ser identificados os potencias, bem como limitações destes índices. Com este aprendizado, a proposta seguinte é a construção de um índice único para avaliação da vulnerabilidade urbana, em suas diversas dimensões, frente a processos de cheias, que seja capaz de reunir as principais informações mensuradas pelos índices aplicados e que possua como características de replicação em quaisquer outras bacias.

Com base na delimitação da bacia hidrográfica do córrego Barbado, foi feita com auxilio de uma ferramenta GIS, a definição dos setores censitários (unidade geográfica de discretização de dados utilizada pelo IBGE) pertencentes a esta bacia (93 setores). Posteriormente a esta etapa, foram selecionados os dados necessários para a construção dos índices da base de dados de setores censitários (IBGE, 2010) para o estado de Mato Grosso, fazendo as adaptações necessárias para aplicação de cada índice estudado. Foi utilizada como ferramenta computacional para construção dos índices o *Microsoft Excel* e, por fim, os índices foram espacializados em mapas construídos sobre a base de *shapes* dos setores censitários de Mato Grosso disponibilizada no site do IBGE.

#### **IRC**

Como nesse estudo se deseja trabalhar com uma análise de vulnerabilidade para uma área específica, então se buscou trabalhar com o subíndice consequências do IRC, já que este intrinsecamente em sua composição busca fazer uma avaliação da vulnerabilidade de um sistema urbano.

Para determinação deste, foi necessário o levantamento das informações básicas para seu cálculo, sendo que a densidade de domicílios, a renda e o saneamento inadequado, são obtidos de maneira simples na unidade geográfica de setor censitário para o ano de 2010, já os dados de tráfego são representados pela hierarquização viária da cidade de Cuiabá e podem ser obtido pelo Perfil Socioeconômico de Cuiabá (2009).

#### **IVS**

Para determinação deste índice novamente as informações foram levantadas na base de dados de setores censitários do censo 2010 do IBGE. Foram utilizados os dados de status socioeconômico, “idade” (menores de 14 anos e maiores de 65 anos) e

“famílias monoparentais” e foi feita uma aproximação para a “idade média de construção da propriedade”, com base no ano de fundação do bairro. Não foi calculado o indicador “migrantes não europeus”, em função de sua inadequação a realidade brasileira.

#### **IVSA**

Também para determinação deste índice foram utilizadas as informações levantadas na base de dados de setores censitários do censo 2010 do IBGE. Foram utilizados os dados: iluminação, abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo e posse do domicílio para as variáveis de exposição física; já para as variáveis de capacidade de resposta foram usados os dados de: idade, escolaridade, estado civil, número de pessoas, raça. As demais variáveis não foram avaliadas em função destas não estarem disponíveis na base de dados de setores censitários. Essa adaptação, restringindo o uso de informações àquelas disponíveis na base do IBGE aumentam a capacidade de replicabilidade do índice.

#### **IVSE**

Também foram utilizadas as informações levantadas na base de dados de setores censitários do censo 2010 do IBGE. Dentro da gama de indicadores utilizados no índice original, foram selecionados aqueles passíveis de serem recalculados com a base de dados brasileira e que poderiam ser adaptados para avaliação da vulnerabilidade frente ao processo de cheias urbanas. Foram utilizados os indicadores: distribuição etária (menores de 5 e maiores de 65); densidade populacional; escolaridade (alfabetizado ou não); renda por domicílio; pessoas responsáveis pelo domicílio com rendimento; tipo do domicílio (casa, casa de vila, apartamento). Alguns destes indicadores foram adaptados à realidade do país.

As alterações foram feitas principalmente nos indicadores: escolaridade – no índice original trabalha-se com a parcela da população com ensino superior, e neste estudo se trabalha com a população alfabetizada ou não; e pessoas responsáveis pelo domicílio com rendimento – em substituição ao indicador de pessoas que dependem de recursos naturais como principal fonte de renda. Tais alterações foram necessárias em função da indisponibilidade dos dados originalmente avaliados, e da possibilidade do uso de informações do Censo Nacional que podem inferir as informações desses indicadores.

### 3.2.3. Construção do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias

Com as informações obtidas a partir da aplicação dos índices selecionados ao caso de estudo, em sequência foi feita a proposição de um índice único, com intuito de avaliar a vulnerabilidade urbana frente a processos de cheias, reunindo em si as informações obtidas separadamente nos índices já trabalhados. Uma preocupação quando da construção deste novo índice foi a busca por sua plena replicabilidade, de forma que foram selecionados indicadores que pudessem ser obtidos por via pública e de livre acesso.

Para melhor entendimento do chamado Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias (IVUC) foi feita uma compartmentalização deste em quatro (4) subíndices, sendo estes: Econômico, Social, Infraestrutura e Ambiental. Para compor estes subíndices foram selecionados dentre a variada gama de indicadores trabalhados anteriormente, aqueles que conseguem representar os efeitos destes subíndices em uma avaliação da vulnerabilidade frente processos de inundação. O uso dos indicadores selecionados foi guiado pela sua não repetição em temas diferentes para evitar duplicação, superposição e, eventualmente, até inconsistências (como, por exemplo, renda alta caracterizando perdas maiores, como no IRC, e a mesma renda alta, com sinal invertido, caracterizando maior capacidade de recuperação, no IVS e no IVSA). Tais indicadores são apresentados conforme esquema a seguir.



Figura 3.20: Detalhamento dos parâmetros avaliados no Índice de Vulnerabilidade Urbana

O índice foi estruturado de maneira qualitativa, assim, para normalização das variáveis foi executada a distribuição das correspondentes pontuações de vulnerabilidade em cinco faixas de variação (variando entre 1 e 5, de um valor mais baixo em direção ao mais alto de vulnerabilidade) para cada indicador trabalhado na

construção do índice, tomando por base a estrutura proposta no IVSE, conforme detalhamento adiante.

## Subíndice Econômico

### Preço m<sup>2</sup>

- 1 – Valor do m<sup>2</sup> é inferior a 15% do m<sup>2</sup> mais elevado da área de estudo
- 2 – Valor do m<sup>2</sup> está entre 15% e 30% do m<sup>2</sup> mais elevado da área de estudo
- 3 – Valor do m<sup>2</sup> está entre 30% e 45% do m<sup>2</sup> mais elevado da área de estudo
- 4 – Valor do m<sup>2</sup> está entre 45% e 60% do m<sup>2</sup> mais elevado da área de estudo
- 5 – Valor do m<sup>2</sup> é superior a 60% do m<sup>2</sup> mais elevado da área de estudo

A especificação do valor do m<sup>2</sup> do terreno pode ser obtida por meio da Planta de Valores Genéricos (PVG) para o ano em exercício para a cidade a ser estudada. Este valor é um indicativo do poder aquisitivo do domicílio, e consequentemente das condições econômicas deste. Ou seja, busca identificar as áreas com maior potencial para perdas econômicas quando em um evento de cheia. As faixas de variação foram pensadas com base no maior valor do m<sup>2</sup> para a área de estudo, e a variação do menor valor em direção ao maior (maior vulnerabilidade) se dá em função da potencialidade de perdas econômicas mais significativas.

### Condições do entorno

- 1 – Condição entorno ideal com 100% cobertura
- 2 – Condição entorno com cobertura variando entre 90% e 100%
- 3 – Condição entorno com cobertura variando entre 75% e 90%
- 4 – Condição entorno com cobertura variando entre 60% e 75%
- 5 – Condição entorno com cobertura inferior a 60%

Para auxiliar na avaliação econômica do setor censitário, juntamente ao valor do m<sup>2</sup> da área foram avaliadas as características do entorno dos domicílios com relação à cobertura de serviços públicos de saneamento, pavimentação e iluminação. Foi feita uma ponderação de pesos na construção da cobertura conjunta dos serviços de saneamento, pavimentação e iluminação. Esta se dá conforme determinações do operador do índice, assim foram aplicados os seguintes valores conforme a equação 7.

$$\text{Cobertura serviços} = (\text{água} * 0,2 + \text{esgoto} * 0,2 + \text{lixo} * 0,2 + \text{pavimentação} * 0,2 + \text{iluminação} * 0,2) \quad (7)$$

Para as faixas de variação partiram-se de um valor ideal de cobertura total dos serviços (menor vulnerabilidade) em direção as faixas aonde as condições vão piorando

(mostrando falhas na cobertura desses serviços públicos, principalmente nos serviços de esgotamento sanitário, pavimentação e abastecimento de água).

## **Subíndice Social**

### **Distribuição etária**

- 1 – Menos de 5% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
- 2 – Entre 5% a 10% da população esta entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
- 3 – Entre 10% a 15% da população esta entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
- 4 – Entre 15% a 20% da população esta entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
- 5 – Mais de 25% da população esta entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos

Segundo dados do IBGE para 2013 a proporção de menores de 10 anos no Brasil constitui 14% da população nacional, e a de idosos (para o IBGE aqueles com mais de 60 anos) já atinge 13% da população; e as estimativas que o órgão faz para o ano de 2060 é que a população de idosos no Brasil chegue aos 27% dos brasileiros. Sabendo que estes grupos se constituem naqueles mais vulneráveis quando de um evento de cheia, definiu-se pelo seu uso como indicador da distribuição etária, as faixas de variação foram selecionadas com base nos dados fornecidos pelo IBGE.

### **Renda domiciliar**

Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar *per capita* (SM – salário mínimo)

- 1 – Maior % Domicílios com rendimento *per capita* > 10 SM
- 2 – Maior % Domicílios com rendimento *per capita* entre 5 a 10 SM
- 3 – Maior % Domicílios com rendimento *per capita* entre 3 a 5 SM
- 4 – Maior % Domicílios com rendimento *per capita* entre 1 a 3 SM
- 5 – Maior % Domicílios com rendimento *per capita* < 1 SM

São duas as principais metodologias para caracterização e definição de classes sociais no Brasil: o chamado critério Brasil criado pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa, e o critério por faixas de salário mínimo proposto pelo IBGE. Como a base de dados utilizada na consecução deste estudo é fornecida pelo IBGE, então se optou por utilizar a divisão em faixas salariais. As faixas de variação propostas no IVUC foram definidas em função da capacidade de reposição que as famílias terão após um evento de cheia, com base no rendimento mensal domiciliar *per capita* destes domicílios.

### **Densidade Populacional**

- 1 – DP <50 hab/km<sup>2</sup>

- 2 – DP entre 50 e 100 hab/km<sup>2</sup>
- 3 – DP entre 100 e 250 hab/km<sup>2</sup>
- 4 – DP entre 250 e 500 hab/km<sup>2</sup>
- 5 – DP >500 hab/km<sup>2</sup>

Este indicador foi pensado como uma forma de avaliar o impacto de uma maior concentração populacional para o aumento da vulnerabilidade de uma área urbana quando em eventos de cheia. Para tanto deve ser avaliada a densidade populacional do município – dado este que pode ser obtido a partir do censo nacional realizado pelo IBGE; para a proposição das faixas de variação a distribuição foi a seguinte: as faixas que representam uma maior vulnerabilidade (valores mais altos) devem possuir os maiores valores de densidade populacional.

Para o caso de estudo proposto nesta Tese – uma microbacia urbanizada na cidade de Cuiabá – os dados obtidos foram os seguintes, a densidade populacional para o município de Cuiabá é de 164 hab/km<sup>2</sup>, porém para a área urbana este valor facilmente ultrapassa os 500 hab/km<sup>2</sup>. Como a micro-bacia em estudo está inserida nas áreas mais populosas da cidade, optou-se por colocar a densidade de Cuiabá como valor médio na faixa de variação e, os extremos da vulnerabilidade possuindo os valores mais altos de densidade populacional.

## **Subíndice Infraestrutura**

### **Tráfego**

- 1 – Hierarquização viária: via local
- 2 – Hierarquização viária: via coletora
- 3 – Hierarquização viária: via principal
- 4 – Hierarquização viária: via estrutural
- 5 – Hierarquização viária: via expressa

A avaliação do tráfego busca verificar os impactos de um evento de cheia sobre o sistema viário da cidade; assim para sua avaliação deve ser utilizada a hierarquização viária proposta para o município, onde as faixas de variação propostas seguem a discretização para os diferentes tipos de vias.

### **Tipo de domicílio**

- 1 – A maioria dos domicílios consiste em apartamentos
- 2 – Há uma proporção semelhante entre apartamentos e casas de vila
- 3 – A maioria dos domicílios consiste em casas de vila
- 4 – A maioria dos domicílios consiste em casa

## 5 – Praticamente a totalidade dos domicílios consiste em casas

A avaliação do tipo de domicílio busca refletir a maior ou menor vulnerabilidade que estes possuem para a entrada de lâminas d’água em seu interior. Quanto maior a quantidade de casas de somente um pavimento esta vulnerabilidade é maior. O que já não acontece com as chamadas casas de vila ou condomínios de kitinetes (denominação comum em algumas cidades do país) – onde comumente apenas as primeiras casas ou aquelas situadas no pavimento térreo vão sofrer os efeitos da cheia – comportamento este que também se repete para os apartamentos.

### **Presença de escolas e hospitais**

- 1 – Não há presença de centros de ensino e nem de hospitais
- 2 – Há presença de no mínimo 1 centro de educação infantil
- 3 – Há presença de no mínimo 1 centro de ensino de nível fundamental
- 4 – Há presença de no mínimo 1 centro de ensino de nível médio
- 5 – Há presença de no mínimo 1 centro de saúde, hospital ou centro universitário

Escolas e hospitais consistem em equipamentos comunitários importantes para a dinâmica social da população, sendo estes altamente impactados e necessários em eventos de cheia. Hospitais podem ficar inacessíveis quando de uma cheia, ou mesmo serem atingidos por esta, o que também acontece com as escolas. Assim, estes se constituem em agentes indutores do aumento da vulnerabilidade local com relação a eventos de cheia.

Para criação das faixas de variação, consideraram-se os raios de influência de cada equipamento comunitário, como referência foi utilizada a informação preconizada pelo Instituto de Planejamento Urbano do Distrito Federal e o Plano Diretor do município de Goiânia (Lei complementar 171/2007), onde: centro de educação infantil (raio de influência máximo) = 300 m; centro de ensino de nível fundamental = 1500 m; centro de ensino de nível médio = 3000 m; centro de saúde = 5000 m; hospital e centro universitário = influência regional.

## **Subíndice Ambiental**

### **Esgotamento Inadequado**

- 1 – Até 20% dos domicílios possuem esgotamento inadequado
- 2 – Entre 20% e 40% dos domicílios possuem esgotamento inadequado
- 3 – Entre 40% e 60% dos domicílios possuem esgotamento inadequado
- 4 – Entre 60% e 80% dos domicílios possuem esgotamento inadequado

## 5 – Mais de 80% dos domicílios possuem esgotamento inadequado

Para avaliação do chamado “esgotamento inadequado” foram somados todos os lançamentos em fossas (sépticas ou negras), vala, rio, mar, entre outros e os locais sem nenhum tipo de esgotamento. Considerando-se como adequado somente o esgoto coletado pela respectiva rede de esgotamento sanitário. Faz-se uma observação com relação à inserção das fossas como inadequadas, esta escolha se deu em função de que estas quando corretamente construídas precisam ser seguidas por um filtro anaeróbio para que possuam eficiências de remoção de DBO e sólidos variando entre 40% e 80% (o que ainda não atende plenamente a legislação vigente) e, como não há um controle tecnológico sobre a construção destas, não se pode assegurar sua eficiência como medida de saneamento.

Na definição das faixas de variação do indicador, pesou o fato do esgotamento sanitário ainda se constituir em um gargalo no saneamento ambiental brasileiro, assim muitas cidades ainda apresentam altos valores de inadequação dos serviços, e quanto maiores forem estes valores, maior é o impacto gerado por este ao sistema de drenagem, e consequentemente maior a vulnerabilidade da área aos eventos de cheia.

## Resíduos Sólidos

- 1 – Mais de 90% dos domicílios possui coleta de resíduos sólidos
- 2 – Entre 90% e 80% dos domicílios possui coleta de resíduos sólidos
- 3 – Entre 80% e 70% dos domicílios possui coleta de resíduos sólidos
- 4 – Entre 70% e 60% dos domicílios possui coleta de resíduos sólidos
- 5 – Menos de 60% dos domicílios possui coleta de resíduos sólidos

De maneira semelhante ao indicador anterior, foi avaliada a conformidade na prestação dos serviços de coleta de resíduos sólidos. Para o IBGE, os resíduos sólidos podem ser: coletados, queimados, enterrados ou dispostos a céu aberto. Assim foi considerado como adequado o domicílio onde havia coleta formal de lixo prestada pelo poder público.

De posse dessa informação foram definidas as faixas de variação do indicador. É feita uma observação quanto da escolha dos valores utilizados na faixa de variação, pois a situação da coleta de lixo já está mais bem equalizada no Brasil quando em comparação à coleta de esgoto.

O equacionamento final proposto para o cálculo do índice tem base em um produtório de um somatório, conforme equação 8 a seguir.

$$\text{IVU} = \left\{ [I_{Ce}^E p_{Ce}^E + I_{m^2}^E p_{m^2}^E]^{qE} \times [I_{De}^S p_{De}^S + I_R^S p_R^S + I_{Dp}^S p_{Dp}^S]^{qS} \times [I_T^I p_T^I + I_{Td}^I p_{Td}^I + I_{EH}^I p_{EH}^I]^{qI} \times [I_{Ei}^A p_{Ei}^A + I_{Rs}^A p_{Rs}^A]^{qA} \right\} \quad (8)$$

Onde

IVU: Índice de Vulnerabilidade Urbana;

$I_{Ce}^E$ : indicador Condições do entorno, associado ao subíndice Econômico;

$p_{Ce}^E$ : peso associado ao indicador Condições do entorno;

$I_{m^2}^E$ : indicador Preço m<sup>2</sup>, associado ao subíndice Econômico;

$p_{m^2}^E$ : peso associado ao indicador Preço m<sup>2</sup>;

$qE$ : peso associado ao subíndice Econômico;

$I_{De}^S$ : indicador Distribuição etária, associado ao subíndice Social;

$p_{De}^S$ : peso associado ao indicador Distribuição etária;

$I_R^S$ : indicador Renda, associado ao subíndice Social;

$p_R^S$ : peso associado ao indicador Renda;

$I_{Dp}^S$ : indicador Densidade populacional, associado ao subíndice Social;

$p_{Dp}^S$ : peso associado ao indicador Densidade populacional;

$qS$ : peso associado ao subíndice Social;

$I_T^I$ : indicador Tráfego, associado ao subíndice Infraestrutura;

$p_T^I$ : peso associado ao indicador Tráfego;

$I_{Td}^I$ : indicador Tipo de domicílio, subíndice Infraestrutura;

$p_{Td}^I$ : peso associado ao indicador Tipo de domicílio;

$I_{EH}^I$ : indicador Escolas e Hospitais, subíndice Infraestrutura;

$p_{EH}^I$ : peso associado ao indicador Escolas e Hospitais;

$qI$ : peso associado ao subíndice Infraestrutura;

$I_{Ei}^A$ : indicador Esgotamento inadequado, associado ao subíndice Ambiental;

$p_{Ei}^A$ : peso associado ao indicador Esgotamento inadequado;

$I_{Rs}^A$ : indicador Resíduos sólidos, associado ao subíndice Ambiental;

$p_{Rs}^A$ : peso associado ao indicador Resíduos sólidos;

$qA$ : peso associado ao subíndice Ambiental.

### **3.2.4. Ferramenta de Modelagem Hidrodinâmica - MODCEL**

As bacias hidrográficas urbanizadas tendem a possuir um elevado potencial para a produção de áreas inundáveis. A partir do momento que a água sai do sistema de drenagem, os caminhos que o escoamento toma são dependentes tanto dos padrões de urbanização quanto da topografia local (podendo inclusive diferir do fluxo da água no sistema de drenagem convencional). Assim a água passa a “caminhar” por ruas e calçadas, invade parques, estacionamentos e edificações; em casos extremos, onde a microdrenagem não funcione (ou inexista) por falhas de manutenção ou subdimensionamento, por exemplo – o que não é incomum – alagamentos podem se formar mesmo sem que aconteça extravasamento da rede de macrodrenagem. De forma que para conseguir representar a natureza dos escoamentos durante as inundações urbanas, recomenda-se o uso de um modelo matemático capaz de representar o comportamento da água no meio urbano.

A modelagem matemática de grandes planícies de alagamento por meio de um esquema de células de escoamento foi proposta inicialmente na década de 1960 para o delta do Rio Meckong a pedido da UNESCO (Miguez, 2001). Esta metodologia teve como primeira aplicação brasileira a proposta de Miguez (1994) para o Pantanal Mato-grossense. Já em Miguez (2001) esta temática foi expandida com as adaptações necessárias para uma abordagem destinada a áreas urbanas.

Um importante fator a ser considerado na modelagem matemática de áreas urbanas, é que dever ser possível representar a bacia hidrográfica como um sistema, para que sejam incluídas as variações temporal e espacial inerentes às áreas urbanizadas, para que a modelagem permita a simulação de ações isoladas e/ou integradas sobre a bacia. Com o conceito de células de escoamento é possível dividir uma bacia hidrográfica em compartimentos homogêneos que trocam água entre si, compondo assim uma superfície integrada e sua respectiva rede de escoamento.

Assim, o chamado MODCEL – Modelo de Células – proposto por Miguez (2001) passou a ser utilizado em diversos estudos, sendo alguns destes: Zonensein (2007), Sousa (2010), Rezende (2010), Jacob (2013), Veról (2013), Ribeiro (2015), Barbedo (2016), Guimarães (2016), Miranda (2016), Garrido Neto (2016) entre outros. A apresentação feita do MODCEL é baseada nos trabalhos acima descritos.

## **Descrição Conceitual MODCEL**

O MODCEL é um modelo de células de escoamento capaz de simular distintos cenários hidrológicos e hidráulicos, partindo do princípio que uma bacia hidrográfica ou o território urbano podem ser subdivididos em um conjunto de compartimentos homogêneos – que arranjados em grupos, ou mesmo isoladamente – sejam capazes de representar uma paisagem e reproduzir os padrões de escoamento da mesma.

Os conceitos fundamentais que regem o MODCEL são que a bacia deve ser subdivida em diferentes células (ou compartimentos) homogêneas que possuem ligações entre si, e o escoamento entre as células é definido com base em relações hidráulicas unidimensionais capazes de representar as trocas de vazões entre as células – equações estas definidas com base no padrão topográfico e de urbanização da região.

Este modelo hidrodinâmico é considerado como um modelo Quasi-2D, uma vez que mesmo trabalhando com relações hidráulicas unidimensionais (como a equação de Saint-Venant por exemplo), é capaz de representar o escoamento de forma bidimensional pela zona de inundação. Inclusive o modelo é apto para representar a troca de vazões entre células superficiais e células subterrâneas (representando assim as galerias de drenagem urbana). Como resposta da modelagem, os resultados podem ser utilizados para delimitar as manchas de inundação resultantes como resposta do sistema de macrodrenagem urbana a um determinado evento hidrológico.

Assim como em qualquer modelo que busque representar a realidade são elencadas hipóteses básicas inerentes ao mesmo, de maneira análoga, as premissas básicas para o Modelo de Células são as seguintes:

**1** – A natureza pode ser representada por compartimentos homogêneos, interligados, chamados células de escoamento. Assim a cidade e sua respectiva rede de drenagem deve ser dividida em células que formam uma rede bidimensional de escoamento, a partir de relações unidimensionais de trocas;

**2** – Cada célula deve se comunicar com as células vizinhas, estas que são arranjadas em um esquema topológico constituído por diferentes grupos. Assim uma célula de um determinado grupo só pode se comunicar com as células deste mesmo grupo, ou dos grupos imediatamente inferior e superior.

**3** – Todas as características de cada célula são associadas a um ponto de referência locado nesta célula – ponto este denominado *centro de célula* – local

onde se considera passar o escoamento. Salienta-se que este centro não necessariamente refere ao centro geométrico da célula. O padrão geral do escoamento na área modelada é dado em função da ligação entre os centros de todas as células.

**4** – O escoamento entre as células pode ser calculado com base nas leis hidráulicas já conhecidas, tais como, a equação dinâmica de Saint-Venant (completa ou simplificada), equação de escoamento sobre vertedores, equações de escoamento através de orifícios ou de bueiros, entre outras.

**5** – O perfil da superfície livre na célula é considerado como horizontal e, a área desta superfície depende da elevação do nível da água no interior da mesma.

**6** – As seções transversais do escoamento são tomadas como seções retangulares equivalentes – simples ou compostas.

**7** – O volume de água contido em cada célula está diretamente relacionado com o nível da água no centro desta.

**8** – A vazão entre duas células adjacentes, em qualquer tempo, somente é função dos níveis de água no centro dessas células.

Assim a capacidade de representação do modelo é, portanto, obtida por meio dos tipos e dos arranjos entre as células e como de dá a ligação entre estas.

No Modelo de Células existem cinco tipos de células pré-definidos para descrever fisicamente os escoamentos. Estas que possuem usos recomendados considerando algumas características das células, tais como: a capacidade de armazenamento, as cotas limitadoras, a possibilidade de receber água da chuva, entre outras. A seguir são brevemente apresentados esses tipos de células.

**Rio ou canal** – célula por onde se desenvolve o escoamento principal da drenagem em superfície livre, estas podem ser de seção simples ou composta, porém na maioria das vezes com representação aproximadamente retangular.

**Galeria** – célula de escoamento subterrâneo, que complementa a rede de drenagem principal; estas representam os trechos de rio cobertos e também as grandes galerias da macrodrenagem.

**Planície urbanizada** – as células representam os escoamentos acontecendo em superfície livre por sobre as planícies passíveis de alagamento; as áreas de

armazenamento conectadas entre si; as áreas de encosta para recepção e transporte da água da chuva precipitada sobre as mesmas para o interior da área modelada; as áreas de vertimento da água de um canal para as ruas circunvizinhas e vice-versa; e também as áreas de transposição de margens quando é preciso interligar as ruas marginais a um rio, e estas se comunicam através de uma ponte ao nível da rua.

**Superfície plana não urbanizada** – representam os escoamentos superficiais nas áreas aproximadamente planas simulando áreas naturais de armazenamento; assim como áreas de encostas com pequenas áreas de armazenagem, ou ainda áreas que funcionem como soleiras espessas de vertedores.

**Reservatórios** – estas células simulam o armazenamento da água em um reservatório temporário, que dispõe de uma curva cota x área, onde se conhecendo a variação das profundidades é possível conhecer o volume armazenado. Este tipo de célula cumpre o papel de simular o amortecimento de uma determinada vazão afluente; podendo também ser utilizada para representar áreas irregulares do terreno que possuam a função de reservatório (mesmo que formalmente estas não o sejam).

A Figura 3.21 apresenta esquematicamente os tipos de células passíveis de representação em uma paisagem tipicamente urbana.

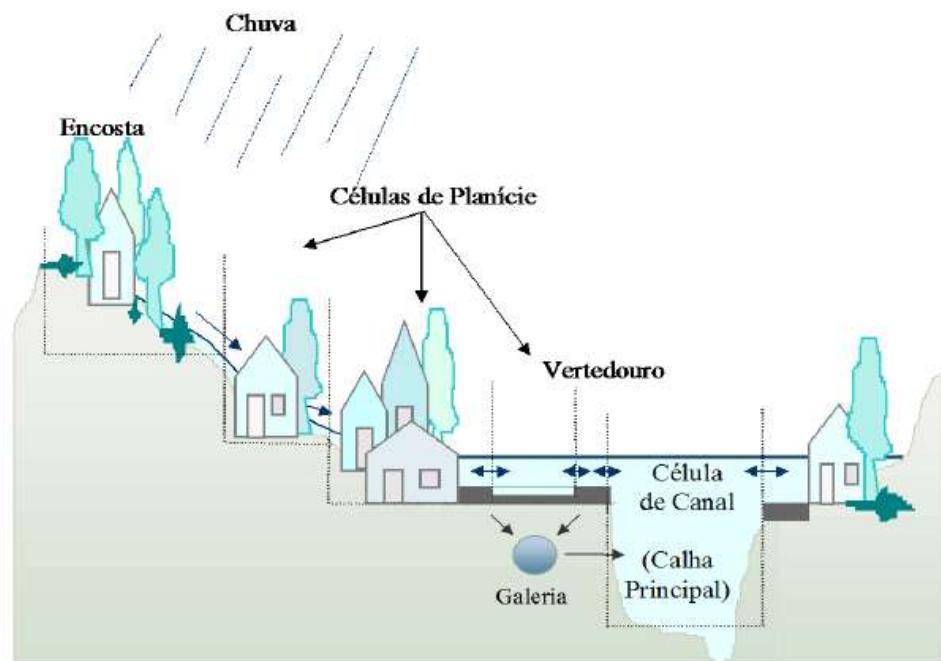


Figura 3.21: Representação esquemática de uma área urbana dividida em células  
Fonte: Miguez (2001)

Para conseguir simular como se dá a realidade do escoamento da água nas áreas urbanizadas, existe no MODCEL uma série de tipos de ligações entre as células, ligações estas que estabelecem como se dá as relações hidráulicas de comunicação entre as células. Sendo estas hidraulicamente descritas adiante.

**Planície** – indicada para o escoamento em superfícies livres sem os termos de inércia, são apropriadas para simular a comunicação entre duas células de planície vizinhas cujo escoamento ocorre através de ruas e alagamentos.

**Canal** – indicada para escoamento à superfície livre, considerando a equação dinâmica de Saint-Venant incluindo os termos de inércia, é utilizada na representação do escoamento em rios e canais.

**Galeria 1** – é apropriada para o escoamento em galerias celulares ou retangulares que representam os rios cobertos (trabalhando inicialmente à superfície livre e evoluindo para um possível escoamento sob pressão); tipicamente fazem a conexão entre células de galeria.

**Galeria 2** – se recomenda o uso para representação das redes de drenagem tubular enterradas, sendo utilizadas para conectar poços de visita, representando-os como pequenos reservatórios.

**Entrada de galeria** – utilizada junto à representação da célula tipo galeria, para modelar a contração do escoamento na transição da célula de canal para a galeria.

**Saída de galeria** – utilizada junto à representação da célula tipo galeria, para modelar a expansão do escoamento na transição da célula de galeria para canal.

**Vertedor de soleira espessa** – considera a equação clássica de vertedores de soleira espessa (para escoamentos livre ou afogado), sendo utilizada para representar o vertimento por transbordamento do rio ou canal para a planície, e entre as células de planície em locais onde as barreiras físicas formam fronteiras.

**Orifício clássico** – ligação que simula o fluxo entre as células por meio de um orifício (nos dois sentidos do escoamento) com a equação clássica de orifícios.

**Confluência de galeria em rio** – funciona como um vertedor (livre ou afogado) ou um orifício; é usada para galerias que chegam em um rio em uma cota

superior ao fundo deste por uma das margens, não configurando assim uma continuidade da linha d'água.

**Confluência entre galerias** – ligação semelhante ao tipo anterior, porém recomendada para galerias fechadas.

**Microdrenagem 1** – esta funciona como uma interface entre as células superficiais com as células de galeria, complementando a representação quando do uso de ligações de galeria tipo 1.

**Microdrenagem 2** – semelhante a ligação anterior, complementando assim a representação no uso de galerias do tipo 2.

**Vertedor** – ligação que simula o fluxo entre as células por meio de um vertedor (livre ou afogado), podendo este ser frontal ou lateral ao sentido do escoamento.

**Reservatório** – representa o efeito das ligações de orifício e vertedor.

**Comporta FLAP** – é a ligação que simula o fluxo entre células de rio através de uma comporta do tipo Flap; este tipo de comporta permite a comunicação apenas em um único sentido, de acordo com o nível de água entre os corpos d'água.

**Bombeamento** – ligação que simula o bombeamento de uma vazão constante entre duas células a partir de uma determinada cota de partida.

A Figura 3.22 ilustra como pode ser feita a divisão de uma paisagem (urbanizada ou não) em células de escoamento para dar entrada no Modelo de Células.

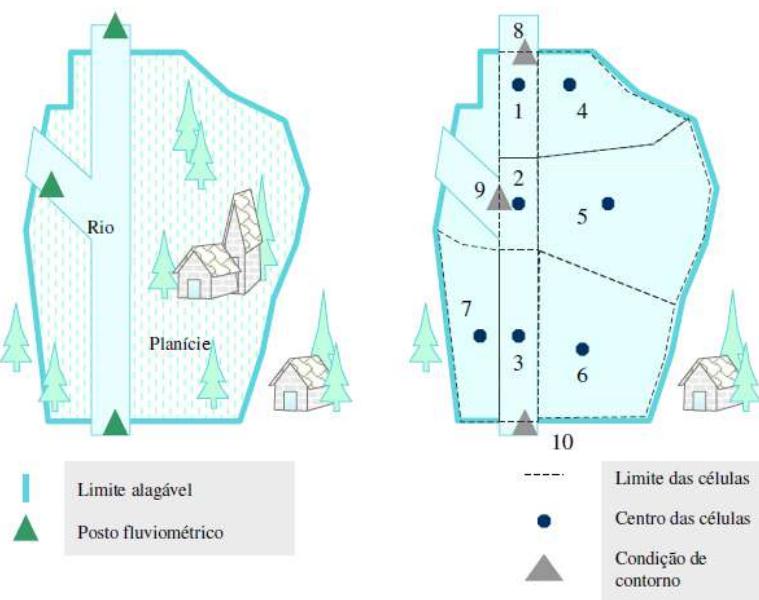


Figura 3.22: Divisão hipotética em células de escoamento.

Fonte: Miguez (2001)

## **Aplicação do Modelo de Células**

Para a aplicação do MODCEL, são necessárias algumas informações básicas, tais como: dados topográficos, hidrológicos e de uso e ocupação do solo; sendo que estas informações se constituem na fonte de dados de entrada para o modelo.

As informações hidrológicas podem ser obtidas com base em medições pré-existentes, ou ainda com o uso de modelos hidrológicos. Para o levantamento de dados de topografia e de uso e cobertura do solo, as informações podem ser obtidas também com base em medições executadas, ou ainda com base em informações fornecidas por: Cartas Topográficas, Modelos Digitais de Elevação, Ortofotos e imagens de satélite.

Com esses dados é possível realizar a análise da região e, posteriormente, a divisão da paisagem urbana em células de escoamento, que devem representar os caminhos do escoamento superficial. Após a divisão em células, é necessário definir como se darão as ligações entre essas células (e suas respectivas leis hidráulicas a serem seguidas), e em sequência é definido como se dará o chamado esquema topológico que irá alimentar o modelo matemático, sendo este esquema topológico a representação de como se dão as interações entre as células. Para a entrada de dados no MODCEL é necessária à construção dos arquivos necessários para a modelagem, sendo estes:

**Arquivo de condições iniciais** – apresenta os dados iniciais necessários para a simulação, tais como: o intervalo de tempo de simulação e subdivisões, o número de células, as características de urbanização da bacia, as cotas do terreno, nível de água inicial de cada célula e o arranjo topológico das células.

**Arquivo de base de dados** – contém as informações das células apresentando parâmetros como: tipo de célula, área total, área de armazenamento, coeficiente de escoamento superficial; e como acontecem as ligações para as células vizinhas (tipo de ligação e os coeficientes necessários).

**Arquivo de precipitações** – contém as características das precipitações para os intervalos de tempo de simulação; podendo estas precipitações ser definidas com base em eventos medidos ou de projeto para diferentes tempos de recorrência.

**Arquivos de condições de contorno** – apresentam as informações que fazem fronteira com a área a ser modelada, e que influenciam no funcionamento desta área, tais como: influência de marés, vazões de base afluentes, entre outras.

## **4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

---

### **4.1. RESULTADOS INICIAIS**

Os resultados são apresentados para cada um dos índices avaliados em separado, perfazendo as peculiaridades metodológicas inerentes a cada um, bem como os apontamentos referentes a estes. Todos os índices calculados foram espacializados em mapas de vulnerabilidade que possuem por unidade geográfica as áreas dos setores censitários do Censo de 2010 do IBGE.

#### **IRC**

Os resultados para cada indicador que compõe o subíndice Consequências serão expostos a seguir, em 4 mapas distintos e, por fim, um mapa conjugado que tem por função demonstrar a vulnerabilidade da infraestrutura de um sistema urbano com base na metodologia desenvolvida por Zonensein (2007).

A Figura 4.1 apresenta a espacialização do indicador Renda (R) para bacia do Barbado, este indicador utiliza a renda como um indicativo do valor total das propriedades afetadas e seu conteúdo, sendo expresso pela equação:

$$R = \frac{\text{Renda nominal mensal (R\$)}}{\text{nº responáveis}} \quad (9)$$

Após obtenção dos valores deste indicador para cada setor censitário os mesmos foram normalizados conforme proposto em Zonensein (2007), onde é feita uma análise das perdas em cada classe socioeconômica gerando uma curva de normalização do indicador e um sistema de equações para obtenção de tais valores.

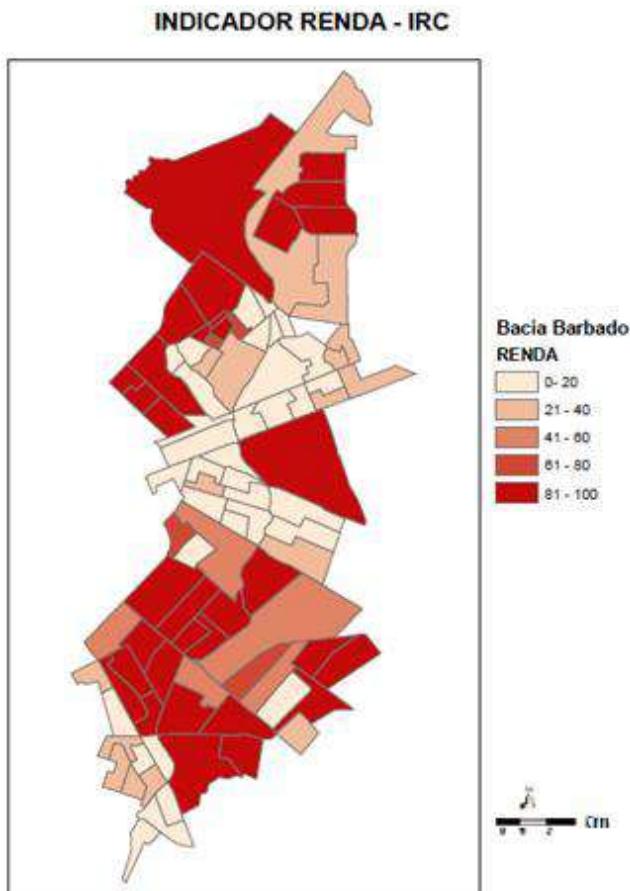


Figura 4.1: Subíndice Consequências – Indicador Renda

Os tons mais escuros indicam os setores censitários com domicílios que possuem o nível mais alto de renda média mensal, estes que correspondem aos bairros de classe alta na região estudada. Pode ser notada também a discrepância entre bairros de elevado poder aquisitivo e outros de baixíssima renda (algumas das regiões mais carentes da cidade se encontram nessa região). Nota-se que, nesta construção proposta por Zonensein (2007), a maior vulnerabilidade se refere a maior renda: a preocupação é com a perda de bens e prejuízos a infraestrutura, e não pretende refletir fragilidades sociais.

Para o indicador Saneamento Inadequado (SI) primeiro verificou-se o que seria considerado como Saneamento Inadequado (somatório dos lançamentos em fossas – sépticas ou negras, vala, rio, mar, entre outros e os locais sem nenhum tipo de esgotamento), e determinou-se a porcentagens destes perante o total de domicílios do setor trabalhado, conforme a equação:

$$\%EI = \frac{\text{nº domicílios com saneamento inadequado}}{\text{nº total domicílios}} \quad (10)$$

Após os cálculos, os valores foram normalizados conforme proposto em Zonensein (2007), com a técnica de normalização por distância. Os resultados são expostos na Figura 4.2.

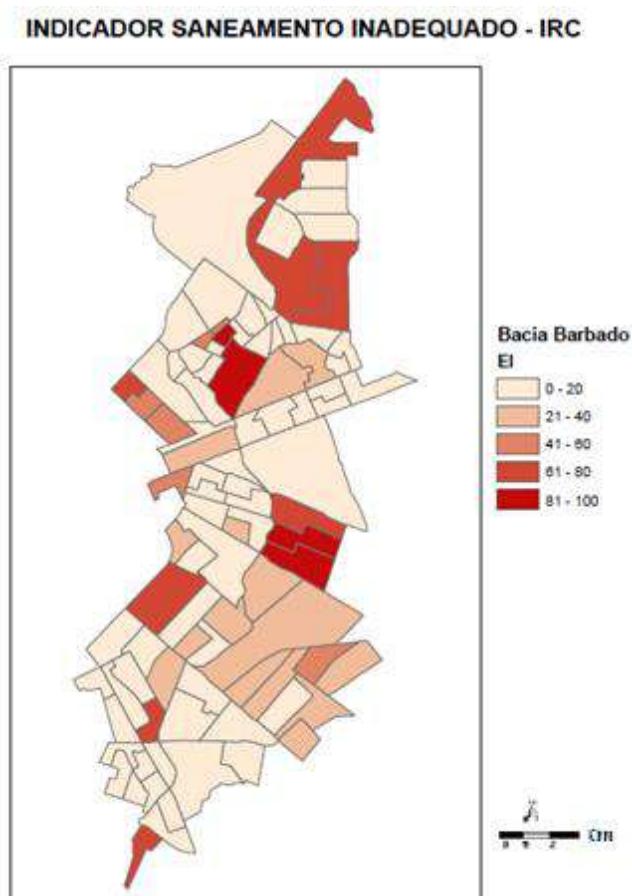


Figura 4.2: Subíndice Consequências – Indicador Saneamento Inadequado

Os setores indicados com a maior porcentagem de esgotamento inadequado se constituem em setores exatamente as margens do córrego e que neste lançam seu efluente, e os setores que não possuem coleta por rede pública, e se utilizam de fossas sépticas ou negras.

A Densidade de Domicílios (DD) pretende estimar a quantidade de pessoas e bens atingidos pela inundação, através da medida de domicílios por unidade de área do setor censitário, conforme a equação:

$$DD = \frac{\text{nº domicílios}}{\text{área}} \quad (11)$$

Esta é, portanto, uma medida da exposição. Para normalização do indicador, novamente foi seguida recomendação de Zonensein (2007), com modificações pertinentes ao objeto de estudo. Foi considerado como valor máximo para o indicador ( $IDD = 100$ ) a densidade correspondente a 75% da densidade máxima de domicílios para Cuiabá (cerca de 64.000 domicílios/km<sup>2</sup>), neste caso esse valor é de 10.000 dom/km<sup>2</sup>. Os resultados são expressos na Figura 4.3.

**INDICADOR DENSIDADE DE DOMICÍLIOS - IRC**

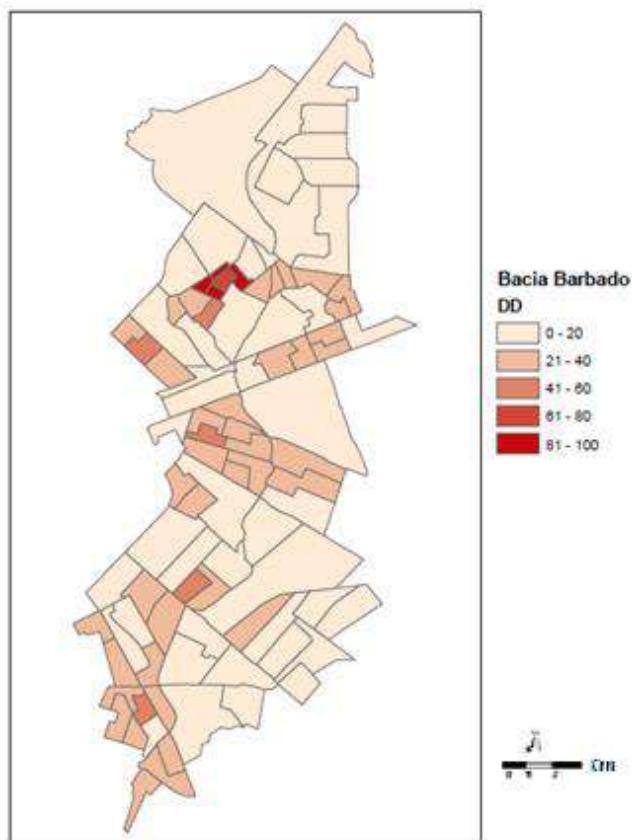


Figura 4.3: Subíndice Consequências – Indicador Densidade de Domicílios

A maior parte da bacia do Barbado possui valores baixos de densidade de domicílios (representados em sua maioria por casas horizontais e bairros prioritariamente residenciais). Os maiores valores encontrados se concentram no bairro Terra Nova (um condomínio totalmente verticalizado), e no entorno dos principais eixos viários estruturais da cidade (que possuem vários condomínios residenciais verticais).

O indicador Tráfego (T) foi trabalhado com base na hierarquização viária de Cuiabá. Esta prevê 4 subdivisões entre as vias: estrutural, principal, coletora e local. Foi

combinado o mapa de hierarquização viária com o dos setores censitários da bacia do Barbado (Figura 4.4), para determinação das áreas sob influência de cada tipo de via.

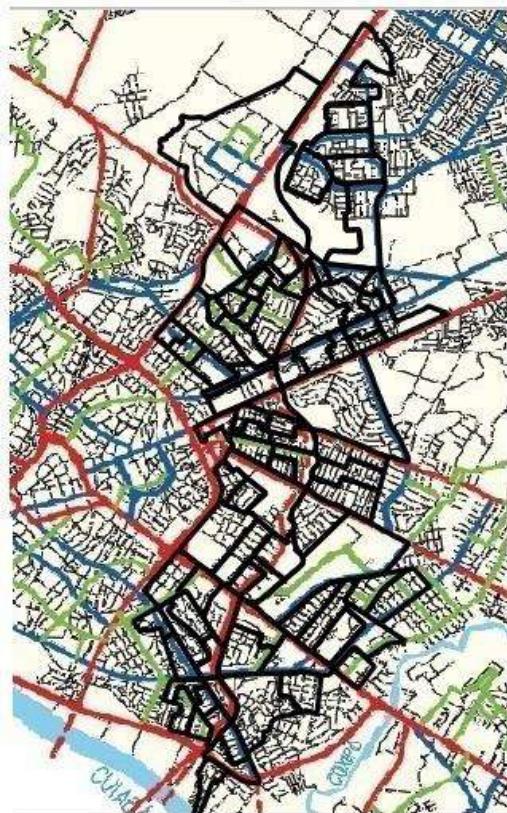


Figura 4.4: Hierarquização viária de Cuiabá – bacia córrego Barbado

Juntamente a esta etapa, foram definidos os pesos para normalização de cada tipo de via, conforme breve descrição: Vias estruturais ( $IT = 100$ ), principais ( $IT = 70$ ), coletoras ( $IT = 20$ ) e locais ( $IT = 10$ ). O resultado se encontra expresso na Figura 4.5.

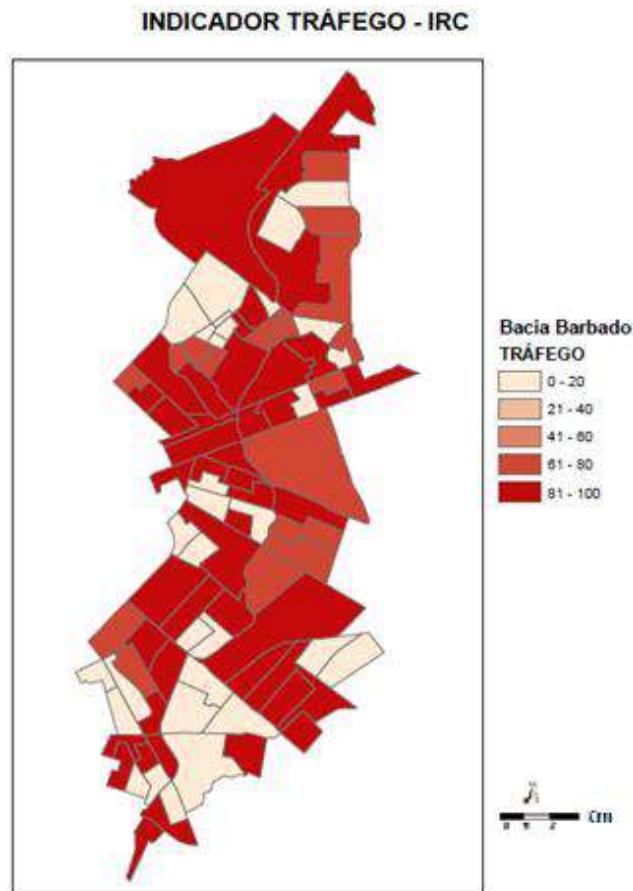


Figura 4.5: Subíndice Consequências – Indicador Tráfego

Perante a hierarquização viária de Cuiabá, a bacia do Barbado é cortada por vias estruturais que interligam a cidade nos sentidos Norte-Sul e Centro-Leste, de tal maneira que quando feita a normalização dos setores censitários, a grande maioria desses se encontra nas faixas mais altas para o proposto indicador.

Após os cálculos de cada indicador particular, foi calculado e posteriormente mapeado o subíndice Consequências (este que reflete a vulnerabilidade). Para este cálculo, se faz necessária a determinação dos pesos de cada indicador componente do índice, sendo esta função de livre escolha e definição do profissional executante do estudo. Uma primeira forma de determinar esses pesos é trabalhar com uma média aritmética (onde todos os parâmetros irão colaborar de maneira idêntica na construção do índice). A figura 4.6 apresenta esta situação.

#### SUBÍNDICE CONSEQUÊNCIAS - IRC (média)

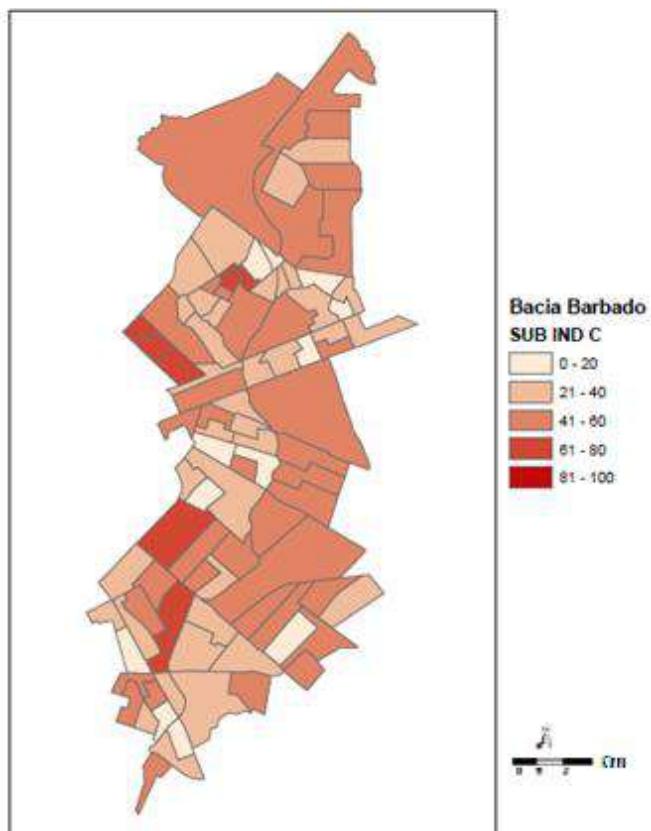


Figura 4.6: Índice de Risco de Cheias - Subíndice Consequências

Como uma segunda forma de trabalhar na construção deste índice, foram definidos novos pesos para os parâmetros, sendo estes  $IR = 0,2$ ,  $ISI = 0,1$ ,  $IDD = 0,4$  e  $IT = 0,3$ . A definição destes pesos se deu em função de buscar privilegiar os sistemas infraestruturais mais afetados quando de um evento de inundação – os domicílios (seus ocupantes e bens), explicando assim o peso para  $IDD$  e  $IR$ , bem como o sistema de tráfego (que é grandemente impactado). A Figura 4.7 apresenta a espacialização deste índice.

### SUBÍNDICE CONSEQUÊNCIAS - IRC

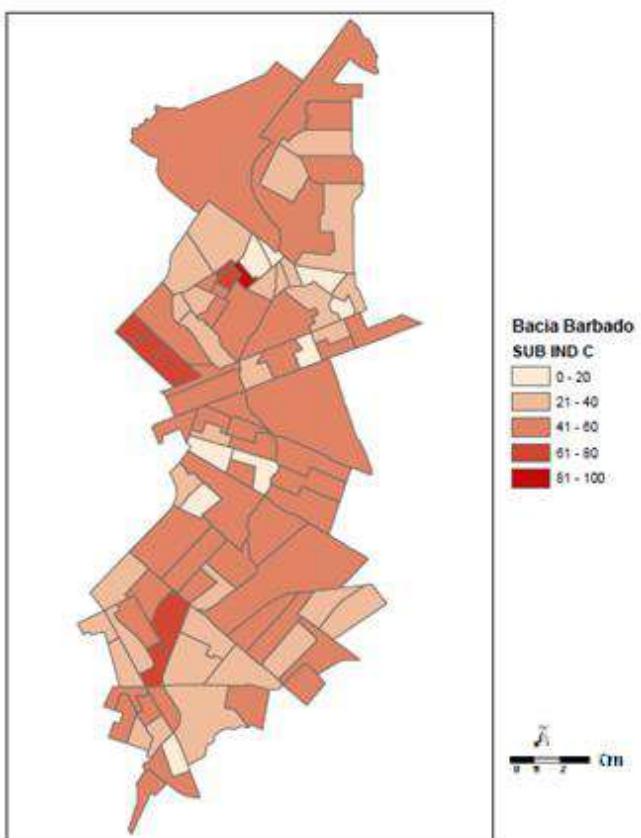


Figura 4.7: Índice de Risco de Cheias - Subíndice Consequências

Como este subíndice pretende medir a vulnerabilidade da infraestrutura de um sistema urbano, como forma de quantificar os riscos a que este se encontra exposto, pode-se notar para a bacia do Barbado, que mais de metade de sua área possui de média a alta vulnerabilidade em seu sistema de tráfego, saneamento e domicílios. Informação esta que quando combinada às propriedades físicas que a inundação possui, informam a dimensão dos riscos produzidos por uma cheia neste local.

### IVS

O índice de vulnerabilidade social proposto pela Universidade de Amsterdam, conforme Koks *et al.* (2014) leva em sua composição original os parâmetros: idade (< 14 anos e >65 anos), renda, número de família monoparentais (pais/mães solteiros), ano de construção da propriedade e número de migrantes não europeus. Foram feitas duas alterações neste, primeiramente e por motivos óbvios, o número de migrantes não europeus foi excluído, e foi feita uma aproximação para o ano de construção da propriedade – está informação não está disponível na base de dados do IBGE e assim

foi feita uma aproximação deste valor em função no ano de fundação do bairro ao qual o setor censitário pertence.

Originalmente foi dado o mesmo peso a todos os indicadores participantes da construção do índice. Sendo assim, a Figura 4.8 apresenta o mapa de aplicação do IVS com essa metodologia.

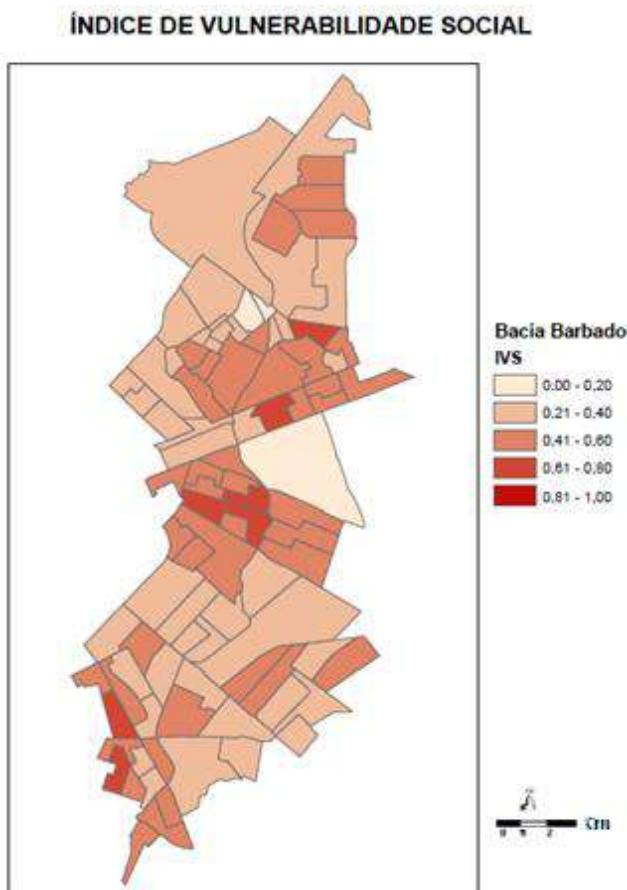


Figura 4.8: Índice de Vulnerabilidade Social

Após verificação de algumas inconformidades, e buscando valorar de maneira mais correta a influência de cada parâmetro na construção do índice, foram adotados pesos diferenciados para cada parâmetro. Sendo estes:  $I_{renda} = 0,4$ ,  $I_{<14\text{ anos}} = 0,2$ ,  $I_{>65\text{ anos}} = 0,2$ ,  $I_{fam.\ monop.} = 0,1$  e  $I_{ano\ const.} = 0,1$ . A resposta a essa nova situação é apresentada na Figura 4.9.

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (pesos)

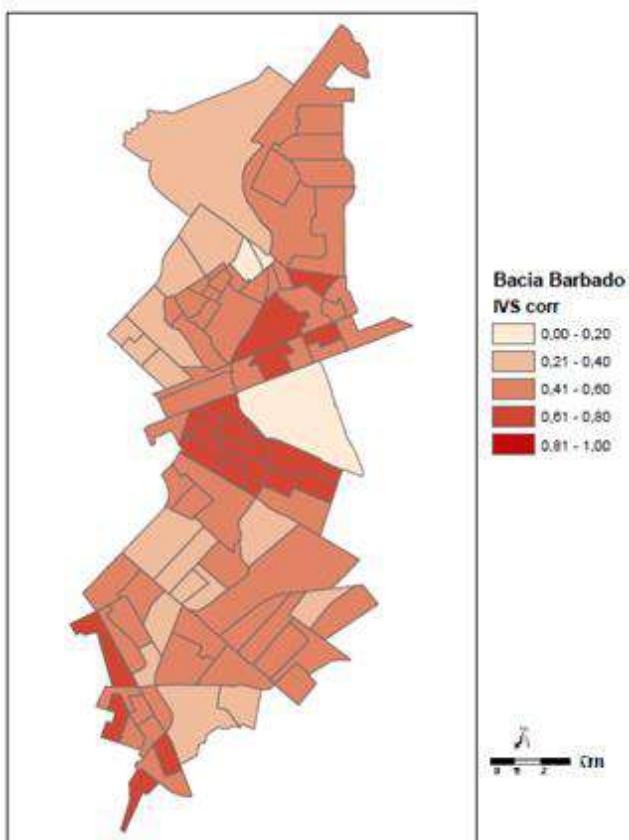


Figura 4.9: Índice de Vulnerabilidade Social (diferenciação nos pesos)

Quando da construção deste índice, é notório que alguns indicadores possuem um maior peso na avaliação da vulnerabilidade social de um sistema urbano, sendo alguns destes a renda e a idade da população. Na Figura 4.8 foi dado o mesmo peso para todos os indicadores componentes do IVS (como uma maneira inicial de determinação desta), já com base no conhecimento das variáveis que podem impactar de maneira significativa a vulnerabilidade social de uma comunidade, decidiu-se construir o mapa exposto na Figura 4.9, onde foram dados pesos diferenciados para os indicadores de renda e faixa etária da população. É percebida a correção de algumas distorções encontradas na Figura 4.8, onde bairros com maior poder aquisitivo tendem a possuir menor vulnerabilidade, e também bairros com maior número de menores de 14 anos possuem maior vulnerabilidade.

Também é notado que mais de metade da população se encontra em áreas de média a alta vulnerabilidade social, principalmente nos setores nas margens do córrego, e naqueles de baixa renda, onde se combinam o efeito dos fatores renda e alta taxa de

menores de 14 anos. Com esta adaptação e revisão dos pesos, esse índice parece ter cumprido o papel de indicar as principais vulnerabilidades sociais.

## IVSA

Este índice é composto por dois subíndices – capacidade de resposta e exposição física. Então, inicialmente, ambos foram calculados em separado para composição do índice final. Aqui também foram feitas algumas adequações em função da indisponibilidade de dados na base do IBGE (a autora do índice original proposto trabalhou com a base de dados da CADÚNICO).

Para a exposição física, os indicadores são: tipo construtivo, iluminação, abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo, posse do domicílio e características do mesmo (quantidade de cômodos). Neste trabalho, não foi possível a inclusão das variáveis: tipo construtivo e quantidade de cômodos. Saito (2011) trabalhou com a técnica AHP para determinação dos pesos em cada variável componente destes indicadores, sendo respeitados os valores por ela propostos. Já para a composição final do subíndice, a determinação dos pesos de cada indicador é de escolha do profissional executante, de tal maneira que foram admitidos os valores:  $I_{água} = 0,25$ ,  $I_{esgoto} = 0,25$ ,  $I_{lixo} = 0,25$ ,  $I_{posse\ dom.} = 0,15$  e  $I_{ilum.} = 0,1$ . Os resultados são expressos na Figura 4.10. Lembrando que as variáveis foram normalizadas (método de normalização simples) para efetuação dos cálculos.

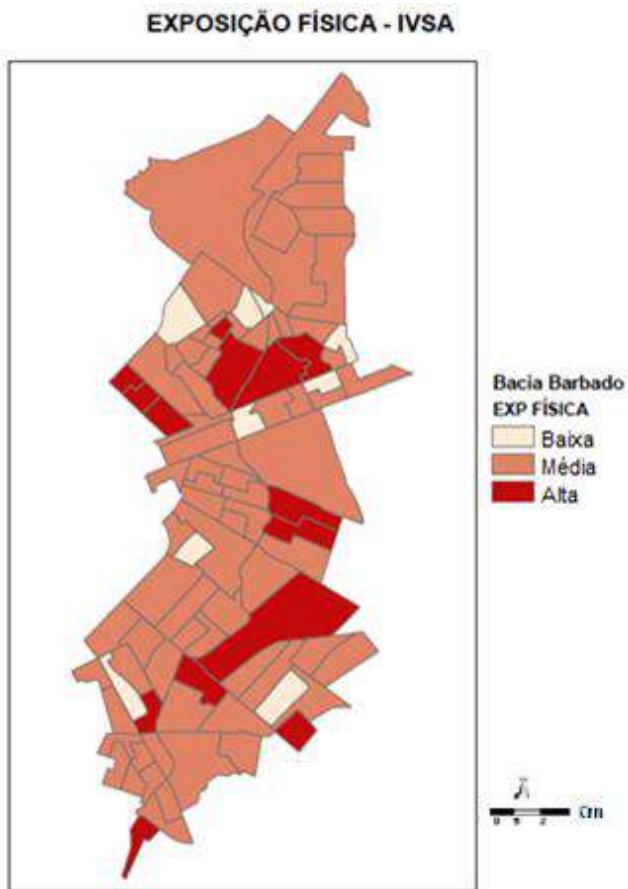


Figura 4.10: IVSA – Componente Exposição Física

Nota-se que praticamente metade dos setores censitários da área estudada possui uma exposição física considerada média (classes estas obtidas com base na média e desvio padrão dos valores obtidos, sendo o valor médio: 17,43 e o desvio: 13,00). Tais valores foram “puxados” para uma faixa mais alta, em função da elevada taxa de casas alugadas, com esgotamento e coleta de lixo inadequados, e abastecimento de água por poços nos bairros classificados como de baixa renda e, também, pela elevada quantidade de residências com esgotamento por fossas sépticas ou negras, e abastecimento por poços em diversos bairros.

A capacidade de resposta da população frente às ameaças é avaliada por meio dos seguintes indicadores: idade, escolaridade, estado civil, raça, situação no mercado de trabalho, número de pessoas no domicílio e tempo de moradia. Também aqui houve adequações, não sendo possível a inclusão dos indicadores: situação no mercado de trabalho e tempo de moradia. Seguindo a proposta explicitada para o subíndice anterior aqui foram aplicados os seguintes pesos,  $I_{renda} = 0,4$ ,  $I_{escol.} = 0,3$ ,  $I_{estado\ civil} = 0,1$ ,  $I_{núm.\ pessoas} = 0,1$  e  $I_{raça} = 0,1$ . Os resultados são apresentados na Figura 4.11.

CAPACIDADE DE RESPOSTA - IVSA

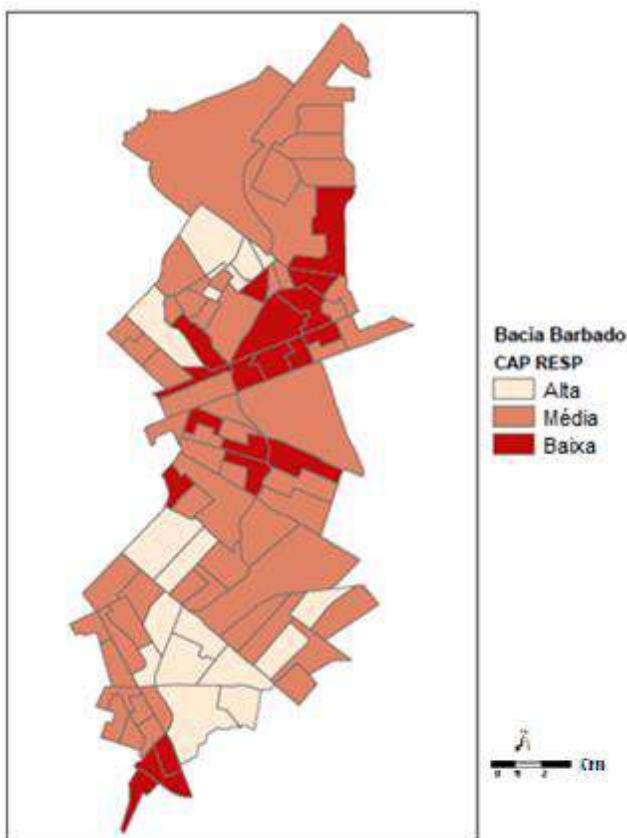


Figura 4.11: IVSA – Componente Capacidade de Resposta

A componente capacidade de resposta avalia as condições sociais da população, e como esta pode responder a um evento de cheia, tal resposta é grandemente influenciada pela renda, idade e escolaridade desta população. Os valores de maior capacidade de resposta foram obtidos nos setores com renda mais elevada, menor quantidade de moradores no domicílio, maior taxa de alfabetização e maior quantidade de moradores na faixa etária entre 18 e 60 anos. Já os setores com as piores condições de renda, maiores taxas de analfabetos, e maior quantidade de pessoas na residência (coincidentemente situados em invasões e alguns às margens diretas do córrego) são obtidas as piores capacidades de resposta da população.

Após a realização dos cálculos e espacialização tanto da capacidade de resposta da população, quanto de sua exposição física, pode ser efetuado o cálculo do índice de vulnerabilidade socioambiental, com a junção dos subíndices antes trabalhados. Por meio de uma análise de correlação, Saito (2011) encontrou uma melhor correlação da exposição física com a vulnerabilidade socioambiental (porém a componente social da capacidade de resposta não pode ser ignorada), sendo assim a mesma recomenda a

adoção de pesos com valor superior para a componente exposição física, e a componente capacidade de resposta é trabalhada como um ajuste fino na consecução do índice. De tal maneira que estas foram trabalhadas da seguinte forma: indicador exposição física = 0,75 e indicador capacidade de resposta = 0,25. A Figura 4.12 traz o resultado da aplicação do IVSA na bacia do córrego Barbado.

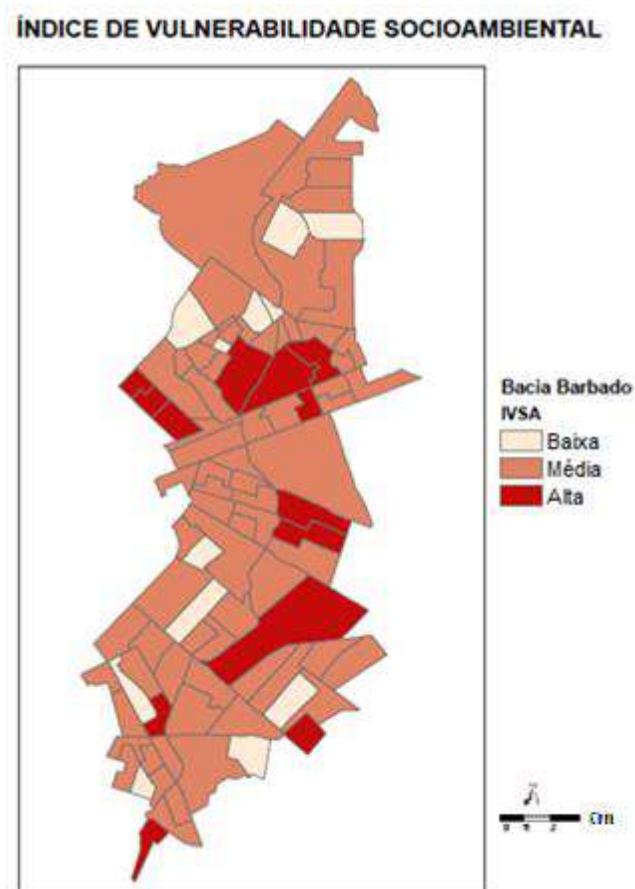


Figura 4.12: Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

Quando da combinação das componentes: exposição física e capacidade de resposta para determinação da vulnerabilidade socioambiental do sistema urbano bacia hidrográfica do córrego Barbado, chegou-se a um resultado que mais de metade de seus setores censitários são classificados como possuindo uma média vulnerabilidade socioambiental (valor médio: 28,47 e desvio padrão: 10,17), resultado este que possui uma forte relação com a exposição física encontrada na bacia, pois mesmo que a população possua uma boa capacidade de resposta, se a exposição física for mediana a elevada, a vulnerabilidade tende a possuir um peso mais elevado.

## **IVSE**

O índice de vulnerabilidade socioeconômico proposto conforme Eidsvig *et al.* (2014) leva em sua composição original diversos parâmetros, entre os quais foram selecionados aqueles que poderiam ser calculados tendo como base de dados as informações do Censo Brasileiro (estas descritas na metodologia), para a execução dos cálculos é necessária a determinação das faixas de vulnerabilidade para cada indicador trabalhado (vulnerabilidade variando de 1 a 5, onde 1: representa baixa vulnerabilidade e 5: representa alta vulnerabilidade). Esta determinação seguiu os padrões expostos no artigo original, fazendo pequenas alterações para a realidade nacional (como o valor das faixas de variação de renda, o uso de dados de pessoas alfabetizadas, entre outros). Estas faixas se encontram descritas a seguir:

### **Densidade Populacional**

- 1 – DP <50 hab/km<sup>2</sup>
- 2 – DP entre 50 e 100 hab/km<sup>2</sup>
- 3 – DP entre 100 e 250 hab/km<sup>2</sup>
- 4 – DP entre 250 e 500 hab/km<sup>2</sup>
- 5 – DP >500 hab/km<sup>2</sup>

### **Escolaridade**

Obs: Pessoas acima de 18 anos alfabetizadas (NPA – número de pessoas alfabetizadas)

- 1 – NPA > 90% Número de pessoas acima de 18 anos
- 2 – NPA entre 80% e 90% Número de pessoas acima de 18 anos
- 3 – NPA entre 70% e 80% Número de pessoas acima de 18 anos
- 4 – NPA entre 60% e 70% Número de pessoas acima de 18 anos
- 5 – NPA < 60% Número de pessoas acima de 18 anos

### **Distribuição etária**

- 1 – Menos de 20% da população entre 0 e 5 anos ou acima de 65 anos
- 2 – De 20% a 30% da população esta entre 0 e 5 anos ou acima de 65 anos
- 3 – De 30% a 40% da população esta entre 0 e 5 anos ou acima de 65 anos
- 4 – De 40% a 50% da população esta entre 0 e 5 anos ou acima de 65 anos
- 5 – Mais de 50% da população esta entre 0 e 5 anos ou acima de 65 anos

### **Renda por domicílio**

Obs: Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita (SM – salário mínimo)

- 1 – Maior % Domicílios com renda > 10 SM
- 2 – Maior % Domicílios com renda entre 5 a 10 SM
- 3 – Maior % Domicílios com renda entre 3 a 5 SM
- 4 – Maior % Domicílios com renda entre 1 a 3 SM
- 5 – Maior % Domicílios com renda < 1 SM

### **Pessoas responsáveis com rendimento**

- 1 – Mais de 90% das pessoas responsáveis pelo domicílio apresenta rendimento

- 2 – Entre 80% e 90% dos responsáveis apresentam rendimento
- 3 – Entre 70% e 80% dos responsáveis apresentam rendimento
- 4 – Entre 60% e 70% dos responsáveis apresentam rendimento
- 5 – Menos de 60% dos responsáveis apresenta rendimento

#### **Tipo de domicílio**

- 1 – A maioria dos domicílios consiste em apartamentos
- 2 – Há uma proporção semelhante entre apartamentos e casas de vila
- 3 – A maioria dos domicílios consiste em casas de vila
- 4 – A maioria dos domicílios consiste em casa
- 5 – Praticamente a totalidade dos domicílios consiste em casas

Os indicadores foram classificados de acordo com as faixas propostas acima. E para a construção do índice agregado de vulnerabilidade, foi necessário utilizar a ponderação de importância proposta no artigo original, de tal maneira que os indicadores foram distribuídos da seguinte forma: menor influência (peso 1) – escolaridade, densidade populacional; média influência (peso 2) – idade, renda, responsável com rendimento; alta influência (peso 3) – tipo de domicílio.

Após a aplicação da equação proposta para agregação do índice de vulnerabilidade socioeconômica, o mesmo foi espacializado na bacia do córrego Barbado, a Figura 4.13 apresenta estes resultados.

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA

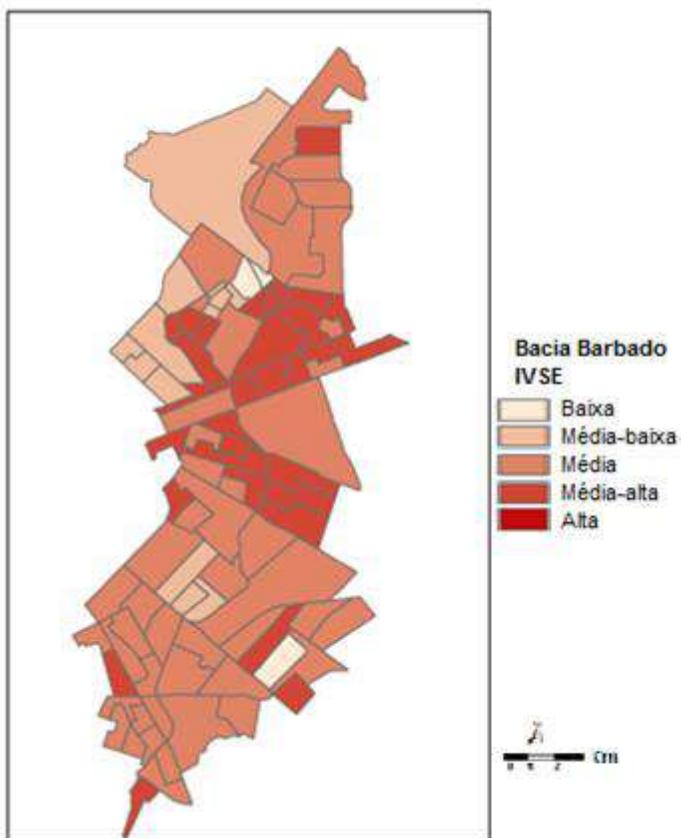


Figura 4.13: Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

O índice propõe a variação da vulnerabilidade em cinco faixas – baixa, média-baixa, média, média-alta, alta. Com análise do mapa é notado que grande parte da bacia possui um padrão de média a média-alta vulnerabilidade socioeconômica, valor este representado fortemente pelo tipo de domicílios, pela renda domiciliar e também pela elevada densidade populacional. Uma informação interessante é que o número de responsáveis com rendimento na grande maioria dos setores censitários é elevado, porém o valor do rendimento é baixo, o que tem potencial para puxar o índice para faixas mais elevadas.

#### 4.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA A PROCESSOS DE CHEIAS

Após a aplicação das quatro metodologias selecionadas à área de estudo e, com base nas informações obtidas, pode-se proceder a proposição do chamado Índice de Vulnerabilidade Urbana a Processos de Cheias.

Como esclarecido na formulação da metodologia do índice, além da preocupação na seleção dos indicadores utilizados (representatividade destes), uma importante premissa escolhida foi a do uso de informações que pudessem ser obtidas de maneira simples, com uso de dados públicos e de livre acesso; para assim garantir a replicabilidade do índice pela diversificada gama de atores envolvidos no planejamento urbano e ambiental.

Dos 10 indicadores componentes dos 4 subíndices destacados (Social, Ambiental, Econômico e de Infraestrutura), a maioria destes é obtido a partir da base de dados do Levantamento Censitário Nacional promovido pelo IBGE. Sendo estes:

- Social: distribuição etária, renda e densidade populacional;
- Ambiental: resíduos sólidos e esgotamento inadequado;
- Econômico: condições do entorno;
- Infraestrutura: tipo de domicílio.

Já os indicadores Preço do m<sup>2</sup> (econômico), Tráfego e Presença de escolas e hospitais (infraestrutura), foram obtidos a partir de dados públicos diferenciados.

Para o indicador Tráfego, foi utilizada a hierarquização viária local vigente, como já descrito e apresentado nos cálculos do indicador IRC (neste mesmo capítulo).

Para o indicador Preço do m<sup>2</sup>, foi utilizado como valor base de especificação do preço do m<sup>2</sup> de um terreno qualquer, o valor retirado da Planta de Valores Genéricos (PGV) de Cuiabá (ano base 2015). Tal valor é um dos componentes a ser considerado quando da composição do valor venal do terreno, conforme equação retirada da Lei 5355/2010.

$$VVT = At \times Vm \times Fst \times Fet \times Fct \times Fge \times Fgl \times Fmp \times Fdat, \text{ onde :}$$

**VVT** = Valor venal do terreno

**At** = Área do terreno

**Vm** = Valor do metro quadrado por padrão de rua (tabela I).

**Fst** = Fator de influência da situação do terreno (tabela II).

**Fet** = Fator de influência de esquina ou número de testada (tabela III).

**Fct** = Fator de influência de características do terreno (tabela IV).

**Fge** = Fator geométrico (tabela V).

**Fgl** = Fator gleba (tabela VI).

**Fmp** = Fator de melhorias públicas (tabela VII).

**Fdat** = Fator de depreciação em função da área de tombamento (tabela XVI)

Como apresentado este valor possui variação conforme o padrão das ruas. Onde os valores são apresentados conforme exemplo retirado da mesma lei.

Tabela 4.1: Valor do m<sup>2</sup> por padrão típico de rua

**Valor do metro quadrado de terreno por padrão de rua**

PAD.RUA	R\$/M <sup>2</sup>	PAD.RUA	R\$/M <sup>2</sup>	PAD.RUA	R\$/M <sup>2</sup>
1	0,64	47	267,24	93	1.170,75
2	1,27	48	279,96	94	1.196,20
3	3,82	49	292,69	95	1.208,92
4	6,36	50	305,41	96	1.221,65
5	10,18	51	318,14	97	1.247,10
6	12,73	52	330,86	98	1.272,55
7	15,27	53	343,59	99	1.336,18
8	19,09	54	356,31	100	1.399,81

Fonte: Lei 5355/2010 (Cuiabá, 2010)

Assim foram verificados quais os padrões de rua faziam parte de cada setor censitário para a construção do valor do m<sup>2</sup> representativo para cada setor da área de estudo, e posteriormente foi feita a normalização conforme descrito no item metodologia.

E por fim para o indicador Presença de Escolas e Hospitais, foram utilizados os dados disponibilizados na plataforma de pesquisa Google. Para presença de escolas foi utilizado como buscador o termo “escolas públicas” (onde são apresentados centros de ensino infantil, de nível fundamental e médio). E para os equipamentos de saúde, foi usado o termo “hospitais” (onde se apresentam os centros de saúde, postos de saúde e hospitais de grande porte).

Foram sobrepostas as imagens obtidas nessa pesquisa no Google, ao *shape* da bacia hidrográfica do Barbado com os setores censitários delimitados, para que pudesse ser feito o levantamento da presença de cada tipo de estabelecimento em cada setor estudado, conforme Figuras 4.14 e 4.15.

Após a identificação da presença ou não de escolas e hospitais em cada setor censitário, procedeu-se com a normalização das faixas de variação para o indicador conforme a recomendação proposta na metodologia.

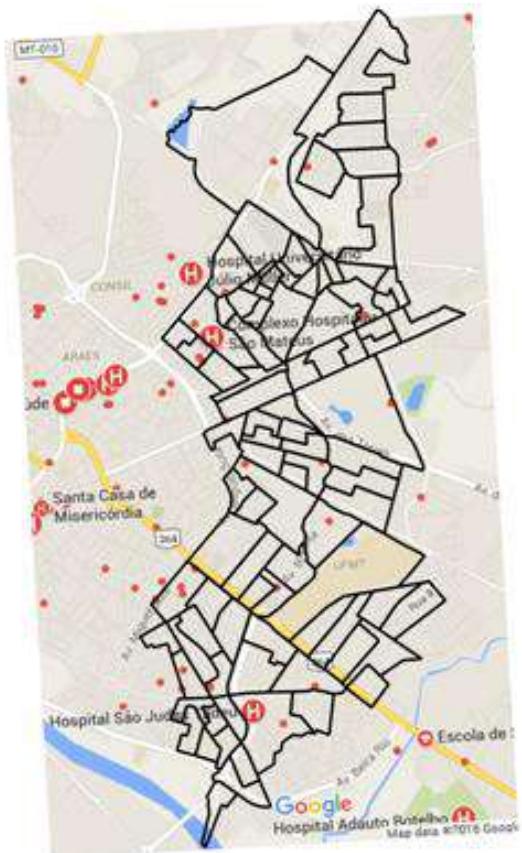


Figura 4.14: Presença de equipamentos de saúde – bacia do córrego Barbado



Figura 4.15: Presença de equipamentos de ensino – bacia do córrego Barbado

Tendo assim todos os indicadores calculados e normalizados nas suas respectivas faixas de variação propostas, optou-se por fazer uma verificação do comportamento do índice, através de uma aplicação do mesmo ao caso de estudo.

Como forma inicial e simplista de apresentar uma aplicação prática do IVUC, foram adotados tanto para os indicadores quanto os subíndices, os valores médios de seus pesos correspondentes. De maneira que, cada subíndice responde por  $\frac{1}{4}$  do peso final do índice, e a uma divisão semelhante foi feita entre os indicadores que compõe cada um destes subíndices. A representação espacial desta primeira aplicação pode ser vista na Figura 4.16.

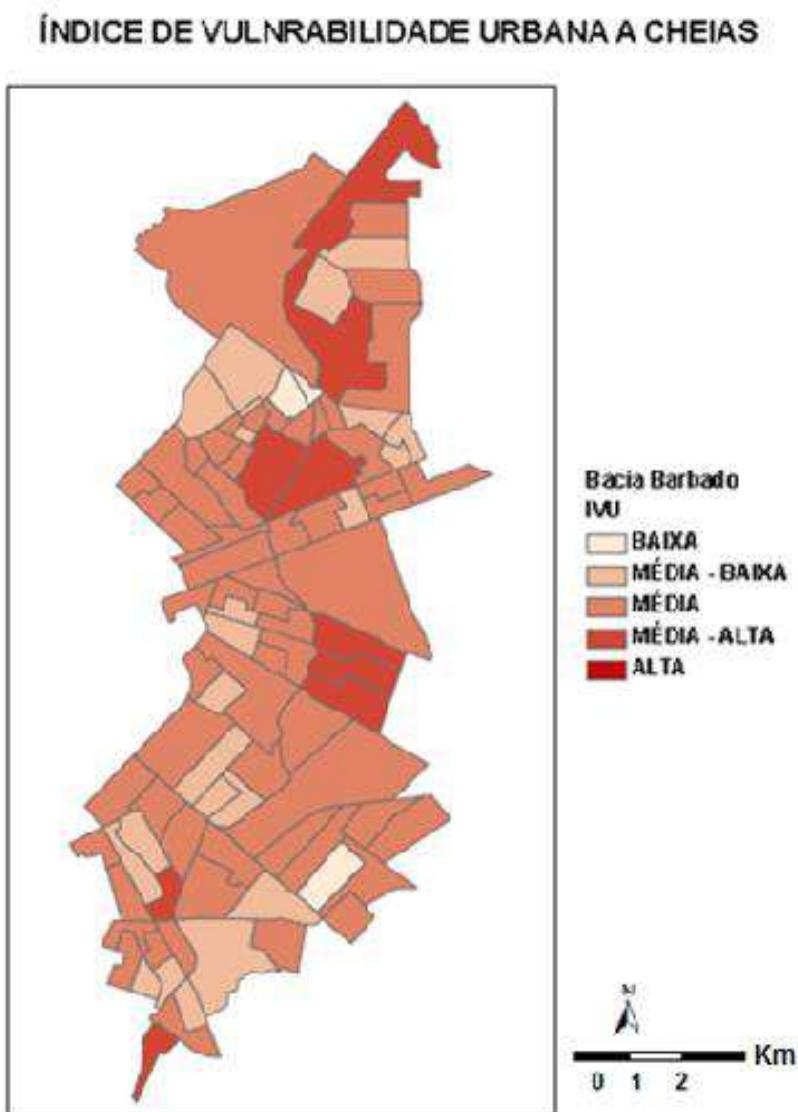


Figura 4.16: Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias

Uma análise inicial do mapa acima nos permite perceber que a grande maioria da área estudada se comprehende em uma faixa de média vulnerabilidade, onde alguns setores possuem características mais críticas possuindo uma classificação de vulnerabilidade média a alta, e pouquíssimos setores se classificam com uma baixa vulnerabilidade urbana.

Ainda não são feitos apontamentos mais aprofundados em função da não realização de uma análise de sensibilidade e adequação dos pesos trabalhados. Porém já se pode notar que as áreas com classificação mais preocupante, consistem em áreas de ocupação originalmente irregular, situadas às margens do córrego Barbado, com total falta de planejamento da ocupação por meio dos agentes públicos, e com infraestrutura de serviços e equipamentos, em geral, deficitárias, o que mostra consistência com os resultados.

#### **4.3. ATRIBUIÇÃO DE PESOS E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE**

Os pesos representam a importância relativa dos indicadores e subíndices para a construção do valor da vulnerabilidade. A tarefa de determinação destes pesos, porém, não depende exclusivamente do conhecimento técnico, já que a importância de cada indicador resulta também da percepção do tomador de decisão e da política de gestão adotada. Acredita-se que a atribuição das prioridades e significâncias de cada critério avaliado deve ser realizada pelo agente (gestor ou instituição) que irá se utilizar do índice como uma ferramenta no suporte à decisão das políticas de planejamento urbano e, certamente não há valor “ideal”, de forma absoluta, podendo os pesos atribuídos serem revistos e modificados com a evolução do planejamento e em diferentes etapas do processo de gestão. Ou seja, a utilização de um índice para suporte à decisão pode apontar caminhos que, percorridos, abrem a possibilidade da revisão da situação e a determinação de novas prioridades, que podem modificar a distribuição de pesos entre as variáveis. Entretanto, é importante conhecer a sensibilidade associada à variação dos pesos, para subsidiar a própria decisão relativa aos seus valores mais adequados, reconhecendo aquelas variáveis mais sensíveis e estabelecendo faixas coerentes de variação. Esse processo de definição de pesos também acaba por estabelecer a

importância relativa entre as próprias variáveis, em comparações múltiplas, que devem manter a sua coerência intrínseca.

Realizar a determinação dos pesos é uma atividade complexa, pois sempre pode haver um julgamento pessoal envolvido. Assim, é recomendada a busca por metodologias que tenham intuito de minimizar a subjetividade – através de uma base teórica ou raciocínio lógico – com vistas a garantir a credibilidade e aceitação da atribuição de pesos proposta.

A metodologia denominada Análise Hierárquica de Processos (AHP) foi desenvolvida por Saaty (1977) e é bastante utilizada no contexto das análises multicritério e sistemas de suporte a decisão. Busca-se reduzir a problemática envolvida na tomada de decisão contendo vários critérios em comparações par-a-par destes critérios, tornando assim mais fácil sua avaliação. As comparações são feitas com o uso de uma escala própria – definida pelo autor da metodologia – e é constituída por nove divisões que indicam o grau de importância que um determinado critério possui quando comparado com outro, conforme visto no Quadro 4.1 (ZONENSEIN, 2007).

Nesta pesquisa, somente com o interesse de promover uma análise da sensibilidade na determinação dos pesos atribuídos aos indicadores e subíndices do Índice de Vulnerabilidade Urbana frente a Cheias, foi utilizada a metodologia AHP.

Quadro 4.1: Graus de significância dos critérios

<b>1/9</b>	<b>1/7</b>	<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
Menos importante							Mais importante	

Os números ímpares indicam os quatro graus de importância mais facilmente discerníveis, enquanto os números pares podem ser utilizados para valores intermediários entre os dois graus ímpares.

Esta metodologia permite além da determinação dos pesos para cada indicador/subíndice analisado, realizar também o cálculo do grau de consistência (GC) da proposição. O grau de consistência é um parâmetro quantitativo que mede a coerência lógica sobre o julgamento efetuado. De maneira que: se o parâmetro A é muito mais importante que o parâmetro B, e B é muito mais importante que o parâmetro C, seria inconsistente afirmar que A é somente um pouco mais importante que C.

Além disso, o GC é independente de preferências particulares e não possui nenhuma influência sobre os resultados dos pesos determinados. Assim, é possível obter diferentes combinações de pesos (privilegiando critérios distintos a serem avaliados) e manter a consistência do julgamento em todos os casos propostos, o que traz à metodologia proposta uma maior robustez e adaptabilidade frente às políticas de planejamento urbano.

A seguir é explicada a aplicação da metodologia AHP, em um exemplo onde são trabalhados três critérios e seus respectivos pesos.

**1** – Inicialmente é preciso criar uma matriz de avaliação com as dimensões N x N, onde N é o número de critérios a serem avaliados – neste caso 3.

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
X <sub>1</sub>			
X <sub>2</sub>			
X <sub>3</sub>			

**2** – A matriz deve ser preenchida a partir da comparação par-a-par dos critérios conforme a escala apresentada no Quadro 4.1. A avaliação deve ser feita de forma a determinar o quanto o critério situado na linha é preferível ao da coluna; lembrando que, às comparações mútuas devem ser atribuídos os valores inversos. Assim se X<sub>1</sub> é bastante mais importante que X<sub>3</sub>, X<sub>3</sub> deve também ser bastante menos importante que X<sub>1</sub>. Outra observação é que os valores da diagonal principal são sempre necessariamente iguais a 1.

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
X <sub>1</sub>	1	1/3	7
X <sub>2</sub>	3	1	5
X <sub>3</sub>	1/7	1/5	1

**3** – Os valores devem ser normalizados através da divisão destes pelo somatório dos valores dispostos nas colunas.

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
X <sub>1</sub>	1	1/3	7
X <sub>2</sub>	3	1	5
X <sub>3</sub>	1/7	1/5	1
Somatório	4,143	1,533	13



	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
X <sub>1</sub>	0,241	0,217	0,538
X <sub>2</sub>	0,724	0,652	0,385
X <sub>3</sub>	0,034	0,130	0,077

**4** – Por fim, para determinação do valor correspondente ao peso do indicador, deve ser calculada a média dos valores de cada linha.

	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>	<b>Média</b>		<b>Pesos</b>
<b>X<sub>1</sub></b>	0,241	0,217	0,538	0,332		<b>X<sub>1</sub></b> 0,332
<b>X<sub>2</sub></b>	0,724	0,652	0,385	0,587		<b>X<sub>2</sub></b> 0,587
<b>X<sub>3</sub></b>	0,034	0,13	0,077	0,081		<b>X<sub>3</sub></b> 0,081

**5** – Para determinar a consistência dessa distribuição de pesos realizada, deve ser feita a determinação do CG, porém inicialmente deve ser calculado o parâmetro  $\lambda$ , dado por.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n M_i * S_i$$

Onde:

$\lambda$  = autovalor a ser determinado;

$M_i$  = média da linha correspondente ao i-ésimo critério;

$S_i$  = somatório da coluna correspondente ao i-ésimo critério;

n = número total de critérios.

Para o exemplo que está detalhado, tal valor é 3,315.

**6** – Com o valor acima determinado, a próxima etapa é determinar o índice de consistência (IC), que é dado por.

$$IC = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

Novamente para o exemplo demonstrado o IC é de 0,1575.

**7** – E finalmente o grau de consistência pode ser determinado com auxílio da equação.

$$GC = \frac{IC}{ICA} * 100$$

Onde:

GC = grau de consistência em percentagem

IC = índice de consistência

ICA = índice de consistência aleatório, este valor é uma função do número de indicadores n, e pode ser obtido a partir do Quadro 4.2.

Quadro 4.2: Índice de consistência

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

No exemplo executado, o grau de consistência determinado foi de 27,15%.

Para que a avaliação feita sobre a determinação dos pesos dos indicadores seja considerada suficientemente consistente, o valor do GC deve ser menor ou igual a 10%. Caso este seja superior ao valor citado, o julgamento feito da importância dos critérios é considerado inconsistente, devendo o mesmo ser refeito; como no caso do exemplo acima demonstrado.

Ao longo da construção desta Tese, os testes de sensibilidade para a determinação da variação dos pesos foram executados tanto para os subíndices quanto para os indicadores que os compõem. Foi aplicada a técnica da análise hierárquica descrita para execução destes testes.

A possibilidade de combinações a serem executadas possui um tamanho bastante grande – em função da quantidade de variáveis, são quatro subíndices e dez indicadores. Assim neste trabalho optou-se por apresentar somente os testes que puderam ser positivamente validados perante a análise do grau de consistência (lembrando que este deve ser inferior a 10% como preconiza a metodologia).

Inicialmente foram determinados os pesos (via análise hierárquica) para os dez indicadores, foram realizadas diversas combinações de atribuição dos pesos para estes, conforme apresentado no Quadro 4.3.

Quadro 4.3: Testes de sensibilidade para variação dos pesos dos indicadores

<b>Testes</b>	<b>Variação dos pesos nos indicadores</b>				
TSI_1	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,43 R = 0,43 DP = 0,14	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,43 TD = 0,43 EH = 0,14	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50	
TSI_2	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,43 R = 0,14 DP = 0,43	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,43 TD = 0,14 EH = 0,43	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50	
TSI_3	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,43 R = 0,43 DP = 0,14	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,43 TD = 0,14 EH = 0,43	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50	

TSI_4	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,43 R = 0,14 DP = 0,43	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,43 TD = 0,43 EH = 0,14	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50
TSI_5	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,60 R = 0,20 DP = 0,20	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,14 TD = 0,43 EH = 0,43	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50
TSI_6	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,14 R = 0,43 DP = 0,43	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,14 TD = 0,43 EH = 0,43	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50
TSI_7	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,60 R = 0,20 DP = 0,20	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,60 TD = 0,20 EH = 0,20	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50
TSI_8	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,20 R = 0,60 DP = 0,20	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,60 TD = 0,20 EH = 0,20	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50
TSI_9	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,43 R = 0,43 DP = 0,14	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,63 TD = 0,26 EH = 0,11	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50
TSI_10	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,26 R = 0,63 DP = 0,11	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,63 TD = 0,26 EH = 0,11	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50
TSI_11	<i>Econômico</i> CE = 0,50 $m^2 = 0,50$	<i>Social</i> DE = 0,26 R = 0,63 DP = 0,11	<i>Infraestrutura</i> Tr = 0,43 TD = 0,43 EH = 0,14	<i>Ambiental</i> RS = 0,50 EI = 0,50

Onde:

TSI – teste de sensibilidade do indicador

CE – condições do entorno

$m^2$  – preço do  $m^2$

DE – distribuição etária

R – renda

DP – densidade populacional

Tr – tráfego

TD – tipo de domicílio

EH – presença de escolas e hospitais

RS – resíduos sólidos

EI – esgotamento inadequado

Algumas observações são pertinentes. A primeira delas refere-se à escolha dos pesos para os indicadores dos subíndices *Econômico* e *Ambiental*, onde todos os indicadores foram definidos com peso igual. Tal escolha foi feita em função da não predição de uma significância maior de qualquer um dos indicadores sobre o outro (do ponto de vista da análise hierárquica, qualquer julgamento de valor é passível de ser realizado). Porém, deixa-se muito claro que é completamente possível trabalhar com quaisquer julgamentos de valores para a escolha dos pesos destes indicadores.

Como exemplo para esta situação, suponha-se que em uma determinada localidade, em que se deseja avaliar a vulnerabilidade urbana, a gestão de resíduos sólidos é completamente eficiente, porém esta localidade ainda apresenta deficiências no sistema de esgotamento sanitário. Assim, o gestor público poderia considerar o esgotamento inadequado como uma questão preponderante, de forma que este seria definido como mais importante para avaliação da vulnerabilidade urbana, quando em um evento de cheia, fazendo com que o gestor pudesse considerar que o peso dado a este indicador devesse ser superior.

Outra observação é que se tentou variar sempre os pesos dados aos demais indicadores (subíndices *Social* e *Infraestrutura*) de forma que ora estes possuíram peso maior e, em outras situações os indicadores tiveram seu peso minorado, buscando com isso avaliar o comportamento de cada indicador quando da construção do índice.

Depois de feita a determinação dos pesos dos indicadores em 11 tipos de testes elencados no Quadro 4.3, foi feita uma nova atribuição de pesos, agora para os quatro subíndices. Esta atribuição seguiu a mesma metodologia da Análise Hierárquica, e foram selecionados os testes que possuíram GC inferior a 10%, descritos no Quadro 4.4.

Quadro 4.4: Testes de sensibilidade para variação dos pesos dos subíndices

<b>Testes</b>	<b>Variação dos pesos nos subíndices</b>	
TSS_1	Econômico = 0,20 Social = 0,20	Infraestrutura = 0,52 Ambiental = 0,08
TSS_2	Econômico = 0,12 Social = 0,26	Infraestrutura = 0,56 Ambiental = 0,06
TSS_3	Econômico = 0,15 Social = 0,39	Infraestrutura = 0,39 Ambiental = 0,07
TSS_4	Econômico = 0,10 Social = 0,25	Infraestrutura = 0,55 Ambiental = 0,10
TSS_5	Econômico = 0,13 Social = 0,37	Infraestrutura = 0,37 Ambiental = 0,13

TSS_6	Econômico = 0,25 Social = 0,10	Infraestrutura = 0,55 Ambiental = 0,10
TSS_7	Econômico = 0,39 Social = 0,15	Infraestrutura = 0,39 Ambiental = 0,07
TSS_8	Econômico = 0,07 Social = 0,39	Infraestrutura = 0,39 Ambiental = 0,15
TSS_9	Econômico = 0,12 Social = 0,56	Infraestrutura = 0,26 Ambiental = 0,06
TSS_10	Econômico = 0,56 Social = 0,12	Infraestrutura = 0,26 Ambiental = 0,06

Onde:

TSS – teste de sensibilidade do subíndice

Também aqui são destacadas algumas observações. A primeira delas é com relação ao subíndice *Ambiental* - este possui uma significativa importância quando da construção do Índice de Vulnerabilidade, porém os dados públicos disponibilizados pelo IBGE para área de saneamento são muito frágeis (em geral estes apresentam uma situação bem equacionada para o saneamento ambiental das cidades brasileiras, o que usualmente não condiz com a realidade local). Desta forma, quando da construção do índice, se faz correta a inserção deste indicador; porém, conhecendo a base de dados nacional, optou-se por definir, em todas as situações avaliadas, um peso pequeno para o indicador – para evitar que a fragilidade dos dados de saneamento venha por mascarar a situação da vulnerabilidade às cheias urbanas. Dessa forma, esse indicador funcionou apenas como um ajuste fino, destacando situações especialmente frágeis de saneamento, nos poucos casos mapeados pelos dados oficiais, mas sem distorcer o índice como um todo.

Para os demais subíndices (*Econômico*, *Social* e *Infraestrutura*), seus pesos variaram de pequena a grande significância, da seguinte maneira: foram aqui elencados 10 testes para a variação dos pesos dos subíndices, onde, em alguns destes, procurou-se dar um peso maior em apenas um subíndice, igualar os outros dois, e o subíndice *Ambiental* sempre permaneceu com peso baixo (tal como no teste TSS\_1, no Quadro 4.4). Outro tipo de teste foi feito com variação nos quatro subíndices, porém dando um peso decrescente para a distribuição (TSS\_9); outra variação foi feita dando os maiores pesos para dois subíndices conjuntamente, e um peso mais baixo para os demais (TSS\_3).

Um exemplo de como foram feitos os cálculos matemáticos é demonstrado nos Quadros 4.5 e 4.6. É mostrado o teste de sensibilidade para os indicadores TSI\_2, combinado com TSS\_2 para os subíndices no setor censitário 510340305400001.

Quadro 4.5: Exemplo matemático de testes de sensibilidade para os indicadores

<b>Subíndice</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Econômico	Preço m <sup>2</sup>	5	0,50	3,5
	Condições entorno	2	0,50	
Social	Distribuição etária	4	0,43	3,7
	Renda	2	0,14	
	Densidade populacional	4	0,43	
Infraestrutura	Tráfego	5	0,43	3,6
	Tipo domicílio	1	0,14	
	Escolas e hospitais	3	0,43	
Ambiental	Saneamento inadequado	1	0,50	1,0
	Resíduos sólidos	1	0,50	

Quadro 4.6: Exemplo matemático de testes de sensibilidade para os subíndices

<b>Subíndice</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Econômico	3,5	0,12	3,3
Social	3,7	0,26	
Infraestrutura	3,6	0,56	
Ambiental	1,0	0,06	

Para o Quadro 4.5, a coluna *resultado* é obtida a partir do somatório das multiplicações feitas para cada indicador constituinte de cada subíndice. No teste realizado para os subíndices (Quadro 4.6), o resultado final é o produtório de todos os subíndices considerados.

Ao final de todos os testes executados, puderam ser gerados os mapas para representar espacialmente essas variações dos pesos. Foram gerados todos os mapas, para a totalidade de testes executada, porém, nesta Tese somente serão apresentados e discutidos alguns destes, como mostrado nas Figuras 4.17 a 4.22 a seguir.

### ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA - TSI1\_5

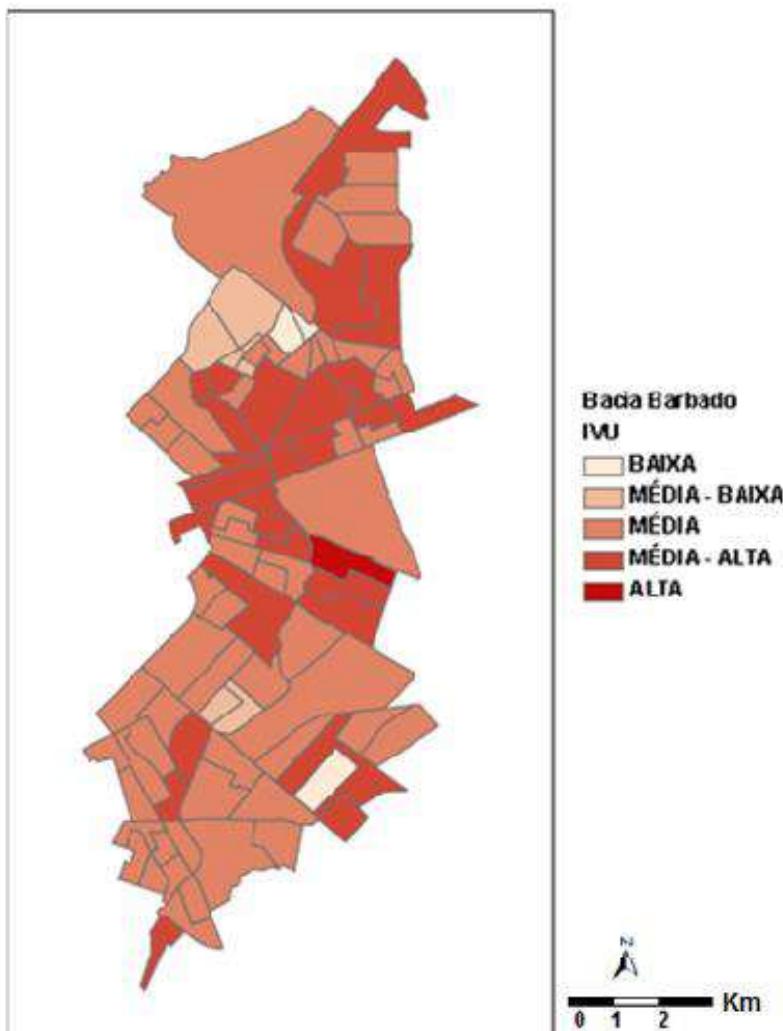


Figura 4.17: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices

O teste TSI1\_5 (Figura 4.17) consiste no teste de sensibilidade para o indicador com a variação 1 de pesos, conjugada com a variação 5 para os subíndices. Neste teste, propõe-se que os subíndices *Infraestrutura* e *Social* possuam o mesmo peso e um valor mais alto, já os subíndices *Econômico* e *Ambiental* também possuem o mesmo peso, porém com menor valor. Para os indicadores é dado um peso maior para o *Tráfego* e o *Tipo de domicílio* (Infraestrutura) e, *Idade e Renda* (Social).

Como parte-se do princípio de buscar a igualdade entre os indicadores e subíndices, é notado que praticamente a totalidade dos setores possui uma classificação de média vulnerabilidade e média-alta vulnerabilidade, sendo que a localização dos setores de média-alta e alta vulnerabilidade coincide com as áreas que margeiam o

córrego do Barbado (setores estes que abrangem bairros com infraestrutura deficiente, e algumas invasões de áreas públicas e privadas), e também os principais corredores de tráfego que interligam a cidade nos sentidos Norte-Sul e Centro-Leste.

Existem três setores que apresentam classificação de baixa vulnerabilidade às cheias urbanas, e estes apresentam condições especiais para tal – na porção superior da bacia. Estes consistem em uma área de proteção de uma das nascentes de córrego (que ainda resiste à ocupação urbana); e a outra, na parte inferior, que é uma área do exército, que também não possui nenhuma ocupação. Salienta-se que esse comportamento se repete em todos os mapas apresentados a seguir.

A Figura 4.18 apresenta uma situação semelhante a anterior, agora com o teste de sensibilidade TSI7\_3. Para este variação propõe-se que os subíndices *Infraestrutura* e *Social* possuam o mesmo peso e um valor mais alto, enquanto o subíndice *Econômico* possui um peso levemente superior ao *Ambiental* (ambos com valor inferior aos dois primeiros). Já para os indicadores é dado um peso bastante superior aos indicadores *Tráfego* e *Idade*, quando em comparação aos demais indicadores dos subíndices Social e Infraestrutura.

### ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA - TSI7\_3

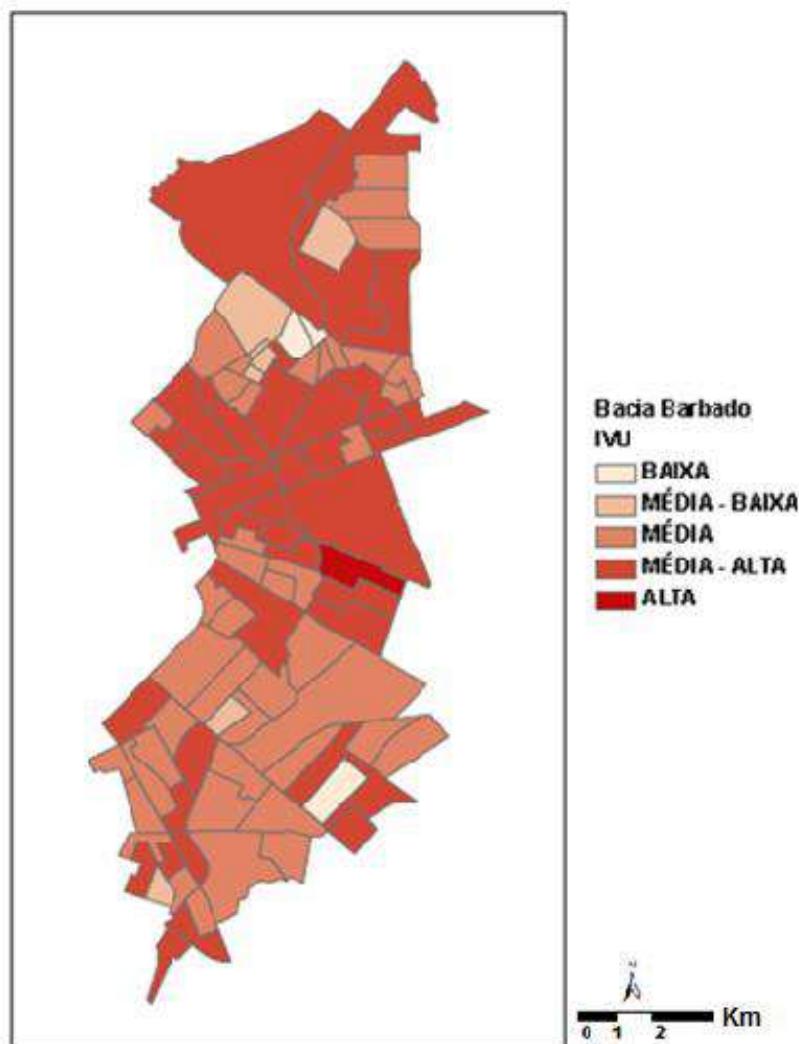


Figura 4.18: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices

Quando em comparação com a Figura 4.17 (ambas possuem configurações semelhantes para a distribuição de pesos dos subíndices) nota-se que mais setores possuem uma classificação de vulnerabilidade mais alta, fenômeno este que provavelmente acontece em função da leve elevação dada ao subíndice Econômico e, principalmente, pelo alto peso dado aos indicadores Tráfego e Idade, pois os setores situados às margens do córrego Barbado possuem elevada taxa de população em idades mais vulneráveis aos processos de cheia (idosos e crianças). Deve ser também lembrado que a bacia possui diversos corredores de tráfego que interligam a cidade e que são fortemente impactados em situações de cheias urbanas (possuindo assim uma maior vulnerabilidade).

Outra situação que foi trabalhada é apresentada na Figura 4.19 – o teste TSI3\_7. Aqui foram atribuídos pesos iguais para os subíndices *Econômico* e *Infraestrutura*, com pesos inferiores para *Social* e *Ambiental* (sendo que o subíndice Social ainda possui peso superior ao Ambiental). Já para os indicadores, foi dado um peso maior para o *Tráfego* e a *presença de Escolas e Hospitais* (Infraestrutura) e *Idade* e *Renda* (Social).

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA - TSI3\_7

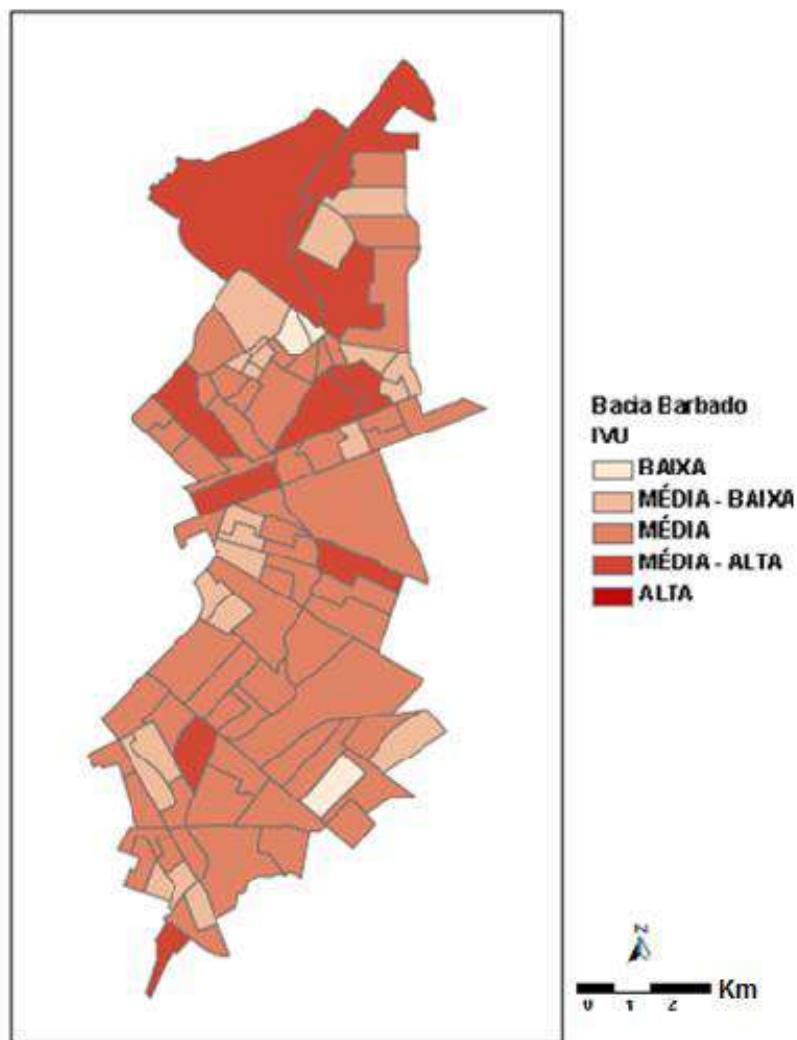


Figura 4.19: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices

Para esta avaliação, o resultado difere dos dois exemplos anteriormente mostrados. É notada uma menor quantidade de setores com classificação de média-alta vulnerabilidade, sendo que a grande maioria apresenta uma média vulnerabilidade e alguns poucos setores são classificados como média-baixa vulnerabilidade. Um fator

que impactou os valores para faixas médias a baixas foi a igualdade dada aos indicadores Idade, Renda e Tráfego, e a presença de Escolas e Hospitais.

A Figura 4.20 apresenta o teste de sensibilidade TSI6\_8, onde são atribuídos pesos iguais para os subíndices *Social* e *Infraestrutura* e, de maneira invertida ao teste da Figura 4.18, aqui é utilizado um peso levemente superior para o subíndice *Ambiental*, quando comparado ao *Econômico*. Neste exemplo, foram dados pesos iguais para os indicadores *Renda*, *Densidade populacional*, *Tipo de domicílio* e *presença de Escolas e Hospitais* (cada um destes correspondendo a 40% da distribuição de pesos entre os indicadores de cada subíndice).

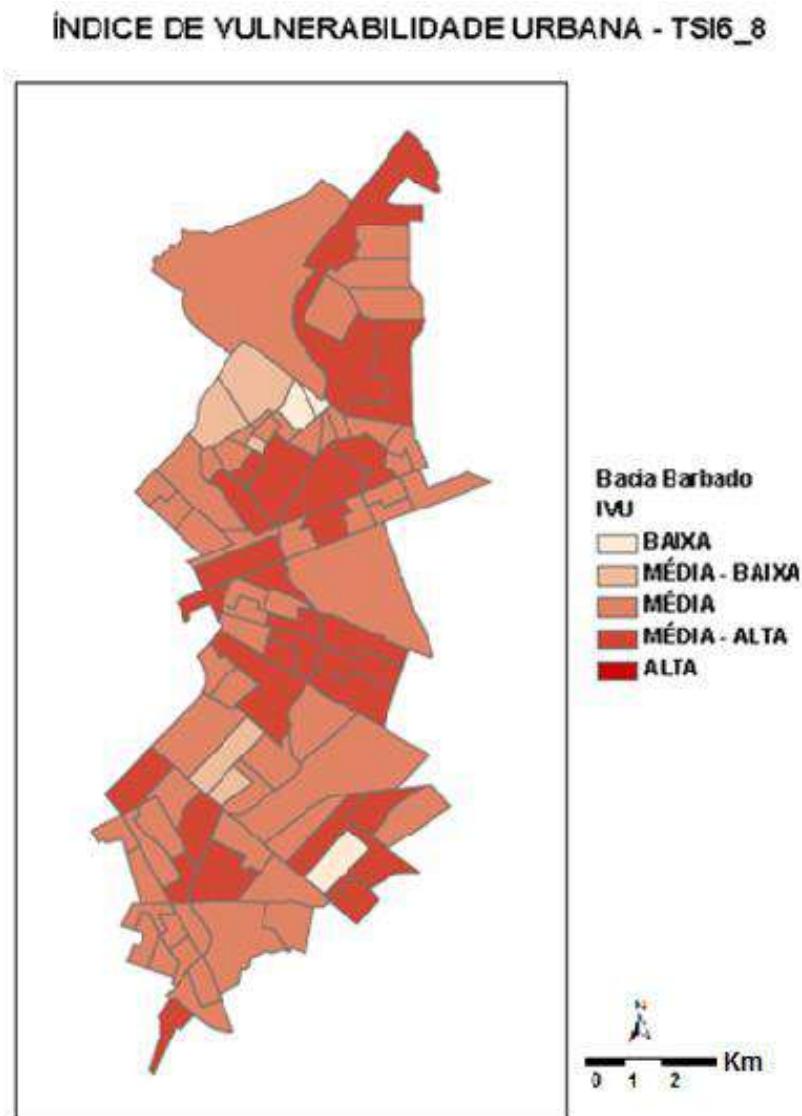


Figura 4.20: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices

Ao analisar o mapa acima, percebe-se que a maioria dos setores se classificou com uma vulnerabilidade média a alta – principalmente nos setores localizados na parte central da área de estudo – onde se localizam os bairros que possuem as piores situações de saneamento ambiental e que são oriundos de invasões (carregando assim uma infraestrutura urbana deficitária). Também é notado que, mesmo com essas peculiaridades, nenhum setor foi classificado como possuindo elevada vulnerabilidade às cheias urbanas, fato este que permite levantar algumas suposições quanto à “qualidade” dos dados de saneamento ambiental (mesmo sendo conhecida a situação bastante deficiente do local específico, na base de dados oficial a situação não apresenta tal criticidade).

Outra análise a ser feita com relação a não classificação de setores com elevada vulnerabilidade é acerca da atribuição de peso para o indicador *Tráfego*. A área de estudo é atravessada por diversas vias estruturantes e importantes para a cidade e, nessa aplicação foi dada uma pequeníssima influência para este indicador (o mesmo tem apenas 1/10 de significância na construção do subíndice Infraestrutura). Isso demonstra a capacidade de adaptação e sensibilidade do índice, quanto à variação de julgamento dos seus futuros usuários.

Na próxima análise (teste TSI8\_9 na Figura 4.21), foi proposta uma situação onde são penalizados, de uma maneira bastante forte, os indicadores *Tráfego* e *Renda* (cada um deles corresponde a 60% da atribuição dada aos indicadores em cada subíndice), e, para os subíndices, optou-se por verificar qual seria o comportamento da bacia quando, em uma situação de cheias, há uma pequena capacidade de resposta social, penalizando de maneira mais forte o subíndice *Social* (50%) e depois em escala decrescente os subíndices *Infraestrutura*, *Econômico* e *Ambiental*.

### ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA - TSI8\_9

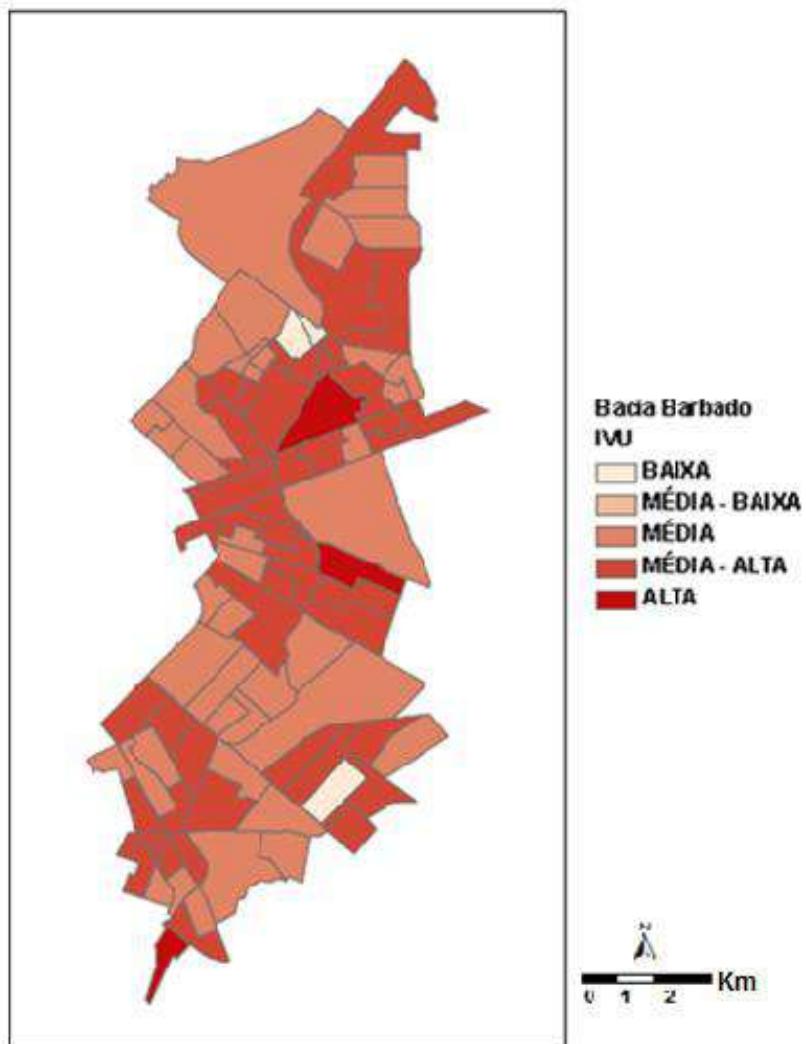


Figura 4.21: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices

Como se optou por dar um peso mais elevado para o subíndice Social era esperado que os setores inseridos em bairros de menor renda apresentassem uma classificação mais elevada para a vulnerabilidade a cheias urbanas, fato este que se comprova quando da análise da Figura 4.21, onde exatamente os bairros com os menores indicadores de renda familiar apresentam a maior vulnerabilidade (aqueles em vermelho mais intenso no mapa).

Esta é uma informação muito importante tanto para o planejamento urbano quanto para a gestão das cheias urbanas, já que o indicador *Renda* pretende mostrar exatamente o potencial social em se recuperar de um evento de cheia urbana. Ele é um indicador da fragilidade social da população. Somado a este indicador, ainda têm-se a

taxa de população com idades vulneráveis a tais eventos – idosos e crianças – e, nos bairros destacados, é considerável a taxa de menores de 10 anos.

Para o teste TSI11\_2, apresentado na Figura 4.22, também se procurou penalizar, de uma maneira bastante forte, apenas um subíndice. Desta vez foi escolhido o subíndice *Infraestrutura* (com peso de 50% na construção do índice final), arbitrando, em sequência decrescente, os pesos para os subíndices *Social*, *Econômico* e *Ambiental*. Para os indicadores, optou-se por distribuir a significância entre os indicadores *Tráfego* e *Tipo de domicílio*, no subíndice Infraestrutura; no subíndice Social, o maior peso foi atribuído ao indicador *Renda*.

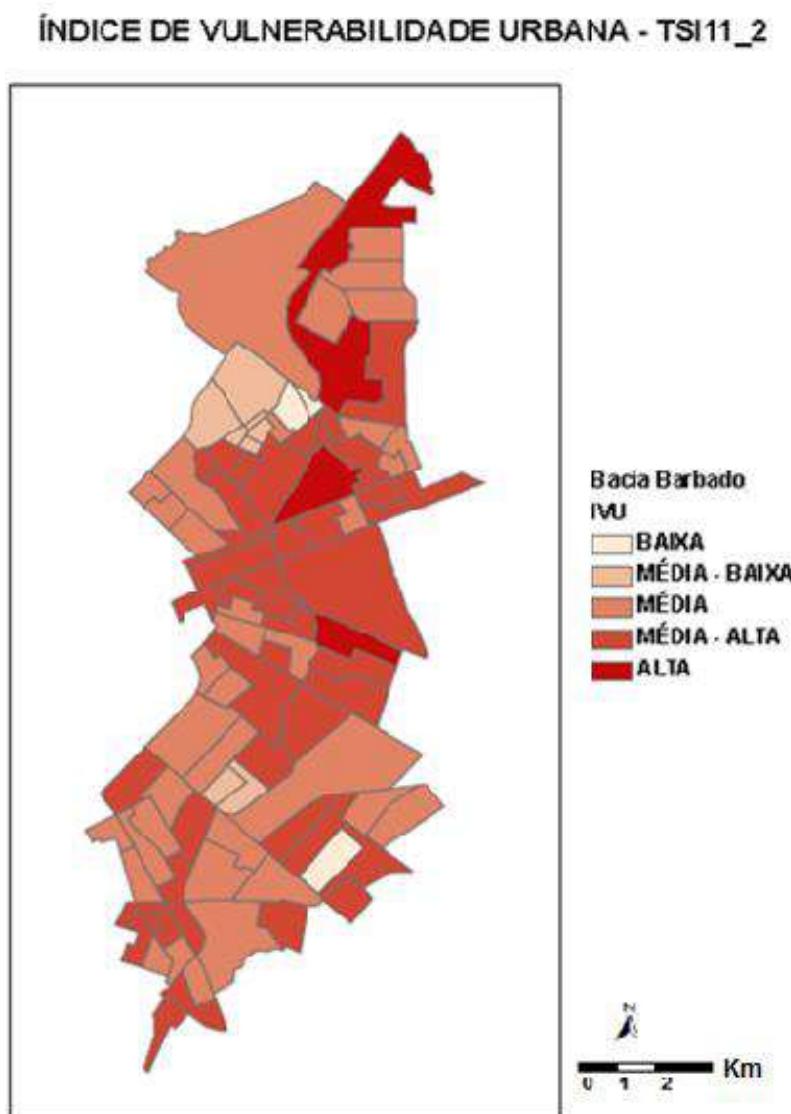


Figura 4.22: Teste de sensibilidade para os indicadores e subíndices

Pode ser verificada, na figura 4.22, uma distribuição dos setores censitários em todas as faixas de variação da vulnerabilidade propostas pelo índice, cabendo aqui diferentes análises. Nota-se a grande maioria dos setores se situando na classificação de média vulnerabilidade, uma parcela significativa possuindo classificação de média a alta vulnerabilidade (por fatores anteriormente já elencados). O diferencial são setores que, até então, ainda não haviam recebido a classificação de alta vulnerabilidade e alguns outros de média a baixa.

Possíveis explanações podem ser levantadas neste ensaio. Para buscar elucidar o fato do setor censitário no extremo superior da bacia ter recebido a classificação de alta vulnerabilidade; onde parte deste setor se constitui em uma área preservada próxima a uma das nascentes do córrego Barbado, destaca-se que o mesmo possui outra área significativa atravessada pela mais importante ligação viária entre as regiões Central e Norte da cidade de Cuiabá. Além disso, essa região apresenta uma população de renda média a média-alta e o corredor viário também se constitui em uma área “nobre e valorizada” da cidade.

Para os setores que foram classificados como possuindo uma média a baixa vulnerabilidade às cheias urbanas, salienta-se que estes são constituídos por bairros de classe média-alta e alta da cidade de Cuiabá. Como o indicador Renda procura demonstrar exatamente as fragilidades sociais de um grupo em uma determinada área; estas áreas vêm exatamente demonstrando que, como possuem uma renda elevada, possuem assim uma maior capacidade de resposta quando em um evento de cheia urbana e a sua vulnerabilidade tende a ser minorada (dado que o peso da renda foi majorado, neste teste).

Como foi anteriormente salientado, ao longo da construção desta tese foram gerados os mapas para a totalidade de testes executada; porém foi feita uma apresentação detalhada somente dos exemplos acima, com vistas a conseguir demonstrar ao leitor e/ou aplicador desta metodologia proposta, a sensibilidade na variação dos indicadores e subíndices perante as diferentes situações e julgamentos a que estes podem vir a ser aplicados. As respostas do índice foram consistentes com a realidade observada, sendo os resultados explicáveis frente à situação local, dando consistência e validando a proposta aqui desenvolvida.

#### **4.4. VULNERABILIDADE URBANA e o PLANEJAMENTO URBANO**

O estudo dos riscos sacionaturais nas áreas urbanas – visando o ordenamento do território – deve envolver o estudo da probabilidade temporal e espacial da ocorrência dos fenômenos de perigo, bem como o estudo da vulnerabilidade das comunidades e das próprias áreas a serem potencialmente afetadas por esses fenômenos.

Uma interessante e ainda controversa afirmação, defendida por diversas vertentes, é que o aumento da vulnerabilidade, tanto dos grupos sociais quanto das áreas por estes ocupadas, frente a eventos perigosos, naturais ou não, associa-se muito mais com o uso indevido e sem controle do solo, do que com o aumento efetivo da frequência ou da magnitude dos processos perigosos. Concordando-se ou não com tal afirmação, não se pode negar a importância fundamental de estudos realizados com intuito de compreender como se dá o impacto do controle do uso do solo urbano na temática dos desastres sacionaturais.

Como exemplo dessa assertiva, pode-se elencar a situação das inundações urbanas. Mesmo as inundações sendo consideradas fenômenos naturais, as mudanças nas formas de uso e ocupação do solo nas cidades – por exemplo, o aumento da impermeabilização do solo e a retificação dos cursos d’água – tem potencial para incrementar estes fenômenos, tornando-os potencialmente mais perigosos. Assim, conhecer, estimar e apresentar os lugares mais vulneráveis – tanto do ponto de vista social, ambiental e de infraestrutura – permite ao poder público visualizar onde se encontram os locais e seus respectivos ocupantes considerados como mais vulneráveis às inundações urbanas.

Como um mapa é um instrumento de comunicação bastante eficiente para analisar, manipular e expressar idéias, formas e relações que ocorrem no espaço, Loch (2006) enfatiza seu uso como importante ferramenta no processo de tomada de decisões. No tocante a temática desta Tese, o conhecimento e posterior mapeamento das áreas vulneráveis frente a processos de cheias urbanas, serve como importante ferramenta ao poder público, no que tange ao embasamento do processo de planejamento do correto ordenamento e uso do solo. Além disso, o conhecimento das vulnerabilidades de uma determinada área colabora na elaboração de toda a política de medidas mitigadoras e o planejamento de situações de emergência por parte do poder público.

O planejamento, o manejo e o gerenciamento das cidades podem e devem ser auxiliados pela análise das fragilidades do ambiente, com base no reconhecimento de seus potenciais e limitações naturais. Um instrumento bastante utilizado para tal fim é o chamado zoneamento, que tem por função primária propiciar uma relação harmônica entre o homem e o ambiente por este ocupado.

Ao longo do referencial teórico construído para esta Tese, foi também levantada a temática do zoneamento; portanto, aqui se faz uma chamada a uma definição de zoneamento proposta pelo Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), onde se diz que o zoneamento estabelece um referencial espacial (mapeamento) para o uso e ocupação do solo, em concordância com as estratégias da política urbana, dividindo assim o território em unidades territoriais que expressem o destino específico dado às diferentes regiões do município.

Com base na definição acima descrita, e em outras mais estudadas, considerando o zoneamento como uma setorização do território das cidades, de acordo com as diversas vocações e finalidades definidas para cada área, este deve ser planejado de modo a potencializar os usos, sem o comprometimento da qualidade ambiental. Assim, pode-se considerar que numa situação ideal, cada município deve apresentar seu zoneamento de acordo com as características físicas, sociais, econômicas e culturais inerentes a suas condições particulares.

Ainda referenciando o Estatuto da Cidade, este considera o zoneamento como um importante instrumento dos Planos Diretores (estes obrigatórios para gestão de municípios com população superior a 20.000 habitantes). Atualmente, na maior parte das cidades, o zoneamento atua principalmente com base no controle do uso e do porte dos lotes e edificações dentro das áreas setorizadas por este, para que assim seja garantida a proporcionalidade entre a ocupação e a infraestrutura disponível, bem como a necessidade de proteção de áreas frágeis ambientalmente e de áreas de interesse histórico e cultural, entre outros objetivos.

O mapeamento de áreas vulneráveis a processos de cheias representa uma importante ferramenta para revisão do ordenamento do uso e ocupação do solo e também para o direcionamento das expansões urbanas, pois, ao realizar o zoneamento com base nas informações disponíveis neste mapeamento, é possível a delimitação das áreas mais vulneráveis e, consequentemente, a designação dos usos adequados a estas.

Não se pode esquecer que a utilização deste tipo de zoneamento como ferramenta urbana, sempre deve vir acompanhada de uma boa gestão e planejamento da atuação do poder público quando da ocorrência dos danos, tendo em vista que os mapas espacializam as vulnerabilidades e permitem que sejam estabelecidas as diretrizes para uma ocupação urbana mais eficiente, porém não se é possível evitar por completo os eventos perigosos (como escorregamentos ou inundações). Desse modo, o reconhecimento da existência de áreas vulneráveis ajuda a organizar e direcionar esforços de resposta, em caso de inundações.

Buscando minimizar os efeitos causados pelos desastres socionaturais, tais como deslizamentos e inundações – estes cada vez mais frequentes – foi aprovada em 2012 a Lei Federal nº 12.608, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). Em âmbito nacional este foi um grande passo na busca da mitigação dos danos associados aos desastres citados, já que esta Lei estabelece, entre suas disposições, que os municípios deverão acrescentar ao Plano Diretor o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de desastres naturais, impedindo assim a ocupação de áreas desfavoráveis à habitação, e também deve ser elaborado o plano de contingência para a redução dos riscos.

Tal legislação – que funciona como um marco regulatório na mitigação dos desastres no país – também contempla o Planejamento Urbano em suas diretrizes, pois o próprio Estatuto da Cidade foi alterado com a inclusão do artigo 42-A que apresenta a obrigação da alteração do Plano Diretor Municipal (citado no parágrafo anterior).

Dentre os objetivos da Lei nº 12.608, é destacado o “VII – promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir suas ocorrências”. Os artigos 6º, 7º e 8º apresentam as competências em cada âmbito, onde cabe à União: apoiar os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no mapeamento das áreas de risco, nos estudos de identificação das ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades e risco de desastres e nas demais ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação; já aos Estados compete: identificar e mapear as áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, em articulação com a União e os Municípios; e por fim aos Municípios é dada a incumbência de identificar e mapear as áreas vulneráveis a ocorrência de desastres (BRASIL, 2012).

Os Planos Diretores, Leis de Zoneamento e outras ferramentas para a gestão do espaço urbano – que são atribuições do poder público local – devem possuir um embasamento multidisciplinar, buscando contemplar todas as necessidades econômicas, sociais, ambientais e direcionamentos que cada município necessita, inclusive podendo se valer desse caráter múltiplo para minimizar as pressões ambientais e demandas sociais que se originam pelo desenvolvimento urbano ocorrido sem planejamento. Não se pode deixar de lado, também, a premissa da inserção do conceito de sustentabilidade no planejamento urbano, onde a promoção da resiliência vem se tornando cada vez mais fundamental, de forma que as discussões precisam passar pela compreensão da situação de perigos, vulnerabilidades, suscetibilidades e riscos já existentes e projetar cenários futuros levando em consideração as alterações ambientais, de legislação e infraestruturais previstas para a promoção do aumento da resiliência nas cidades. Destaca-se que a resiliência é um conceito de longo prazo, em que as respostas ao longo do tempo devem mostrar que a cidade, como sistema, é capaz de continuar funcionando e garantindo o bem estar da população, características estas que se esperam também de cidades sustentáveis, que devem garantir sua permanência e funcionamento para as gerações futuras.

#### **4.4.1. Vulnerabilidade Urbana *versus* Zoneamento Urbano**

É de grande valia que o zoneamento urbano possua um embasamento que respeite as fragilidades ambientais das áreas urbanas. No escopo desta Tese, este enfoque é exercitado pelo uso de uma avaliação de vulnerabilidade das áreas urbanas frente aos processos de cheia, tomando esta característica como base para a estruturação do espaço, de modo que o desenvolvimento urbano, baseado em um zoneamento responsável, evite propagar vulnerabilidades. Para tanto, no caso de estudo específico, buscou-se verificar como se dá o comportamento do atual zoneamento previsto para a cidade de Cuiabá, quando combinado com a aplicação do índice de vulnerabilidade proposto nesta pesquisa de doutoramento.

Como detalhado no capítulo *Material e Métodos*, no zoneamento previsto para Cuiabá, são consideradas 3 macrozonas: a Zona Urbana de Uso Múltiplo, a Zona de Expansão Urbana e as Zonas Urbanas Especiais, sendo as últimas subdivididas em 13 categorias, onde algumas são: Zonas Predominantemente Residenciais (ZPR), Zonas

Centrais (ZC), Zonas de Interesse Ambiental (ZIA), Zonas de Interesse Histórico (ZIH), Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), Zonas de Corredores de Tráfego (ZCTR).

A Figura 4.23 traz um organograma que apresenta a Lei complementar nº 389/2015, que estabelece a Lei de Uso, Ocupação e Urbanização do Solo para Cuiabá.

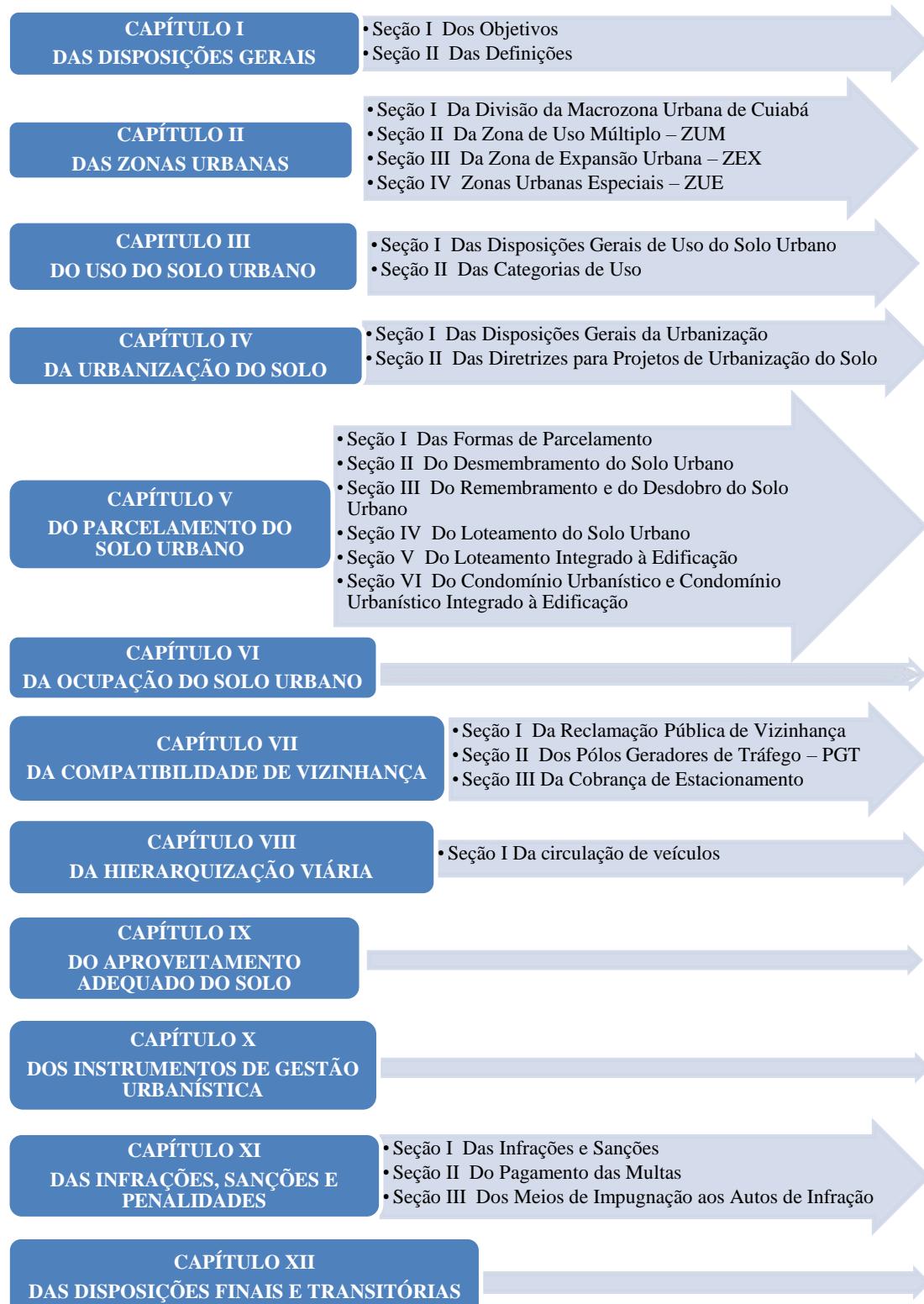


Figura 4.23: Organização da Lei nº389/2015

Já na Figura 4.24, é possível ver a planta do Zoneamento Urbano previsto para Cuiabá (instituído pela mesma legislação). Como o caso de estudo definido para representar a situação municipal foi a bacia do Córrego Barbado, foi feito um recorte no zoneamento para detalhar melhor a região desta micro-bacia (Figura 4.25), para que pudesse ser melhor visualizado o zoneamento desta área específica e posteriormente pudesse ser realizada a superposição do zoneamento urbano com a aplicação do índice de vulnerabilidade.



Figura 4.24: Planta do Zoneamento Urbano previsto para Cuiabá

## Planta do Zoneamento Urbano de Cuiabá

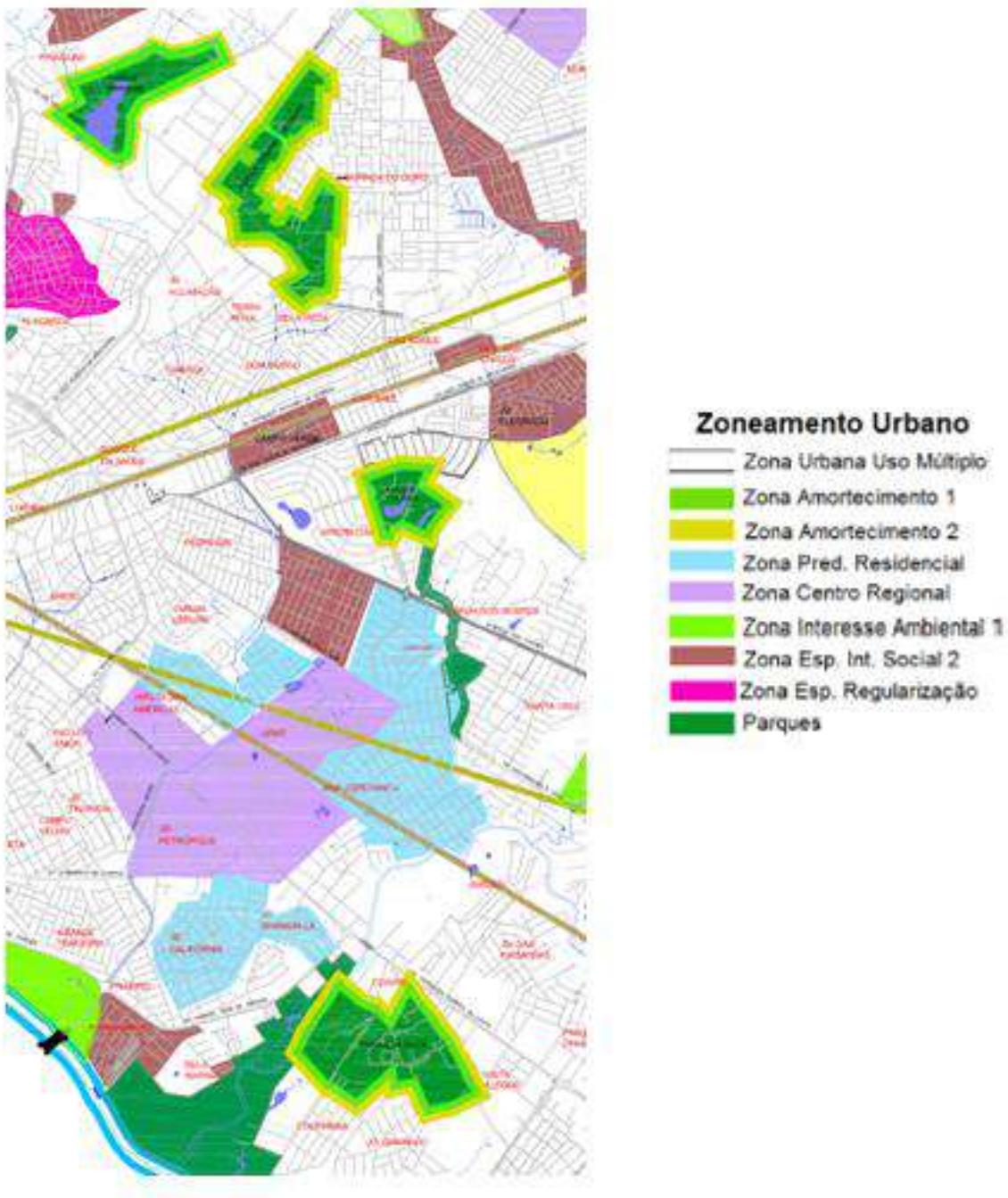


Figura 4.25: Detalhe do zoneamento urbano na área da bacia do Córrego Barbado

Algumas zonas se destacam na Figura 4.25: a área em tom de lilás se constitui em um subcentro regional, em função da Universidade Federal de Mato Grosso e do entorno da Av. Fernando Correa da Costa (importante via estrutural que interliga a zona sul a região central da cidade, agregando forte presença comercial e também domiciliar de renda média-alta a alta); as faixas em degrada de verde a amarelo são consideradas como parques e suas zonas de amortecimento, dando destaque ao parque Massairo

Okamura, situado na região de montante da bacia, onde se encontram as nascentes do córrego Barbado; e as zonas em tom de marrom, que são classificadas como zona especial de interesse social, situadas no trecho central da bacia e no exutório da mesma, sendo estas áreas assim classificadas em função de sua ocupação (uma parte delas em condições irregulares) por população de baixa renda.

As zonas em tom de azul são classificadas como zonas predominantemente residenciais, e se situam basicamente no entorno do subcentro regional, possuindo esta classificação basicamente em função da presença de serviços disponíveis nesse subcentro. Também no exutório da bacia do Barbado – localizada ao lado da zona especial de interesse social – está situada uma zona especial de interesse ambiental, que é formada pela Área de Preservação Permanente do rio Cuiabá.

Foram realizados diversos testes onde se buscou uma variação da determinação dos pesos aplicados aos subíndices e indicadores que compõe o índice de vulnerabilidade – apresentados no item 4.3 da Discussão dos Resultados. Uma das aplicações foi selecionada para representar a vulnerabilidade do caso de estudo (Figura 4.26), onde foi proposto que os subíndices *Infraestrutura* e *Social* possuam maior peso dentre os 4 subíndices e o mesmo peso entre si (0,37 cada) e os subíndices *Econômico* e *Ambiental* possuam menor valor (0,13 cada) e também iguais entre si; para os indicadores, foi dado um peso maior para o *Tráfego*, *Tipo de domicílio*, *Idade* e *Renda*. Lembrando que a atribuição dos pesos deve ser um exercício de responsabilidade do gestor ou aplicador da metodologia proposta e, neste caso, foi selecionada uma aplicação apenas por questões logísticas, para que se pudesse proceder à próxima ação a ser executada. Essa escolha pareceu “razoável” do ponto de vista da autora deste trabalho, representando sua visão, sem a pretensão de definir o “melhor” conjunto de pesos.

### ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA A CHEIAS

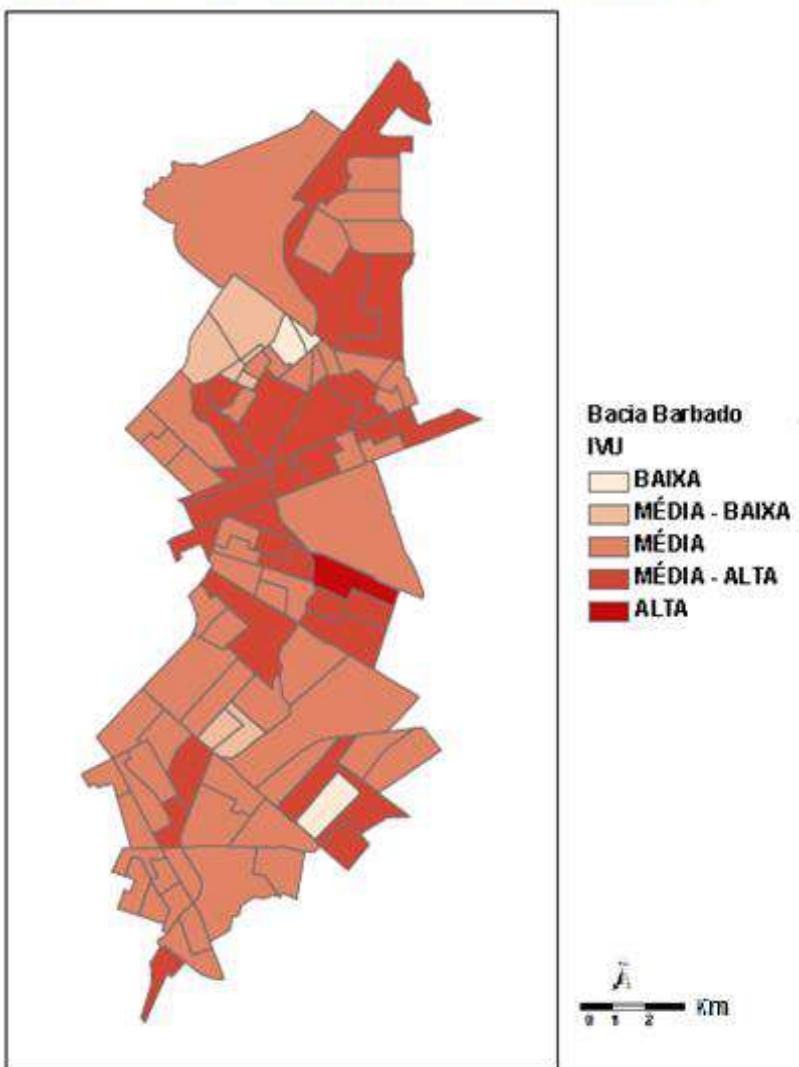


Figura 4.26: Aplicação do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias

Em sequência, foi feita a superposição (executada com o auxílio de uma ferramenta GIS) do mapa obtido pela aplicação do índice de vulnerabilidade, com o zoneamento urbano previsto para Cuiabá, conforme apresentado na Figura 4.27. Essa combinação permitiu verificar o comportamento do zoneamento, quando em comparação com a resposta obtida pela avaliação da vulnerabilidade da área urbanizada frente aos processos de cheias.

## Zoneamento urbano e Mapeamento da vulnerabilidade

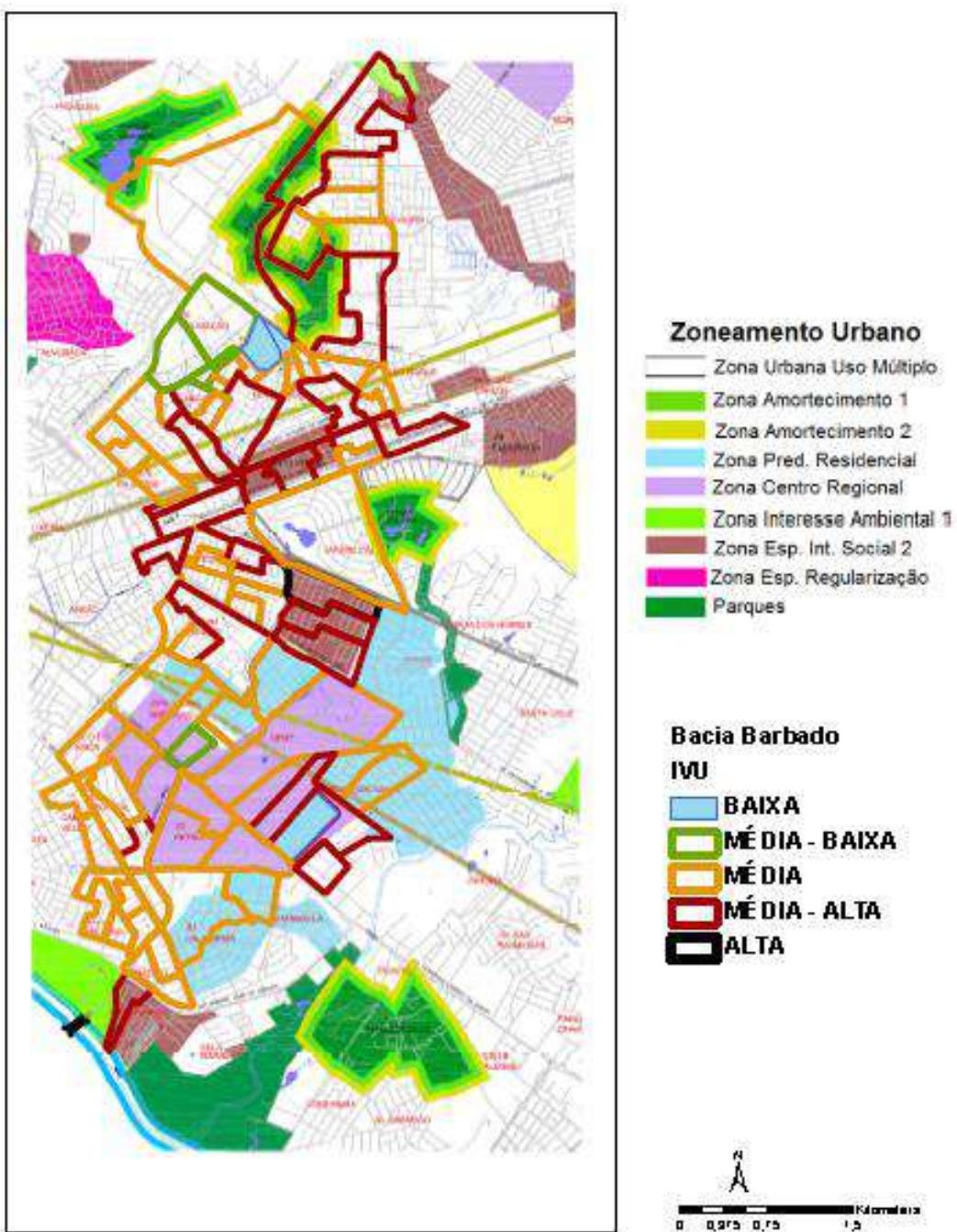


Figura 4.27: Superposição do Zoneamento Urbano com o mapa do Índice de Vulnerabilidade

A análise da Figura 4.27 permite notar que algumas áreas com classificação de vulnerabilidade urbana média a média-alta estão superpostas a áreas com classificação de parques e suas zonas de amortecimento – como visto no trecho superior da Bacia, região esta onde se encontram as nascentes do córrego Barbado; já as zonas de interesse social praticamente se encontram todas nos setores censitários classificados com média-

alta e alta vulnerabilidade urbana a cheias, sendo que essas áreas consistem majoritariamente em ocupações irregulares por população de baixa renda, infraestrutura deficiente e todas elas situadas nas áreas marginais ao córrego (ou seja, ocupando as áreas de proteção permanente deste).

Mesmo as áreas situadas no subcentro regional e os bairros predominantemente residenciais em seu entorno possuem uma vulnerabilidade média quanto aos eventos de cheias urbanas, basicamente em função da questão estrutural do tráfego na área (constituído por importantes vias para a cidade, que já sofrem com problemas de alagamentos, como visto no item 3.1 Área de Estudo), e também na deficiência com relação à questão de esgotamento sanitário na região (nem toda a área possui coleta do esgoto sanitário).

Pode ser percebido que, no planejamento proposto pela prefeitura da cidade, em algumas situações, não é feita a devida consideração da questão ambiental. Como exemplo, cita-se a existência de uma área com fragilidades em relação a eventos de cheias, que possui ocupação por população de baixa renda e apresenta falhas no atendimento da infraestrutura urbana, e que recebeu a classificação de zona de interesse social – o que habilitaria a área ao processo de regularização parcial ou total, formalizando uma ocupação de risco.

Portanto, tal classificação oficializa a ocupação em uma área com elevada vulnerabilidade a cheias, ao invés de buscar promover as adequações necessárias para posterior ocupação, como pode ser visto no trecho central e no exutório da Bacia do Barbado. Nestas áreas, se situam bairros resultantes de invasões de terrenos públicos, com pouquíssima infraestrutura urbana, situados nas áreas marginais ao córrego, que possuem vulnerabilidade média-alta a alta, e todos foram considerados prioritários pelo poder público municipal para o processo de regularização fundiária.

No exutório da bacia se encontra o bairro conhecido como Praeirinho. Este bairro possui uma ocupação antiga e, por sua localização geográfica (na área marginal ao córrego Barbado e na planície inundável do rio Cuiabá), já atravessou diversas situações de cheias. Outro exemplo é a invasão conhecida como Renascer – situada no trecho central da área de estudo, no bairro Jardim Itália (região nobre da cidade) – de ocupação bem mais recente (década de 2000), também situada às margens do curso d'água e com infraestrutura muito deficiente (inexistência de esgotamento sanitário,

asfaltamento, serviços de drenagem, entre outros), que também obteve o potencial para legalização fundiária em uma área que originalmente não deveria possuir ocupação.

Conforme citado em Robaina & Trentin (2013), a execução do zoneamento do território com base em uma avaliação da vulnerabilidade e da suscetibilidade, é considerado um instrumento fundamental para a integração da gestão dos riscos ao planejamento ambiental urbano. De maneira que o zoneamento poderia ser utilizado buscando promover usos produtivos e com menores danos decorrentes dos eventos perigosos, assegurando assim a manutenção da funcionalidade do sistema urbano.

Veyret (2007) observa que o mapa do zoneamento confere tanto ao risco quanto a vulnerabilidade um caráter objetivo e, além disso, atribui ao mesmo uma designação de problema público; visto que este mapa expõe os espaços em que tais aspectos são mais ou menos elevados e, portanto, requerem regulamentação para seu uso. Por exemplo, pode haver determinadas regiões onde, em função de elevada vulnerabilidade, pode ser proibido o adensamento de moradias, ou, em outras situações, onde existe uma menor vulnerabilidade, que torna a área passível de ser ocupada com determinado cuidado, e outras ainda onde a vulnerabilidade pode ser considerada como mínima ou ausente.

#### **4.4.2. Gestão de Riscos de Desastres – Plano de Contingência**

Com a já citada Política Nacional de Defesa Civil (Lei nº 12.608) – que busca promover o fortalecimento e a participação dos municípios na gestão de riscos de desastres – veio à tona a fragilidade do sistema quando da implantação de tal política. Realidade esta muito frequente em grande parte dos municípios brasileiros, principalmente naqueles de menor população, pois estes em grande parte dos casos, não possuem estrutura suficiente para realizar seu planejamento e aplicar os preceitos da Gestão de Risco em seu território.

Em junho de 2014 foi promulgada a Lei Federal nº 12.983, que dispõe sobre a transferência de recursos da União para os municípios para execução de ações de prevenção em áreas de risco, de resposta e recuperação em áreas atingidas por desastres. No escopo desta lei, são definidos os quesitos que devem compor o Plano de Contingência em situações de desastres, plano este que deve ser elaborado pelo município como uma de suas ferramentas de planejamento.

O artigo 3º, parágrafo 7º, dispõe sobre os elementos a serem considerados no Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil a ser elaborado pelo Município:

*I – indicação das responsabilidades de cada órgão na gestão de desastres, especialmente quanto às áreas de preparação, resposta e recuperação;*

*II – definição dos sistemas de alerta a desastres, em articulação com o sistema de monitoramento, com especial atenção aos radio amadores;*

*III – organização dos exercícios simulados, a serem realizados com a participação da população;*

*IV – organização do sistema de atendimento emergencial à população, incluindo-se a localização das rotas de deslocamento e dos pontos seguros no momento do desastre, bem como dos pontos de abrigo após a ocorrência do desastre;*

*V – definição das ações de atendimento médico-hospitalar e psicológico aos atingidos por desastres;*

*VI – cadastramento das equipes técnicas e de voluntários para atuarem em circunstâncias de desastres;*

*VII – localização dos centros de recebimento e organização da estratégia de distribuição de doações e suprimentos.*

É notório que muitos municípios não possuem a estrutura necessária para realizar este trabalho e dependerão de apoio para o cumprimento desta lei. A cidade de Cuiabá, em outubro de 2014, buscou sua adequação a nova legislação vigente, elaborando seu Plano de Contingência – Chuvas, o qual será brevemente apresentado nesta Tese (COMPEDEC – CUIABÁ, 2014).

Tal Plano foi elaborado por meio de uma parceria entre a Prefeitura de Cuiabá e a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil, com a justificativa da necessidade de potencializar e dinamizar as ações que são desenvolvidas pela prefeitura municipal – tanto na parte preventiva, como emergencial – em função das chuvas intensas ocorridas na cidade, sendo este brevemente apresentado adiante.

O objetivo principal definido no escopo do Plano é a definição da estrutura operacional e as medidas de prevenção, alerta e emergência para as situações de calamidade parcial ou total, provocadas por desastres naturais, considerando enchentes, alagamentos, inundações, vendavais e acidentes de grandes proporções.

Foi executado um diagnóstico (bastante preliminar, grifo próprio) onde são elencadas as principais causas de contribuição às situações de calamidades, sendo estas: as áreas com cotas baixas, o entorno de nascentes, os cursos d'água em geral (córregos e rios urbanos). Além disso, um grave problema comum à cidade, como um todo, é a não preservação das Áreas de Proteção Permanente (APP), tanto de parques como de cursos

d'água, a ocupação irregular e desordenada das APP's e de áreas de risco, bem como a elevada taxa de impermeabilização do solo.

As estratégias previstas pelo Plano de Contingência se dividem em três níveis de atuação: *Nível I – Prevenção*, *Nível II – Alerta* e *Nível III – Emergência*, e estas serão brevemente explicadas a seguir.

### ***NÍVEL I – Prevenção***

É a chamada condição de normalidade, onde a possibilidade de ocorrência de qualquer evento é considerada remota. São recomendados os seguintes procedimentos:

- Estado de prontidão pela Defesa Civil;
- Campanhas educacionais com a população, tornando a mesma um ator participante das soluções, a partir da conservação das margens dos córregos e rios, não disposição dos resíduos em locais incorretos, respeito ao padrão de permeabilidade mínimo de 25% dos lotes, entre outras ações;
- Fiscalização por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) para impedir a implantação de novas construções em áreas de risco;
- Manutenção do mapeamento das áreas de risco, a ser executada pela SMMA e pela Defesa Civil Municipal;
- Programação para execução de obras de contenção em áreas de risco, limpeza e desassoreamento dos córregos, limpeza e manutenção do sistema de drenagem urbana (bocas de lobo, bueiros, entre outras estruturas), serviços estes que cabem a Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP) e a Secretaria Municipal de Serviços Urbanos (SMSU);
- Programação para recuperação vegetal das áreas degradadas, ficando a cargo da SMSU e da SMMA.

### ***NÍVEL II - ALERTA***

Quando em caso de previsão ou ocorrência de chuvas fortes é feita a alteração do nível de Prevenção para o nível de Alerta. Tal mudança é feita pela Defesa Civil baseada nos dados resultantes do acompanhamento do monitoramento feitos pelos serviços meteorológicos e também medição de nível nos rios e córregos.

Assim a Defesa Civil deve acionar as secretarias de Obras Públicas, Meio Ambiente e Assistência Social, colocando-as em estado de Alerta (Nível II). A demanda

maior nesse momento é sobre a secretaria de Obras Públicas, pois a mesma deverá manter uma equipe mínima de pessoal e equipamentos para atender qualquer tipo de situação.

Além disso, durante todo o período chuvoso na região, a partir da previsão de chuvas de média a forte intensidade, é recomendado às Administrações Regionais que estas percorram as áreas consideradas como de risco (APP's, córregos, entre outras), e também sejam verificadas as galerias pluviais, bocas de lobo e bueiros (inclusive com equipes de limpeza). Para efeitos de classificação, considera-se uma chuva de intensidade média quando a precipitação atinge entre 30 e 50 mm/h. Salienta-se que a este valor de intensidade de chuva, deveria ser incluída uma duração limite para tal.

### **NÍVEL III – EMERGÊNCIA**

Quando feita a mudança de nível de Alerta para Emergência, deve-se continuar procedendo o monitoramento das áreas de risco (a ser realizado pelas Administrações Regionais). Além disso, deve ser mantido contato com as lideranças comunitárias – para que sejam constatados quais os problemas nas comunidades, bem como deve ser aberto um contato de informação direta com a Defesa Civil, para que esta possa articular corretamente as Secretarias a serem envolvidas no atendimento das ocorrências.

No nível III a Secretaria de Obras Públicas deve montar uma equipe completa em regime de plantão (24 horas) com engenheiros responsáveis, pessoal, veículos, e equipamentos tais como pás mecânicas para o atendimento às ocorrências nas áreas de risco. E a Defesa Civil fica responsável por centralizar o recebimento das informações sobre as ocorrências, coordenar as ações de mobilização das equipes, e interagir com todas as equipes para atender e solucionar os problemas ocorridos.

Também são definidas as atribuições de cada órgão municipal no Plano de Contingência de Chuvas, de maneira que apenas para exemplificar tais direcionamentos, o quadro 4.7 apresenta quais as atribuições das Secretarias Municipais de Obras Públicas e de Serviços Urbanos para cada um dos níveis acima elencados.

Quadro 4.7: Detalhamento das atribuições das secretarias no Plano de Contingência

<b>SECRETARIAS</b>	<b>Nível I - PREVENÇÃO</b>	<b>Nível II - ALERTA</b>	<b>Nível III - EMERGÊNCIA</b>
SMOP/SMSU	✓ Limpeza e conservação de bueiros, caixas de inspeção, sarjetas,	✓ Estado de prontidão com equipe mínima disponível com	✓ Garantir a limpeza de alojamentos levando todo material e equipamentos necessários, tais como:

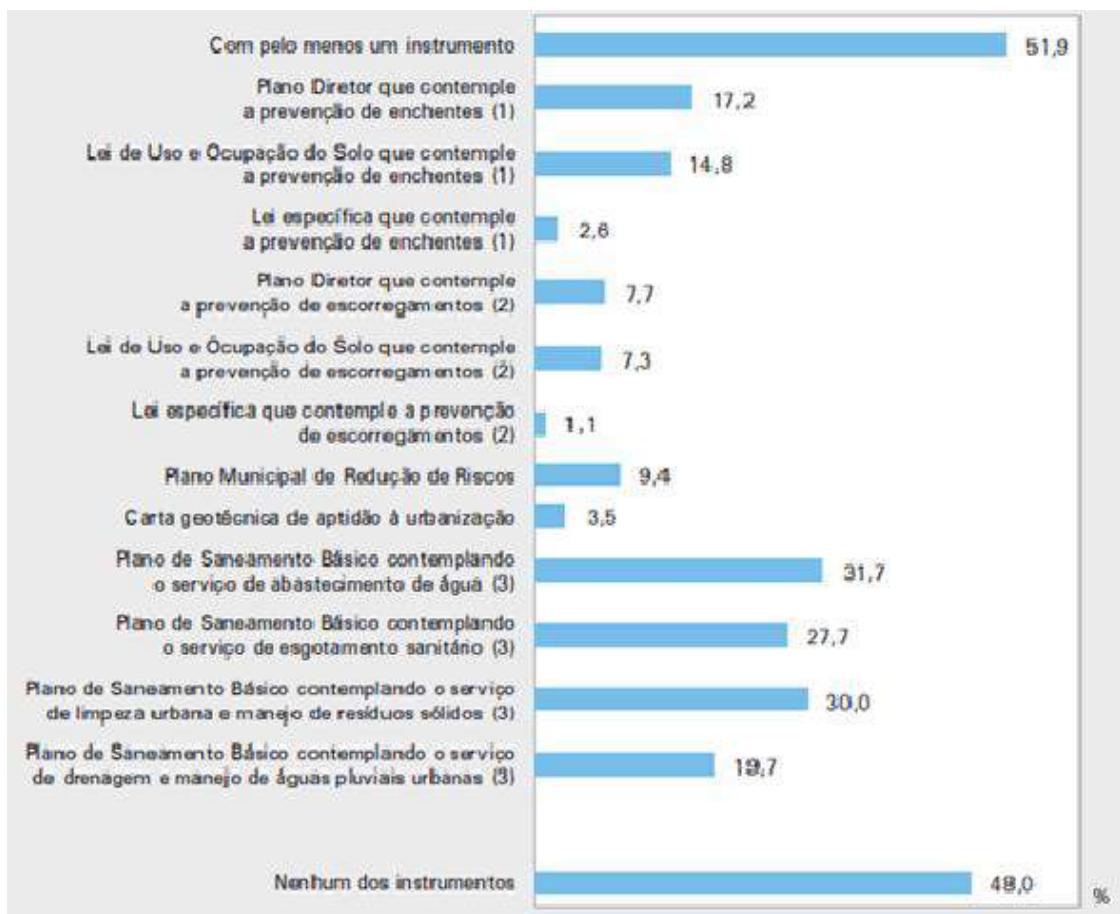
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ valas, redes fluviais;</li> <li>✓ Estado de prontidão com equipe mínima disponível;</li> <li>✓ Levantamento das áreas de concentração de lixo;</li> <li>✓ Recolhimento de lixo e entulhos;</li> <li>✓ Interligar rádios de comunicação com a COMPDEC;</li> <li>✓ Destacar técnicos para palestras junto com a Defesa Civil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>engenheiros, técnicos, motoristas e operadores de máquinas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vassoura, sabão, produtos de limpeza, etc;</li> <li>✓ Providenciar carro pipa;</li> <li>✓ Manter equipes permanentes no local do desastre;</li> <li>✓ Designar técnicos para compor o quadro emergencial da Defesa civil.</li> </ul>
--	---	---	---

Fonte: COMPEDEC – Cuiabá (2014)

Em 2013, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística inseriu algumas questões relacionadas à ocorrência de desastres (bloco: Gestão de Riscos e Respostas a Desastres) na pesquisa de informações básicas municipais – MUNIC 2013. Foi pesquisada a existência dos instrumentos de planejamento e gestão de risco ou fatores de prevenção – fatores estes que são responsáveis por diminuir o grau de vulnerabilidade frente aos perigos existentes nas localidades (IBGE, 2013).

Foram pesquisados 12 instrumentos de planejamento capazes de contemplar e abordar a prevenção, a redução e a gestão de riscos de desastre, sendo estes resumidamente Planos Diretores, que contemplem a prevenção de enchentes e escorregamentos, Leis de Uso e Ocupação do Solo, contemplando a prevenção de enchentes e escorregamentos, Leis Específicas, que contemplem a prevenção de enchentes e escorregamentos, Carta Geotécnica, Plano Municipal de Redução de Riscos, e Plano de Saneamento Básico, contemplando as quatro vertentes do saneamento (Água, Esgoto, Resíduos e Drenagem).

A Figura 4.28 vem apresentando os resultados desse levantamento. Pode ser visto que, em 2013, 51,9% dos municípios do Brasil possuíam, pelo menos, um dos instrumentos de planejamento urbano pesquisados, sendo os mais presentes os Planos de Saneamento Básico, contendo informações a respeito de água, resíduos sólidos e esgoto, e em sequência os Planos Diretores e Leis de Uso e Ocupação do Solo Urbano que contemplem a temática de prevenção a enchentes.



(1) Enchentes ou inundações graduais, ou enxurradas ou inundações bruscas.

(2) Escorregamentos ou deslizamentos de encostas.

(3) Plano de Saneamento Básico.

Figura 4.28: Percentual de municípios, conforme presença de instrumentos de planejamento.

Fonte: Perfil dos Municípios Brasileiros, (IBGE, 2013)

Pode ser percebido também um elevado número de municípios que não apresenta nenhum destes instrumentos com foco voltado ao gerenciamento do risco de enchentes e escorregamentos (48%), o que vem a exemplificar a dificuldade da inserção da política de gestão do risco de desastres no arcabouço do planejamento urbano como um todo.

## 4.5 MODELAGEM HIDRODINÂMICA DAS CHEIAS

Comumente, o problema das cheias urbanas sempre foi tratado com foco nos alagamentos originados por chuvas intensas e falhas nos sistemas de drenagem; porém, como já discutido neste trabalho, esta lógica tem se modificado recentemente, a partir

da busca do processo de gerenciamento dos riscos, ao invés da simples redução dos alagamentos. Para tanto, se faz necessário entender a concepção de risco, partindo do reconhecimento de que o risco possui três componentes básicos: um associado à probabilidade de ocorrência do evento perigoso, outro associado às consequências advindas deste evento (dependente das características do sistema) e uma terceira relativa a capacidade de reação e/ou recuperação do sistema. Portanto, o risco é função do perigo, da vulnerabilidade e da resiliência.

O risco está condicionado à existência de um perigo, ou seja, um evento ou fonte que dê origem ao risco. No caso do risco de cheias, o perigo é representado pelas chuvas; no entanto, a simples ocorrência deste evento não determina a presença de risco, que também depende de como a chuva é transformada em vazão e atravessa a bacia urbanizada. Portanto, a discussão de avaliação de riscos, depende de uma informação sobre o comportamento das inundações e como estas acessam o sistema, potencializando as vulnerabilidades e gerando danos. A definição de cenários de risco precisa mapear diferentes perigos, ou seja, diferentes chuvas, com diferentes recorrências, normalmente necessitando do suporte de modelagem matemática.

Para a realização da modelagem das cheias urbanas e obtenção das manchas de alagamentos, como suporte à discussão do estudo de caso e sua relação com o planejamento urbano, foi utilizado o modelo hidrodinâmico MODCEL, conforme descrito no Capítulo de Material e Métodos.

Assim, convém ressaltar que a combinação das manchas de alagamento, gerando efetivamente a exposição de bens e pessoas, é que ativa a vulnerabilidade mapeada. Portanto, a conjugação do perigo com as vulnerabilidades dos elementos expostos é que define o risco associado ao processo de inundação e que incide sobre o sistema socioeconômico da cidade.

Para a modelagem hidrológica foram feitas algumas considerações para obtenção dos resultados, sendo estas:

- O tempo da duração da chuva é estimado como sendo o tempo de concentração da bacia do córrego Barbado, e este possui o valor de 150 minutos;
- A intensidade de chuva foi determinada pela equação proposta para o posto de Cuiabá;
- A distribuição espacial da chuva foi considerada homogênea por toda a bacia;

- A distribuição temporal da chuva foi calculada a partir do Método proposto pelo *Bureau of Reclamation*;
- Foram utilizados diversos tempos de recorrência para a chuva de projeto precipitada sobre a bacia, estes definidos em função de diferentes particularidades que se desejou avaliar (adiante apresentadas quando da descrição dos cenários propostos), sendo estes tempos: 2, 10, 25 e 50 anos;
- Foi utilizada precipitação do dia 21/04/2001 para realizar a calibração do modelo. Esta se constitui na maior precipitação medida dos últimos 50 anos para o posto pluviométrico mestre Bombed (situado na área de estudo) com volume acumulado de 166 mm em um período de 6 horas;
- Os hietogramas gerados foram calculados com 10 intervalos de 15 minutos cada;
- Para a determinação da chuva efetiva é utilizado o método Racional aplicado de forma distribuída (este é incorporado ao modelo hidrodinâmico). Para tanto, as áreas superficiais devem ser associadas ao chamado coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente *Runoff* (este associado ao tipo de ocupação da área e características do solo e declividade), este pode ser obtido em diferentes literaturas, sendo os valores adotados neste estudo descritos no Quadro 4.8.

Quadro 4.8: Coeficientes de Runoff adotados para a modelagem

<b>Coeficiente Runoff</b>	<b>Tipo de ocupação/uso do solo/declividade</b>
0,3	Áreas vegetadas com baixa declividade
0,35	Áreas vegetadas com média declividade
0,45	Residências múltiplas separadas com baixa declividade
0,50	Residências múltiplas separadas com média declividade
0,8	Somente via pavimentada (Avenida estrutural)
0,7	Área comercial em bairro (com avenida principal ou estrutural) com baixa declividade
0,55	Área comercial em bairro com baixa declividade
0,6	Prédios de apartamentos com baixa declividade
1	Espelho d'água (lagos, canal, córrego)

A representação do córrego Barbado no MODCEL foi completa desde sua área de nascentes até sua foz no rio Cuiabá. Para as simulações com o modelo hidrodinâmico foi construído um arranjo em células de escoamento para a bacia do córrego Barbado,

conforme apresentado na Figura 4.29, onde a bacia está sobreposta a uma imagem de satélite para melhor visualização desta sobre a mancha urbana da cidade de Cuiabá.

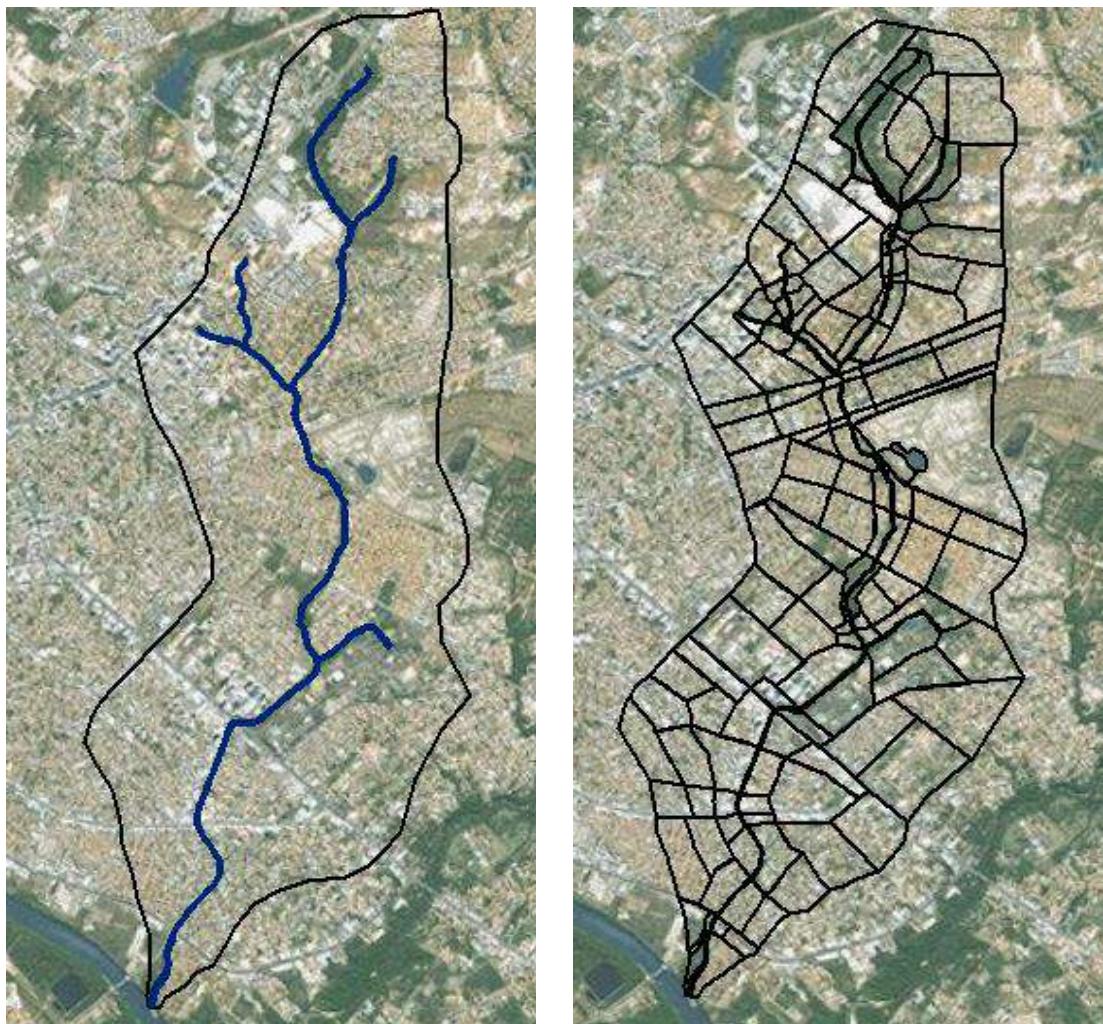


Figura 4.29: Bacia do córrego Barbado e células de escoamento.

Para construção do arquivo de entrada de dados do modelo, foi necessário o uso de informações topográficas e fisiográficas da área de estudo, sendo estas obtidas a partir de uma planta (arquivo em formato CAD) em escala 1:1000 com as informações de cotas topográficas detalhadas ao nível de pontos importantes (cruzamentos de ruas, por exemplo), arquivo este cedido pela Secretaria de Obras da prefeitura de Cuiabá.

Foram utilizadas 202 células para representar a superfície da bacia no MODCEL, sendo estas células dos tipos: planície urbanizada, planície não urbanizada, canal, galeria, poço de visita. Para representar as interações entre estas células, foram utilizadas as ligações de: canal, vertedor, planície, orifício, entrada de galeria, saída de

galeria, galeria e captação por microdrenagem. A célula em azul, mostrada a jusante da bacia, na Figura 4.30, busca simular a foz do córrego Barbado no rio Cuiabá (e posteriormente simular a influência deste rio no regime do córrego).

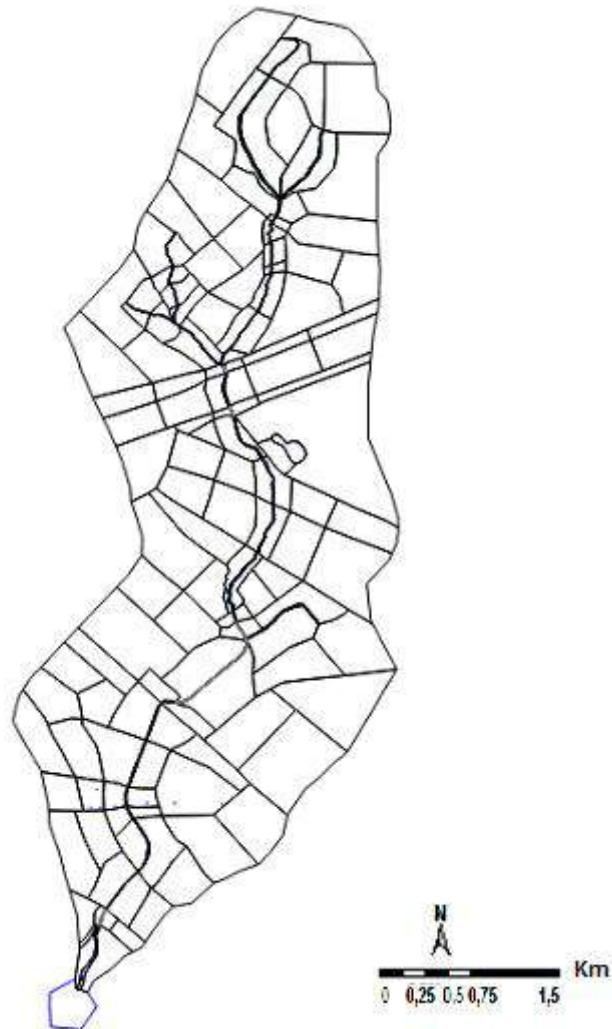


Figura 4.30: Esquema de células do modelo para a bacia do córrego Barbado.

Foram propostas diferentes situações para modelar a bacia, sendo estas brevemente descritas a seguir:

- O primeiro cenário foi utilizado para calibrar o modelo construído, simulando os impactos na bacia de uma chuva real sobre a mesma, a partir de uma precipitação ocorrida no dia 21/04/2001. Esta precipitação se constitui no maior volume precipitado acumulado nos últimos 50 anos na cidade de Cuiabá com volume acumulado de 166 mm em um período de 6 horas. Tal chuva possuía características particulares e a bacia do córrego Barbado foi uma das mais

impactadas na cidade. A bacia tem suas nascentes nas áreas de cota mais elevada da cidade e seu exutório no ponto mais baixo (no rio Cuiabá) e esta precipitação fez exatamente este caminho, dando origem a um brusco elevamento no nível da água na calha do córrego que também adquiriu elevada velocidade; assim, entre o médio e baixo trecho do canal, os impactos foram severos;

- Este conjunto de cenários avaliados considera a bacia funcionando sem a interferência do rio Cuiabá na região próxima a foz do córrego, onde as variações de respostas ocorrem em função da diferenciação das chuvas de projeto, sendo estas definidas como:
  - TR 10 anos – buscando avaliar o comportamento da bacia com o tempo de recorrência recomendado para os projetos de microdrenagem, esta avaliação foi proposta em função dos problemas de alagamentos recorrentes na área de estudo (levantados com base em pesquisa bibliográfica, em comunicações com a Defesa Civil Municipal e em experiência pregressa da autora da Tese);
  - TR 25 anos – este tempo de recorrência é previsto como sendo o ideal para projetos de macrodrenagem nas mais diversas recomendações metodológicas no Brasil, inclusive pelo Ministério das Cidades, que define este tempo como mínimo de projeto para que um município possa pleitear financiamento deste Ministério;
  - TR 50 anos – com esse tempo de recorrência busca-se avaliar uma situação mais crítica para o sistema a ser modelado, introduzindo uma possibilidade de falha no projeto (que em condições ideais não deveria falhar para os tempos anteriormente propostos);
- Os quatro cenários seguintes levam em consideração a influência do rio Cuiabá no nível da água do trecho final do córrego Barbado. O rio Cuiabá é um dos afluentes da bacia hidrográfica do rio Paraguai, formadores assim do Pantanal Mato-grossense – extensa área alagável por determinado período de tempo do ano. Nos períodos de estiagem o rio Cuiabá possui variação de cota entre 1,0 e 2,0 m, porém durante o período de cheias o nível do rio se eleva e assim pode se manter por períodos de tempo prolongados (semanas ou até meses), podendo atingir cotas de mais de 7,0 m. A atual cota de alerta prevista pela Defesa Civil, para o rio Cuiabá na cidade de Cuiabá, é de 8,5 m. Com o nível do rio acima dos 7,0 m, os cursos d’água que tem sua foz no Cuiabá passam a sofrer a

interferência deste por meio do efeito de remanso. Assim foi proposta a avaliação das seguintes situações:

- O rio Cuiabá estando na cota de 8,5 m e uma chuva com TR 10 anos sobre a bacia modelada;
- Uma ocorrência mais crítica, com o rio Cuiabá na mesma cota de alerta, porém agora com uma chuva de projeto em TR 25 anos;
- Também foi avaliada a influência de uma chuva de projeto com TR 50 anos para a cota de alerta;
- É uma quarta proposta para simular um cenário mais extremo, conforme já vivenciado pela cidade de Cuiabá. Em 1995, na última grande cheia do rio Cuiabá, o nível atingido pelo mesmo foi de 9,7 m, assim buscou-se modelar qual a resposta da bacia hidrográfica para esta cota do rio com um TR mínimo (2 anos).

Os resultados da modelagem hidrodinâmica realizada com o MODCEL serão apresentados a seguir, com o uso de manchas de alagamento geradas sobre a área estudada para cada uma das situações propostas acima, como forma de realizar um diagnóstico de cheias na bacia do córrego Barbado.

### **Chuva Abril/2001**

Como descrito na formulação desta proposição, este é um evento real de precipitação, que foi utilizado com o intuito de calibração do modelo executado para o caso de estudo. O resultado é apresentado na Figura 4.31.

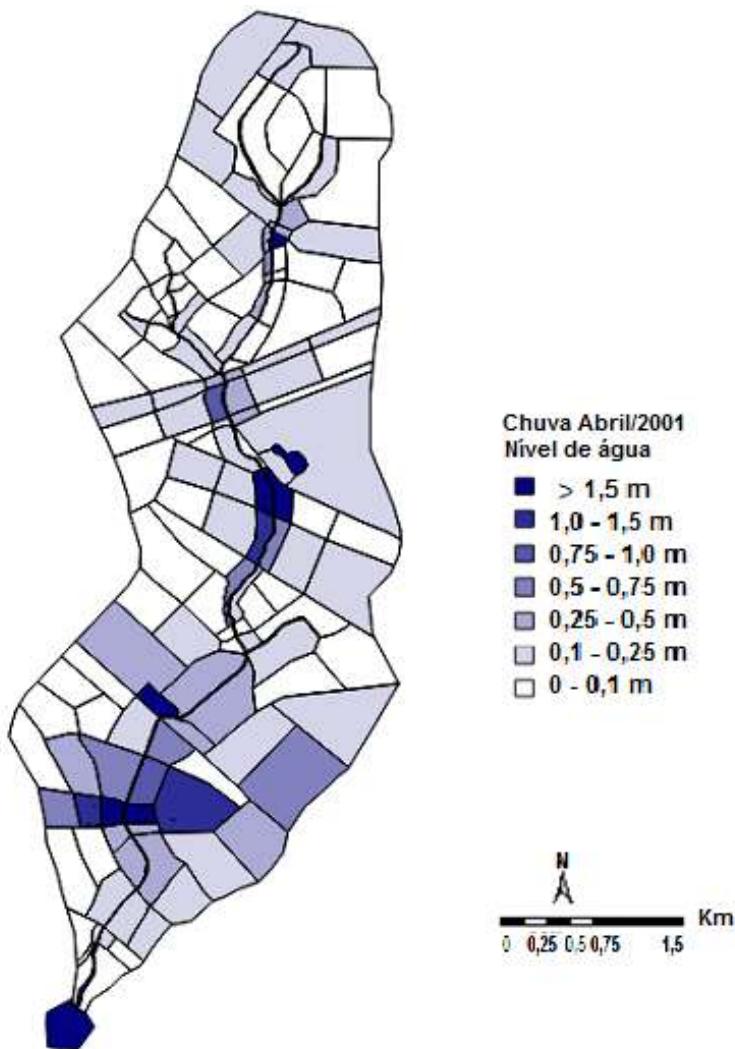


Figura 4.31: Mancha de alagamento Chuva de abril/2001

Devido ao elevado volume precipitado sobre a área, a resposta da bacia hidrográfica foi acentuada, de forma que o córrego elevou seu nível, transbordou para sua área marginal e, devido à velocidade que suas águas ganharam, formou-se uma enxurrada no leito do mesmo. Com a modelagem foi possível verificar que algumas regiões possuem lâminas de mais de 1,0 m sobre as ruas, confirmando a situação que foi realmente vivenciada neste evento.

A região da Avenida Carmindo de Campos foi severamente penalizada na época, pois a mesma não dispunha de um sistema de microdrenagem (sendo este executado após este trágico evento na cidade), assim o transbordamento do córrego provocou destruição das vias e dos bueiros no local, como pode ser visto na Figura 4.32.



Figuras 4.32: (a) e (b) Destrução provocada pela enxurrada no córrego Barbado (abril/2001);  
 (c) Detalhe da localização dos pontos mais críticos  
 Fonte (a, b): Jandira Maria Pedrollo (comunicação pessoal)

Áreas situadas no trecho médio e mais próximas as nascentes do córrego também foram atingidas com lâminas significativas nesse evento, conforme o detalhe da Figura 4.32c, porém, devido a características de topografia, manutenção da faixa de vegetação e urbanização não tão consolidada numa faixa mais próxima do córrego (salienta-se que este evento foi em 2001 e a urbanização marginal ao córrego nesta região ocorreu de forma mais recente) conduziram a impactos menos significativos para a maioria da população destas áreas.

Nesse evento, o rio Cuiabá apresentou elevação de 3,20 m em apenas uma noite (pois o mesmo é o receptor final de todos os córregos e rios que cortam a cidade), o abastecimento de água da cidade foi comprometido, pois as captações de água sofreram inundações bruscas. Foram cerca de 5.000 pessoas desabrigadas e 15 mortes, onde todas as vítimas moravam em áreas marginais aos córregos e rios que cortam a cidade.

## TR 10 anos

Este cenário foi proposto em função da chuva com recorrência de 10 anos se consistir em uma precipitação com ocorrência mais comum gerando assim impactos mais corriqueiros na área estudada. Além disso, este é o TR recomendado para projetos de microdrenagem e, na bacia modelada os maiores problemas são decorrentes de falhas na microdrenagem (alagamentos), que tem grande potencial para agravar a situação da macrodrenagem. A Figura 4.33 apresenta a mancha de alagamento para esta situação.

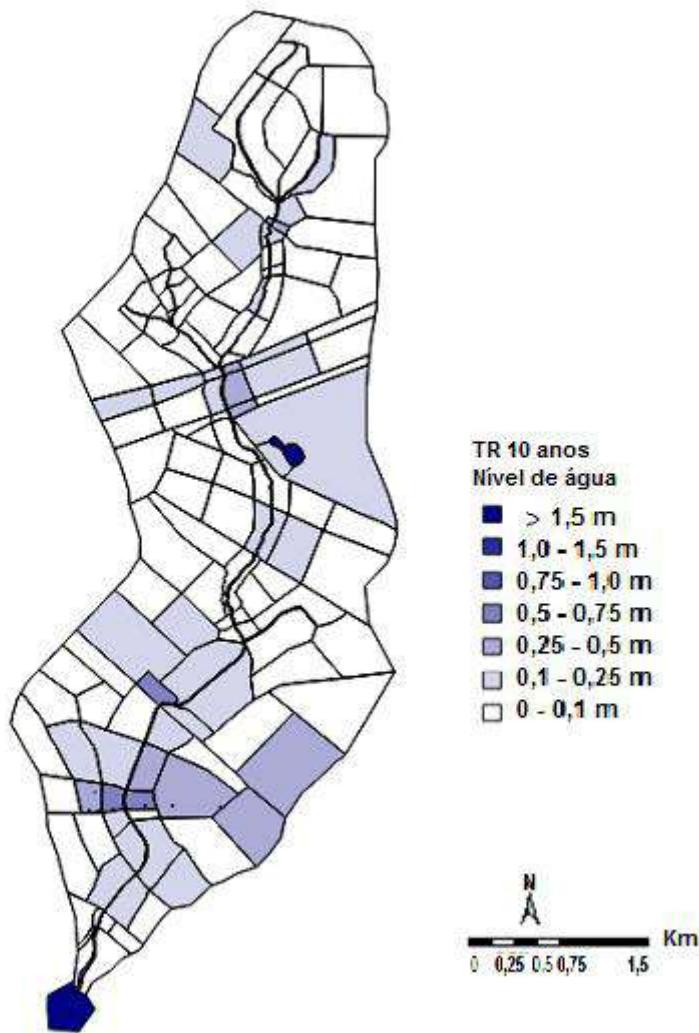


Figura 4.33: Mancha de alagamento TR 10 anos

Com o MODCEL é possível simular qual o “novo caminho” da água sobre a paisagem urbana, e na bacia do córrego Barbado as manchas de alagamentos são demarcadas exatamente em função da urbanização existente. A maior parte da área não apresenta lâmina de água significativa nas ruas, porém, em algumas avenidas já é percebida a formação de lâminas um pouco mais elevadas, mesmo para o TR de 10 anos (ainda assim nenhuma delas se aproxima dos 75 cm).

Como a área de estudo é de grande importância para a cidade, esta funciona como um corredor de tráfego, entre a região central e leste (com vias cortando a bacia no sentido horizontal) e também há a ligação da região norte com a leste (com vias acompanhando o sentido de nascente para a foz do córrego). E é exatamente nestas vias

onde se concentram os acúmulos de água, com destaque para o trecho médio da bacia do Barbado, e principalmente seu trecho inferior.

### TR 25 anos

Como grande parte das recomendações de chuva de projeto para obras de macrodrenagem é a recorrência de 25 anos, este cenário, que pode ser visto na Figura 4.34, dá uma ideia preliminar do problema a ser equacionado em projeto, embora ainda sem considerar o efeito do rio Cuiabá (que, de fato, ocorre e tende a ser crítico).

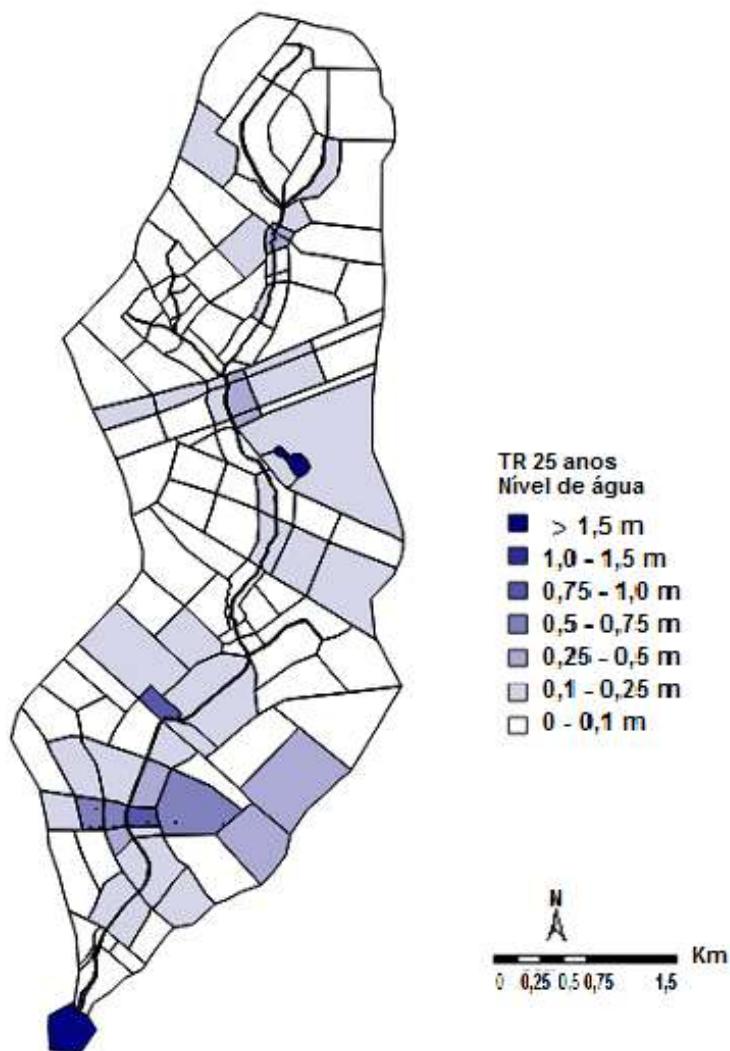


Figura 4.34: Mancha de alagamento TR 25 anos

Para esta situação simulada, algumas novas áreas passam a apresentar acúmulo superior a 10 cm de água sobre as vias, e a ordem de grandeza das lâminas é majorada

nos trechos médio e final da bacia (que já no TR 10 anos apresentavam pequeno acúmulo de água). Analisando-se pontualmente as regiões mais críticas, pode-se verificar a situação mais delicada das avenidas Fernando Correa e Carmindo de Campos, destacadas na Figura 4.35.

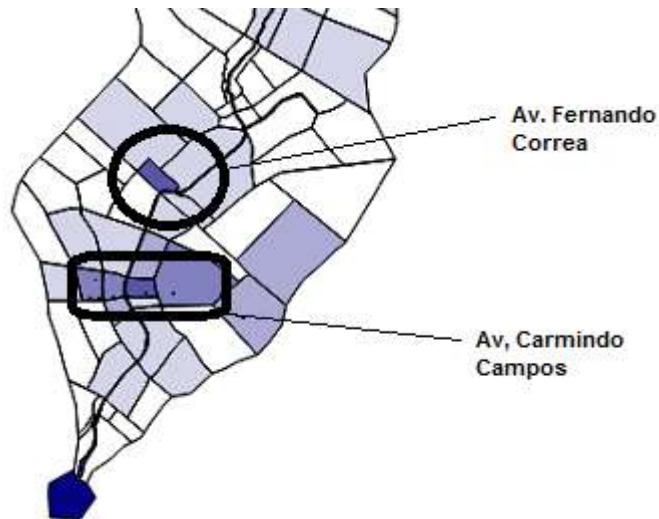


Figura 4.35: Detalhe da localização dos pontos mais críticos

A Avenida Fernando Correa sempre se constituiu em uma área problemática na cidade de Cuiabá – a mesma sempre conviveu com alagamentos – porém, nos últimos cinco anos, devido a obras executadas no local, sem um sistema de drenagem urbana, os alagamentos aumentaram em frequência e criticidade das lâminas, como pode ser visto pelas Figuras 4.36a, b e 4.37a, b. As lâminas obtidas pelo MODCEL para área foram de 20 cm até 80 cm, tanto no eixo da própria avenida quanto nas ruas próximas.



Figuras 4.36: (a) e (b) Alagamentos na região da Av. Fernando Correa

Fonte: (a) <http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2013/12/corrego-transborda-em-cuiaba-e-prejudica-transito-em-obra-da-copa.html>

(b) <http://www.reportermt.com.br/geral/apos-av-fernando-correa-virar-lago-mendes-notifica-secopa-a-apresentar-projeto-escoamento-de-aguas/41684>



Figuras 4.37: (a) e (b) Alagamentos na região da Av. Fernando Correa  
Fonte: <http://www.olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?id=385116>

Situação semelhante é observada na Avenida Carmindo de Campos, esta ainda um pouco mais agravada em função da baixa declividade que a mesma possui, e também por esta receber parte do escoamento proveniente da própria av. Fernando Correa. Os resultados da modelagem também indicam níveis de água entre 20 e 70 cm sobre a pista da avenida e demais ruas da região. Algumas imagens ilustram os alagamentos nesta área (Figuras 4.38a, b).



Figuras 4.38: (a) e (b) Alagamentos na região da Av. Carmindo de Campos.  
Fonte: <http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2014/01/chuva-provoca-pontos-de-alagamento-em-ruas-e-avenidas-de-cuiaba.html>

## TR 50 anos

Como percebido nas Figuras anteriores, a urbanização na bacia é bastante forte. O potencial para gerar impactos, mesmo com chuvas de recorrência menor tende a ser majorado, quanto maiores forem os períodos de recorrência e as chuvas a eles associados. Por este motivo, e para verificar uma situação que ultrapassaria a chuva de projeto, foi avaliado o TR de 50, cuja simulação pode ser vista na Figura 4.39.

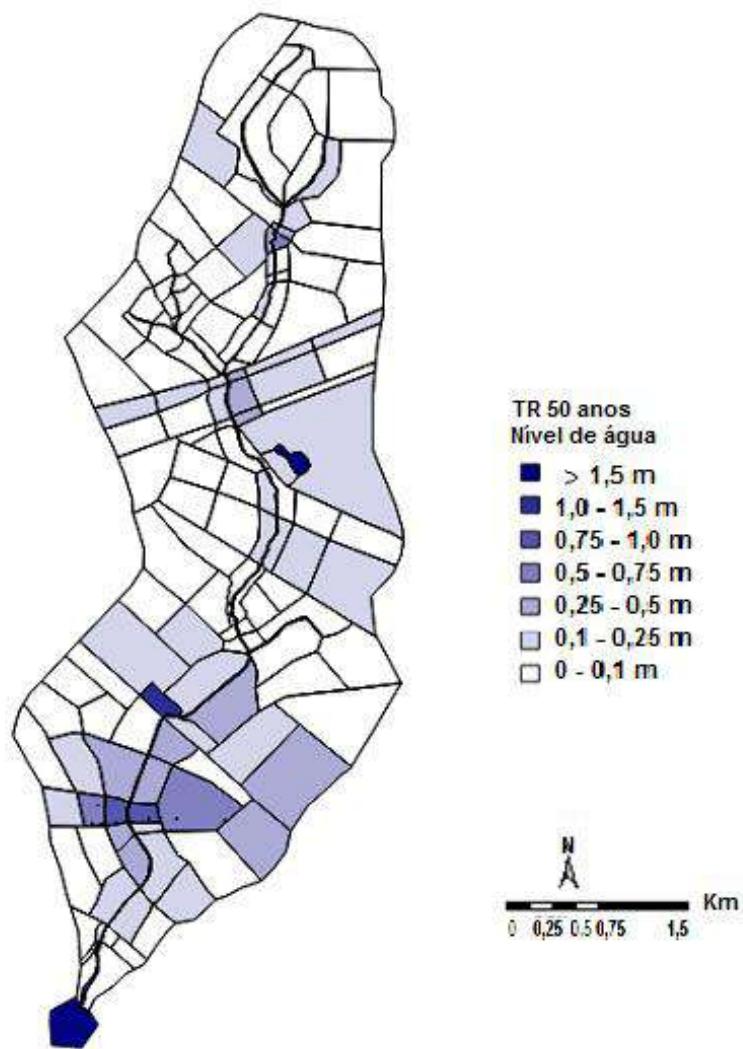


Figura 4.39: Mancha de alagamento TR 50 anos

Aqui, a mesma análise feita para a simulação de TR 25 anos é válida, onde os locais com as lâminas preocupantes são os mesmos, com a diferença que em várias

células o nível de água se tornou mais elevado, como por exemplo, na região da av. Fernando Correa com a possibilidade de lâminas de até 1,05 m.

Nesta situação dá-se destaque a outra avenida também na região central da área de estudo, a Avenida Parque Barbado (conforme destaque na Figura 4.38a). Esta via ainda se encontra em processo final de execução, implementando o tamponamento do córrego Barbado por 750 m, confinando-o em um bueiro triplo celular de 3x3 m (conforme detalhamento no capítulo 3 Material e Métodos). Durante a modelagem, foi verificado que ocorre o afogamento do trecho completo da galeria para o TR 50 anos. Para o TR 25 anos, apenas uma parte da galeria é afogada, após o lançamento das águas do canal de drenagem da Universidade Federal de Mato Grosso.

A preocupação com esse trecho é justificada, já que esta é uma área comercial importante para a cidade, em uma avenida ainda por ser concluída (o que vai atrair maior urbanização para o local), e que, para eventos menores de chuva, o bueiro já começa a apresentar elevação significativa de nível, como pode ser visto na Figura 4.40b, fotografia feita no dia 22/12/14 com uma precipitação acumulada de 24 mm.

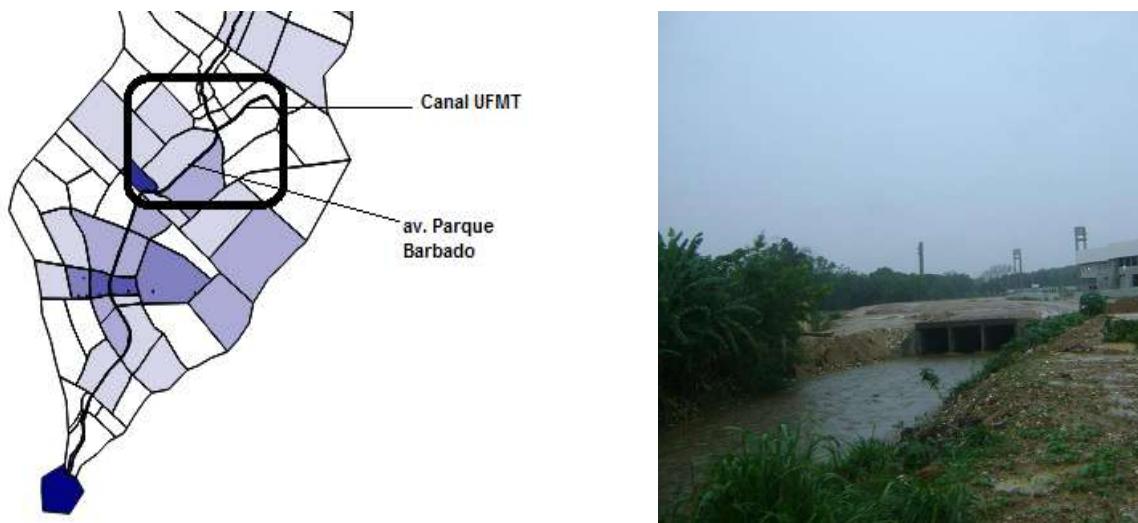


Figura 4.40: (a) Detalhe da locação da av. Parque Barbado; (b) córrego Barbado no trecho capeado.  
Fonte 4.40 (b): Ivone Matos (comunicação pessoal)

É feito um destaque para uma situação decorrente da inserção do capeamento do córrego no trecho da Avenida Parque Barbado, percebe-se que o confinamento do córrego no bueiro triplo tem potencial para promover o efeito de uma “rolha” sobre o curso d’água, assim áreas a jusante deste ponto podem ter seu nível de água alterado (minimizado), como pode

ser visto na comparação entre as manchas de alagamento de TR 10 e 25 anos. Tal situação será melhor detalhada ao longo desta discussão dos resultados.

### Rio Cuiabá 8,5 m + TR 10 anos

Como descrito na criação deste cenário, durante o período do ano em que o nível do rio Cuiabá se eleva, passa a existir a influência deste na foz dos córregos que deságuam no mesmo, restringindo a capacidade de descarga do sistema de drenagem urbana (incluindo os córregos que compõem a macrodrenagem). Assim decidiu-se por modelar essas situações para verificar quais seriam as lâminas de alagamento resultantes destes eventos. Primeiramente optou-se por modelar a bacia com um TR de 10 anos para verificar o comportamento da área para a chuva recomendada para os projetos de microdrenagem; resultado este expresso na Figura 4.41.

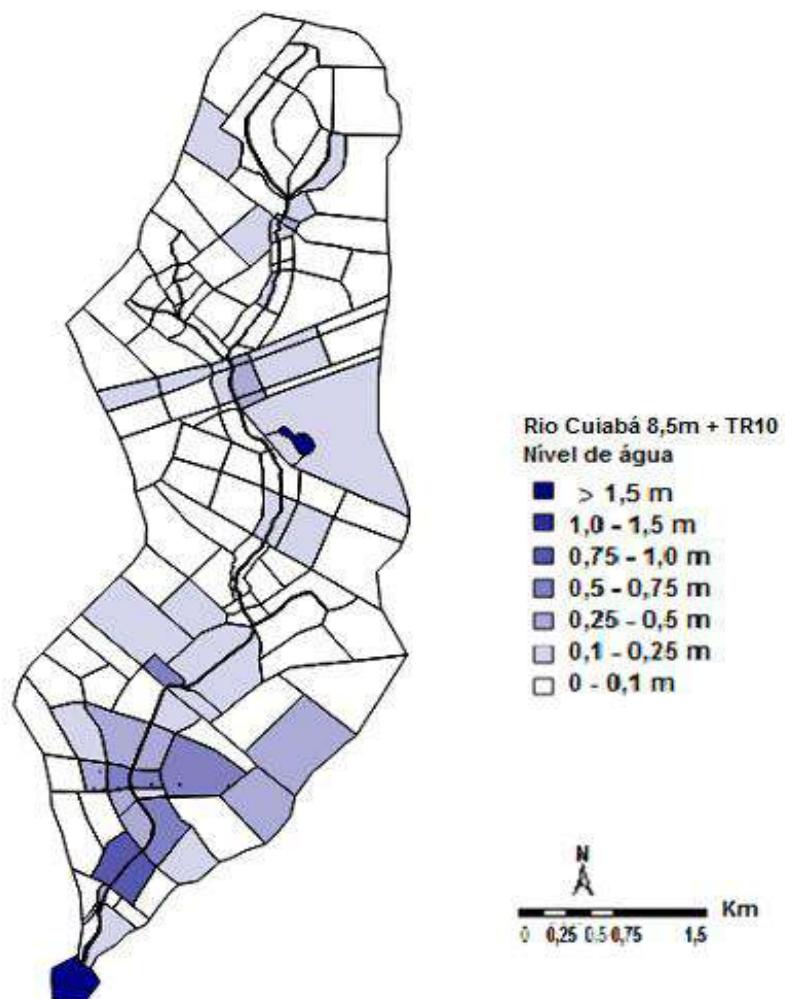


Figura 4.41: Mancha de alagamento Rio Cuiabá com 8,5 m e TR 10 anos

Ao analisar a Figura 4.41, a maior atenção deve ser dada ao trecho final da bacia do córrego Barbado (onde este faz seu deságue no rio Cuiabá), pois como agora o nível do rio está bem mais elevado, este começa a “represar” a saída do córrego, fazendo com suas águas se acumulem na calha. Assim, qualquer volume de chuva precipitada adquire potencial para promover extravasamento do canal. Para auxiliar nessa análise, as Figuras 4.42a e 4.42b trazem um recorte dessa área para efeitos de comparação da variação entre as lâminas de água, com e sem influência do Rio Cuiabá.

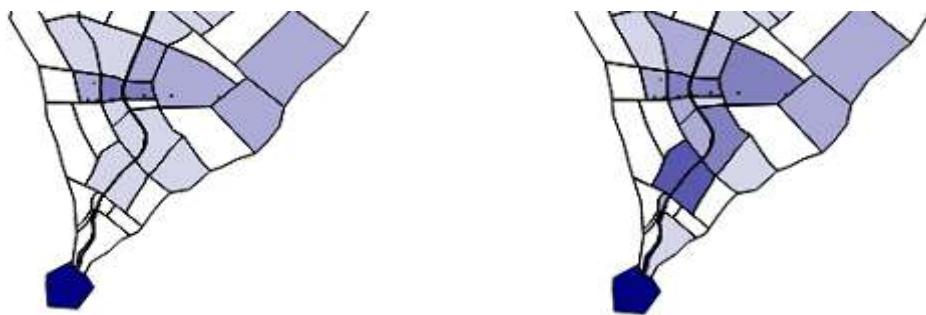


Figura 4.42: (a) Recorte trecho final do córrego Barbado com TR 10 anos, sem influência do rio Cuiabá; (b) Recorte trecho final do córrego Barbado com rio Cuiabá com 8,5 m e TR 10 anos

Para a situação ilustrada na Figura 4.42b, a lâmina de água na célula exatamente marginal a foz do Barbado no rio Cuiabá chega até 15 cm (este trecho compreende o bairro Praeirinho, onde o córrego possui características ainda preservadas de vegetação e mata ciliar em uma das margens, e um desnível entre o nível d’água no canal e a urbanização de cerca de 7,0 m). Já nas células com tonalidade mais intensa a montante, o córrego se encontra canalizado, comprimido em um pequeno trecho por uma galeria e pela Avenida Tancredo Neves, de forma que as lâminas podem atingir valores mais altos, da ordem de até 70 cm (principalmente nas áreas marginais ao canal, que possuem baixa declividade), como pode ser visto na Figura 4.43.



Figura 4.43: Elevação do nível do córrego Barbado na Av. Tancredo Neves  
Fonte: <http://www.gazetadigital.com.br/conteudo/show/secao/9/materia/415287/t/corrego-transborda-e-invade-casa-e-cuiaba-telhado-de-garagem-cai>

### Rio Cuiabá 8,5 m + TR 25 anos

Este cenário segue a mesma lógica da proposta anterior, com a diferenciação da recorrência da chuva de projeto, tendo sido utilizado o tempo de 25 anos, buscando, assim, avaliar os impactos advindos de uma situação mais crítica e típica de projeto. O resultado é apresentado na mancha de inundação da Figura 4.44.

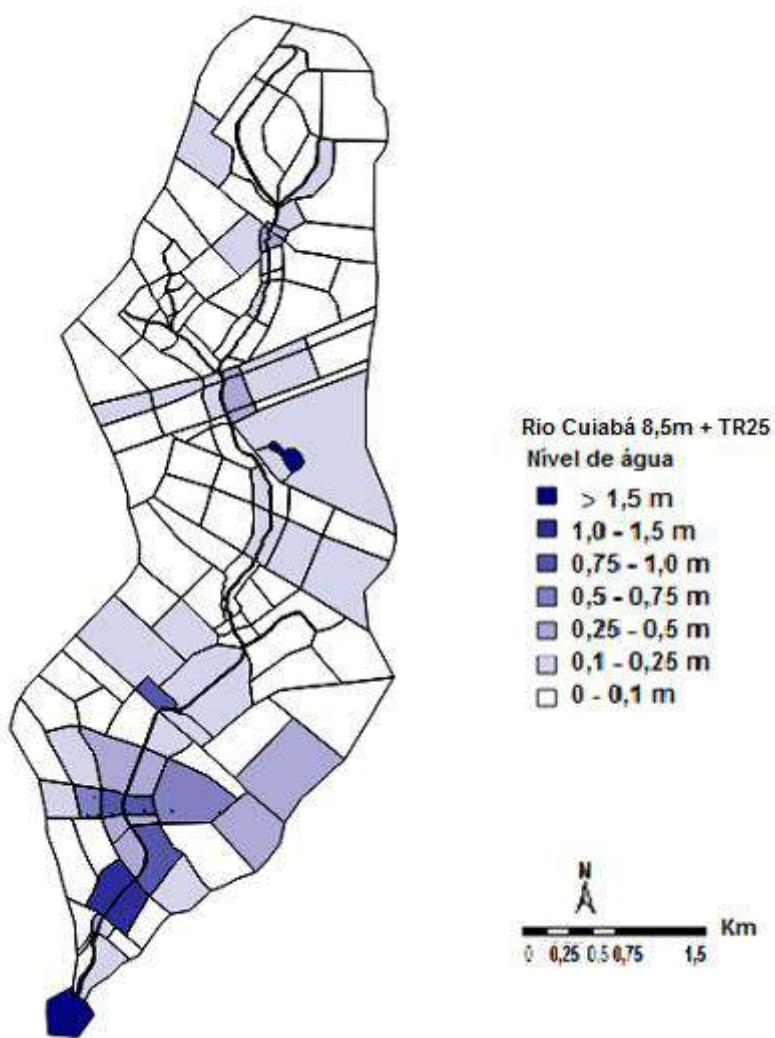


Figura 4.44: Mancha de alagamento Rio Cuiabá com 8,5 m e TR 25 anos

Aqui também é percebido um aumento significativo nas lâminas nas regiões já destacadas anteriormente. Tal situação é de fato recorrente na cidade nessa área, como pode ser visto nas Figuras 4.45a e b.



Figuras 4.45: (a) Extravasamento do córrego Barbado nos bairros Praeiro e Grande Terceiro (fev/2014) e  
 (b) (fev/2010)

Fonte: (a) <http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2014/02/corrego-transborda-e-cobre-asfalto-e-passarela-de-avenida-em-cuiaba.html>; (b)<http://olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?id=84004>

### Rio Cuiabá 8,5 m + TR 50 anos

A condição extrema de um tempo de 50 anos de recorrência para a chuva foi também associada à cota de alerta de 8,5 m para o rio Cuiabá, como pode ser visto na Figura 4.46.

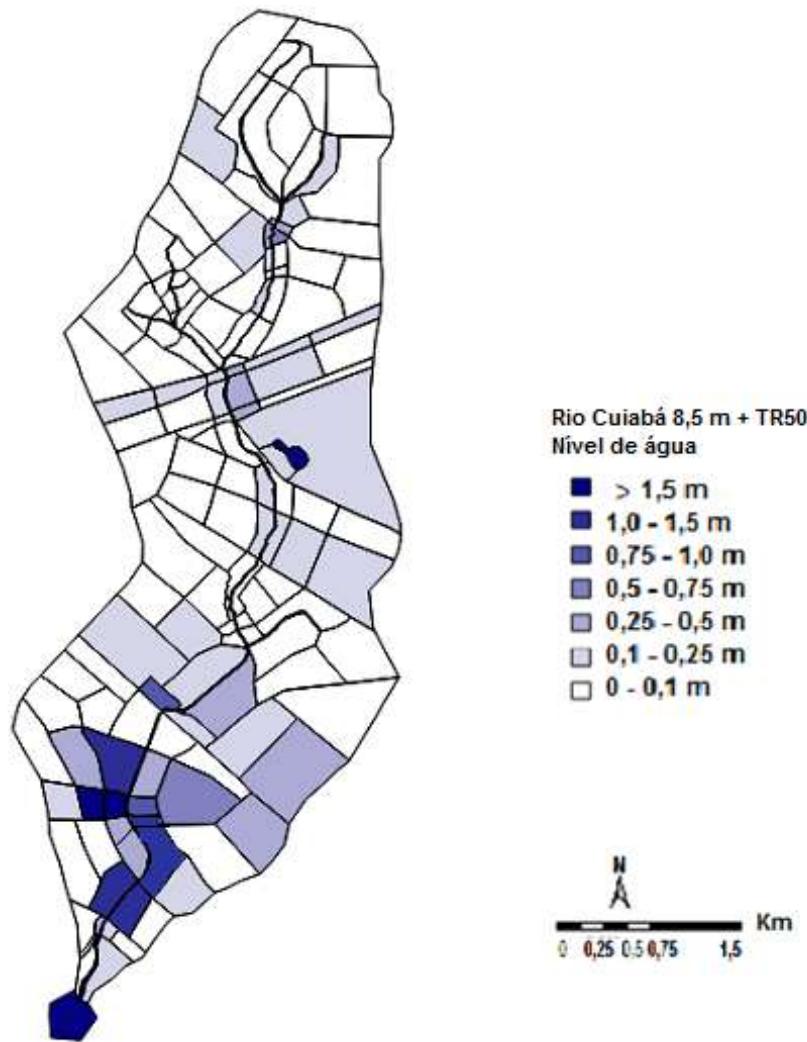


Figura 4.46: Mancha de alagamento Rio Cuiabá com 8,5 m e TR 50 anos

A análise feita para o caso anterior de TR 25 anos segue válida nesta situação, pois como pode ser visto na Figura 4.46, os mesmos locais no trecho inferior da bacia continuam sofrendo com as maiores lâminas sobre a paisagem urbana. Estas lâminas, porém, agora estão majoradas em alguns pontos (como na região da Av. Carmindo de Campos e Tancredo Neves) em função da junção dos efeitos promovidos por uma chuva de maior volume precipitado associada ao efeito de remanso promovido pelo rio Cuiabá sobre a foz do córrego Barbado.

### **Rio Cuiabá 9,7 m + TR 2 anos**

Esta simulação buscou representar uma cheia real vivenciada pela cidade no ano de 1995 (esta foi a última grande cheia do rio Cuiabá no trecho urbano), onde o nível da

água atingiu a cota de 9,7 m (o maior valor já atingido pelo rio foi de 10,8 m em 1974) provocando severos impactos pela cidade, além das margens diretas do rio Cuiabá, nos córregos que deságuam neste rio, como é o caso do córrego Barbado. A figura 4.47 apresenta a região do bairro Praeirinho sob as águas do rio Cuiabá e o córrego Barbado.

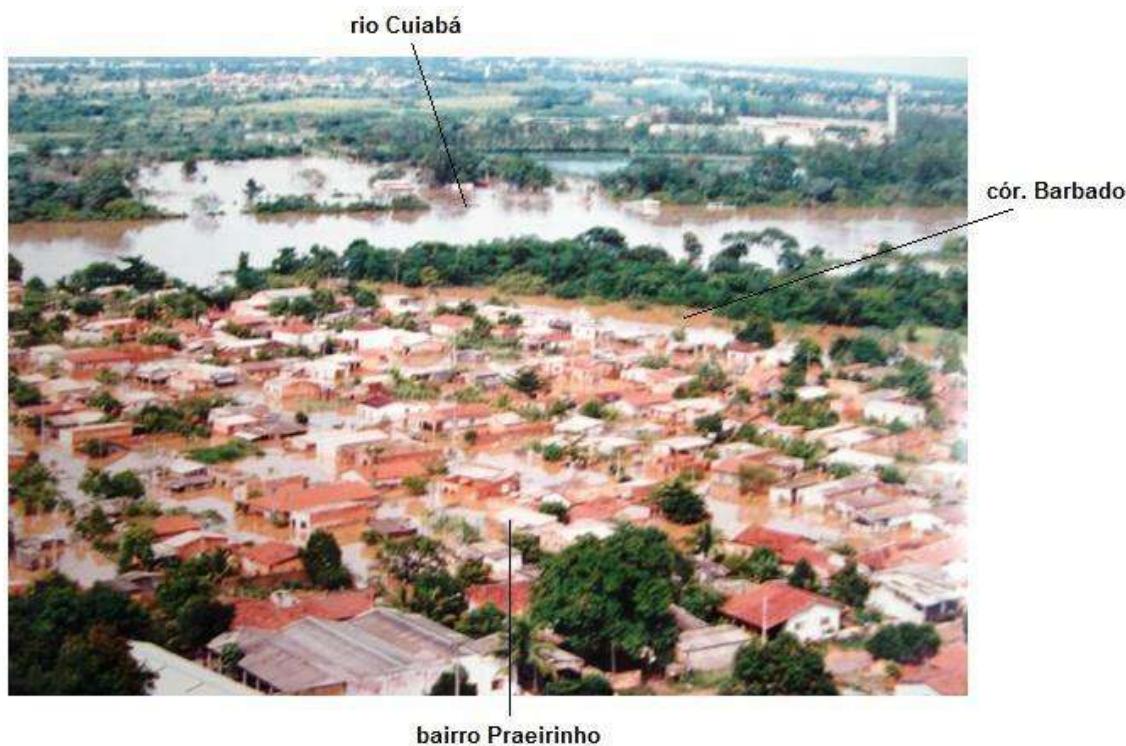


Figura 4.47: Inundação fevereiro/1995 córrego Barbado, rio Cuiabá e bairro Praeirinho  
Fonte: Jandira Maria Pedrollo (comunicação pessoal)

O resultado para a modelagem realizada é apresentado na Figura 4.48, onde o maior destaque é dado para a célula marginal a foz do córrego Barbado, onde se situa o bairro Praeirinho, com lâminas da ordem de 1,25 m, salientando que para esta proposta, foi utilizado um TR mínimo, de 2 anos para a chuva de projeto.

Tal situação pode ser comprovada com análise da Figura 4.47, onde pode ser notado que o bairro praticamente por completo está debaixo de água, e a altura desta água nas paredes das casas é bastante elevada.

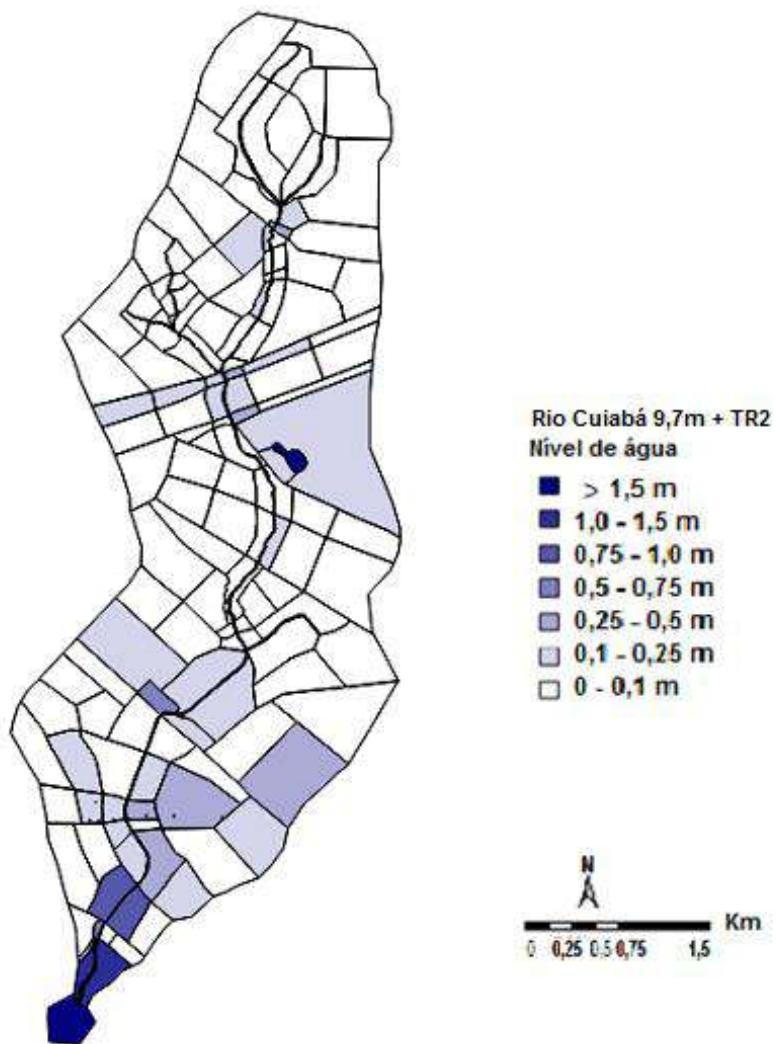
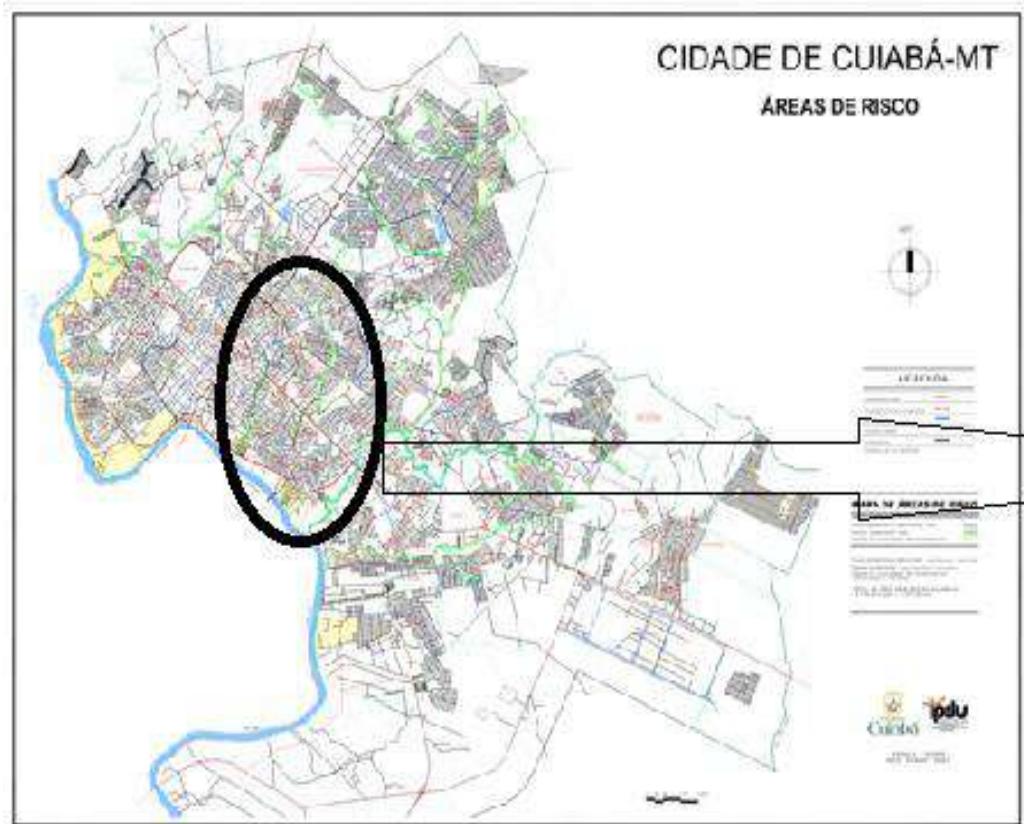


Figura 4.48: Mancha de alagamento Rio Cuiabá com 9,7 m e TR 2 anos

Em 2007 o IPDU – Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano de Cuiabá – realizou o mapeamento das principais áreas de risco para a cidade, conforme apresentado na Figura 4.49.



#### MAPA DE ÁREAS DE RISCO

- Faixa de domínio do Linhão
- Rios e córregos
- Áreas de inundação ou alagamentos

Figura 4.49: Mapa de áreas de risco para Cuiabá  
 Fonte: IPDU (2007)

Com tal mapeamento é verificado que a maioria das áreas de risco de cheias na cidade está associada às margens do rio Cuiabá e aos córregos que atravessam a cidade. Foi feito um recorte da área correspondente à bacia do Barbado, pois a região do bairro Praeirinho e a foz do córrego se constituem em áreas de risco cadastradas. Essa observação vem a validar o resultado obtido pela modelagem hidrodinâmica efetuada.

Em vários dos cenários apresentados, a região da Avenida Fernando Correa é considerada como uma das áreas mais problemáticas no que tange aos alagamentos nesta região. Como dito, esta sempre conviveu com tal realidade, porém, nos últimos 5 anos a situação apresentou significativa piora. As Figuras 4.50a e b apresentam a situação do principal ponto de alagamento na Avenida antes e após as obras executadas para a construção de um viaduto (este executado sem sistema de drenagem urbana).



Figura 4.50: (a) e (b) Avenida Fernando Correa antes e depois da construção do viaduto.  
Fonte: Projeto Executivo de Drenagem da Bacia do córrego Barbado (2017)

Buscando resolver o problema, o governo do Estado contratou um estudo para implantação do sistema de drenagem para a área. Neste estudo, entregue em 2017 (já em vias de execução das obras), verificou-se a inexistência de um sistema de drenagem projetado juntamente à construção do viaduto, além disso, o antigo sistema de drenagem da avenida (que já era insuficiente) foi seriamente danificado – com mau estado de operação de diversas bocas de lobo (assoreamento, entupimento, selagem, tampas quebradas ou ausentes). Propõe-se a manutenção nas bocas de lobo na área a montante da Avenida Fernando Correa, para que uma parte da água não chegue à avenida. Já na própria avenida foram duas sugestões: em um sentido da via (Bairro-Centro) é proposto um sarjetão interligado a uma canaleta para captar toda a contribuição que chega por esse lado na via, sendo a canaleta interligada na rede existente e direcionada para o córrego Barbado. No sentido oposto (Centro-Bairro) devem ser executadas bocas de

lobo e duas galerias de 1200 mm para receber essa contribuição, o lançamento destas galerias no canal deverá ser feita por um bueiro de 3,0 m x 1,5 m.

Com o MODCEL foram simuladas essas propostas para a Avenida Fernando Correa, com um TR de 10 anos (típico para este tipo de obras), conforme a Figura 4.51.

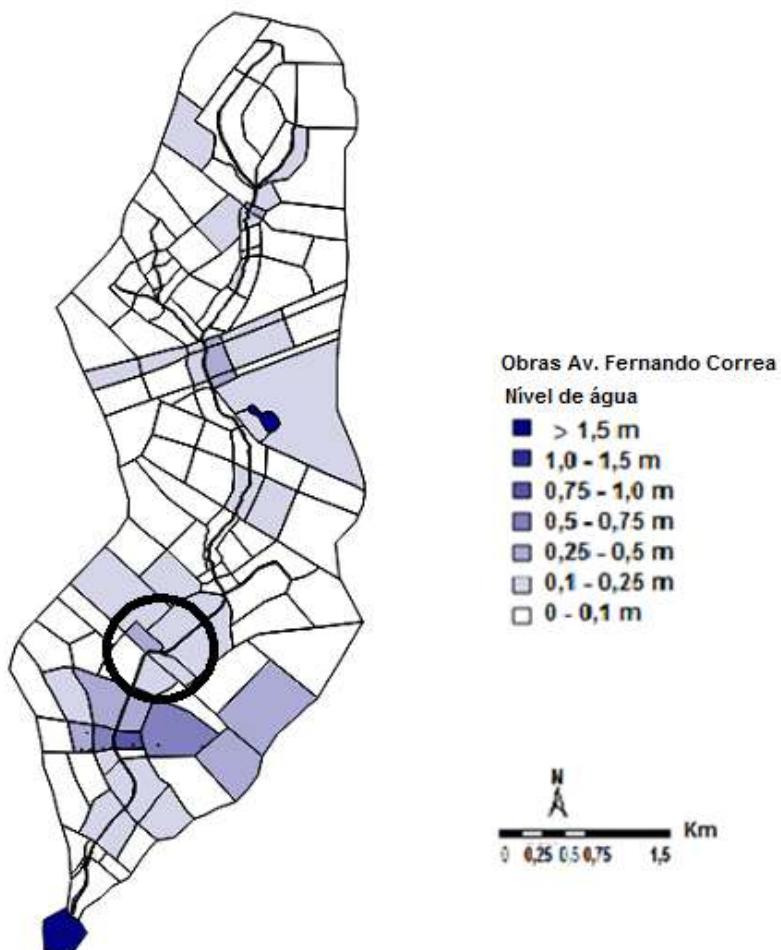


Figura 4.51: Mancha de alagamento com as obras na Av. Fernando Correa e TR10 anos

Pode-se notar que há redução do nível de água na pista na região da avenida destacada, com as lâminas situando entre 10 e 25 cm, e nos pontos mais críticos estas chegam a 30 cm de água na pista. Sendo assim, as intervenções propostas minimizam a situação dos alagamentos na avenida, porém estes não são efetivamente controlados (já que ainda há acumulo de água com uma lâmina significativa).

Além disso, toda essa água que antes se acumulava sobre a pista, agora foi encaminhada para o canal, que já se encontrava em níveis próximos a saturação para outros períodos de retorno; portanto, após a execução destas obras, a região a jusante da Avenida Fernando Correa (na Avenida Tancredo Neves) poderá vir a sofrer com novos

pontos de alagamento, conforme demonstrado nas células abaixo do trecho destacado na Figura 4.51; demonstrando assim a importância da avaliação conjunta das atividades executadas, com foco na bacia como um todo e não apenas de maneira pontual.

#### **4.6 INSERÇÃO DA GESTÃO DE RISCO DE CHEIAS COMO FERRAMENTA NO PLANEJAMENTO URBANO-AMBIENTAL**

Atualmente a política urbana não pode se abster da questão ambiental, já que são nas cidades que diversos problemas relativos ao meio ambiente adquirem grandes dimensões, tais como: poluição do ar e das águas, poluição sonora e visual, resíduos sólidos, cheias, diminuição de áreas verdes, entre outros. A possibilidade de incorporar os conceitos de sustentabilidade ambiental e desenvolvimento sustentável ao processo de repensar e planejar o crescimento da cidade abre um diversificado conjunto de oportunidades passíveis de serem exploradas visando mitigar a atual situação dos centros urbanos.

Assim, o planejamento municipal deve ser embasado no reconhecimento da interrelação entre as características físicas, sociais, ambientais, históricas, econômicas, políticas e legais que ocorrem no ambiente urbano. Para Miguez e Magalhães (2017) deve ser destacada a importância da busca entre o equilíbrio das limitações impostas pelo ambiente natural e pelas necessidades demandadas pela sociedade, necessidades estas materializadas no desenho do ambiente urbano construído.

Para encontrar este ponto de equilíbrio, o processo de planejamento urbano deve partir de uma avaliação que enfoque as características do ambiente natural e do ambiente construído, reconhecendo suas particularidades e principalmente interpretando as interações existentes entre estes.

Uma interessante definição de risco de cheia – preferida pelos cientistas sociais, especialmente entre os planejadores – é que o risco pode ser expresso como:

$$\boxed{\textbf{RISCO} = \textbf{PERIGO (CHEIA)} \times \textbf{VULNERABILIDADE (SOCIEDADE/ÁREA)}}$$

Onde se considera o perigo como um dado físico e o ordenamento do território como tendo potencial de influenciar o comportamento das pessoas e do meio ambiente, buscando meios de se adaptar a este perigo (FLOOD site).

Sendo assim, como primeira etapa, é preciso que os formuladores de políticas de planejamento e gestão urbana compreendam que os perigos inerentes às cheias tem potencial de afetar o sistema urbano. Compreender estes perigos requer entendimento sobre as causas e tipos das cheias, as probabilidades envolvidas, bem como as características dos impactos relativas à duração, extensão, profundidade e velocidade; de maneira que a partir desta compreensão é possível a realização do planejamento das medidas que podem prevenir ou limitar os danos gerados pelas cheias. Importante também é conhecer qual população e ativos ocupam as áreas a serem potencialmente afetadas, bem como qual o grau de vulnerabilidade destas pessoas e das edificações e, o que está sendo feito visando a redução destas vulnerabilidades.

Estes fatores não são estáticos e podem ser aperfeiçoados, a depender das capacidades institucional e individual em enfrentar e/ou agir para redução do risco. Por fim deve ser reconhecido que os padrões do desenvolvimento social e ambiental podem ampliar a exposição e a vulnerabilidade, ampliando então o risco (UNISDR, 2012).

Na busca por um planejamento que envolva todas as necessidades municipais, diversos instrumentos podem ser trabalhados, como os que foram previstos no Estatuto das Cidades como sendo necessários para a efetivação da política urbana. Estes instrumentos são: Plano Diretor, Disciplinamento do parcelamento, Uso e ocupação do solo, Zoneamento urbano, Planos plurianuais, Planos e programas setoriais, entre outros.

#### **4.6.1. Proposição do Zoneamento Urbano-Ambiental**

Através do planejamento e controle dos usos e atividades no solo do município se podem evitar danos significativos à qualidade de vida da população residente. Assim, o planejamento urbano torna-se essencial para a garantia de um meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Para Silva (2002) o zoneamento é um instrumento jurídico de ordenamento do uso e ocupação do solo, e este consiste, inicialmente, na repartição do território municipal com vistas à destinação de uso do solo entre áreas urbanas, áreas rurais, e áreas de expansão urbana, sendo depois feito um detalhamento destas áreas em diferentes zonas de uso.

## **Zoneamento Ambiental**

Em uma livre interpretação o zoneamento ambiental consiste em dividir o território municipal em frações nas quais são autorizadas determinados usos, e outras frações onde é impedido o uso em função de proibições e restrições ambientais. Sua importância reside no fato do controle dos usos e da ocupação do território possuir embasamento no reconhecimento das fragilidades ambientais, na preservação da qualidade dos recursos ambientais e na busca do bem-estar da população, para atingir o desenvolvimento socioeconômico das cidades.

Para Carneiro (2003), o zoneamento ambiental pode ser entendido como um mecanismo que o Poder Público usa para instituir zonas de atuação especial, visando à preservação, recuperação ou melhoria da qualidade do meio ambiente.

Conforme Milaré *et al.* (2006) o zoneamento ambiental volta sua base para a sustentação das atividades humanas que necessitam de espaços naturais para utilização de seus recursos e o desenvolvimento das atividades econômicas. Assim, este instrumento não preconiza a conservação do meio ambiente, mas sim sua preservação, levando em consideração as necessidades da população e do próprio desenvolvimento econômico. Este zoneamento resulta de estudos conduzidos para o conhecimento das características, fragilidades e potencialidades do meio, a partir de aspectos ambientais selecionados, o que proporciona um maior e melhor poder de decisão para os administradores municipais.

O zoneamento ambiental, na Política Nacional de Meio Ambiente, é definido como um procedimento de divisão de um território, onde são articuladas diferentes atividades, cujo exercício pode ser permitido ou até interditado, de modo absoluto ou relativo, em razão das características ambientais e socioeconômicas deste local.

Para Giehl (2007) o zoneamento ambiental é um dos principais instrumentos de planejamento territorial com vistas ao desenvolvimento sustentável. Pois a divisão territorial a ser executada será fruto de estudos ambientais e socioeconômicos e de negociações entre governo, setor privado e sociedade civil sobre as alternativas a serem adotadas para o alcance do desenvolvimento sustentável do território municipal.

Com base nos conceitos citados, pode-se enfatizar que o zoneamento ambiental permite melhorar o aproveitamento do território estabelecendo regimes especiais de uso e ocupação com a finalidade de melhorar e recuperar a qualidade ambiental e como

consequência o bem estar da população. Porém este instrumento – bastante interessante – ainda vem sendo pouco utilizado pelos municípios brasileiros.

## **Zoneamento Urbano-Ambiental**

Quando se faz uma análise comparativa entre os zoneamentos urbano e ambiental, do ponto de vista técnico, não existem diferença para o uso final destes, já que ambos se designam à definição do uso do solo. A diferença na construção destes zoneamentos é apenas conceitual, uma vez que o zoneamento ambiental objetiva a proteção ao meio ambiente; atuando como fator limitante no uso do solo.

No entendimento da autora desta Tese, para se desenvolver um trabalho adequado de zoneamento municipal, se faz necessária a incorporação de premissas que levem em consideração a importância ambiental da região, as fragilidades e limitações dos ecossistemas, para que se possam estabelecer as restrições e alternativas de exploração de uso do território, sendo necessária e possível, em alguns casos, a indicação de relocação das atividades incompatíveis com as diretrizes gerais propostas por este zoneamento. Além disso, o zoneamento deve respeitar o disposto na legislação ambiental, uma vez que vincula todas as atividades a serem exercidas na região de sua incidência a esta legislação, o que implica na impossibilidade da execução de atividades contrárias ao legalmente previsto.

Neste estudo, propõe-se a execução do chamado Zoneamento Urbano-Ambiental, onde se agregam ao Zoneamento urbano usual as proposições inerentes ao Zoneamento Ambiental, a fim de garantir que esta nova proposta de zoneamento ganhe características mais fortes de adequação e proteção ao meio ambiente.

Podem ser destacadas algumas aplicações para o Zoneamento Urbano-Ambiental, tais como:

- Identificação das aptidões para diferentes atividades nas áreas caracterizadas;
- Planejamento do uso e ocupação múltiplos nos espaços urbanos;
- Promover adequações sócio-econômicas e ambientais na área de estudo;
- Identificação e seleção de áreas para conservação ambiental com base na elevada vulnerabilidade urbana destas áreas.

A partir do material gerado no processo de Zoneamento Urbano-Ambiental, é possível a obtenção de um importante subsídio no fomento da execução de medidas

protetivas com relação ao meio ambiente. Como exemplo, o Poder Público será capaz de detectar uma provável fonte de impacto ambiental e cessá-la antes que esta venha a causar danos. Além do aspecto ambiental principal, este zoneamento urbano-ambiental aborda as questões sociais, uma vez que a distribuição das atividades econômicas deve levar em consideração a diversidade cultural e a distribuição populacional da área a ser zoneada. Assim, essa análise visa proporcionar uma melhor qualidade de vida à população e à cidade, preservando tanto o ambiente natural quanto o construído.

Batistela (2007) comenta que, originalmente, não está no cerne do zoneamento de uso e ocupação do solo urbano (previsto pelo Plano Diretor) o caráter ambiental, mas sim a propriedade privada, o que tem potencial para colocar em risco os interesses coletivos (como o funcionamento do meio ambiente). Já quando se trabalha conjuntamente com o zoneamento ambiental, haveria então maior proteção aos bens coletivos, e esta ferramenta se constituiria em um subsídio ótimo ao planejamento urbano.

O zoneamento municipal ambientalmente embasado pode ser considerado como um valioso instrumento na prevenção de danos decorrentes de desastres sacionaturais, tais como inundações, deslizamentos de encostas e outros decorrentes do uso do solo urbano; sendo esta uma forte razão para que, do ponto de vista técnico, não haja dúvidas quanto à necessidade da política de planejamento urbano ser contemplada pelas análises ambientais, em vista dos perceptíveis benefícios advindos desta.

Também com o uso do Zoneamento Urbano-Ambiental associado ao Plano Diretor, o município consegue detectar mais facilmente as áreas a serem preservadas diante da necessidade de expansão urbana, as áreas a serem recuperadas, as unidades de conservação e outras áreas de interesse ambiental. Tal medida tem potencial para evitar (pelo menos) os gastos econômicos advindos da recuperação de áreas degradadas em virtude da expansão urbana inadequada sobre áreas ambientalmente vulneráveis.

Não se pode deixar de destacar que a inserção do Zoneamento Urbano-Ambiental no Planejamento Urbano agrupa a este o conceito de desenvolvimento sustentável, já que a mesma é embasada em um tripé ambiental, social e econômico, fazendo com que esta ferramenta técnica de planejamento esteja à disposição do Poder Público para a implementação de ações de desenvolvimento urbano em consonância com a preservação ambiental.

## **Gestão do Risco de Cheias como ferramenta do Zoneamento Urbano-Ambiental**

Quando considerada a abordagem de inserção da temática ambiental e do desenvolvimento sustentável no planejamento territorial, a relação entre os ambientes natural e construído deve ser embasada no respeito aos limites que o ambiente natural apresenta, uma vez que quando este limite ultrapassado, sérios prejuízos podem ser gerados.

Como um exemplo dessa assertiva, pode-se utilizar o caso do sistema de drenagem urbana e do sistema hídrico, analisados conjuntamente em uma área urbana, quando da falha desse sistema de drenagem, alagamentos e inundações podem ser gerados, o que pode vir acarretar falhas sequenciais em diversos outros serviços urbanos como as redes de infraestrutura básica (água, esgoto, energia, gás), os equipamentos comunitários (como escolas, hospitais, praças de lazer), no sistema de habitação e de transporte.

Para Miguez e Magalhães (2017) em uma discussão da integração dos ambientes natural e construído, a temática de drenagem urbana e a própria gestão dos riscos de cheias possuem um caráter estruturante dentro do sistema urbano, já que os cursos de água, de uma forma geral, podem ser considerados como uma síntese dos territórios e suas conexões, pois as atividades executadas sobre o território da bacia hidrográfica irão se refletir no curso d'água, e se perpetrar pelos territórios anexos a esta, a jusante.

A temática das cheias urbanas é completamente conectada com as questões de uso e ocupação do solo urbano, como, por exemplo, a ocupação ilegal da faixa marginal – que é espaço do rio, utilizada para acumular água durante as enchentes – seja por avenidas ou mesmo por habitações, que muitas vezes são inseridas nesses locais por questões de déficit habitacional. Estas cheias acabam por trazer diversos danos ao sistema urbano, tais como: danos a edificações e equipamentos comunitários, interrupções no sistema de transporte, perdas econômicas devido à paralisação de negócios e serviços, problemas de saúde pública associados à veiculação de doenças.

Na proposição do Plano Metropolitano do Rio de Janeiro, Miguez e Magalhães (2017), fazem um levantamento das interferências mútuas entre diferentes sistemas urbanos e o sistema de drenagem, conforme apresentado no esquema da Figura 4.52.

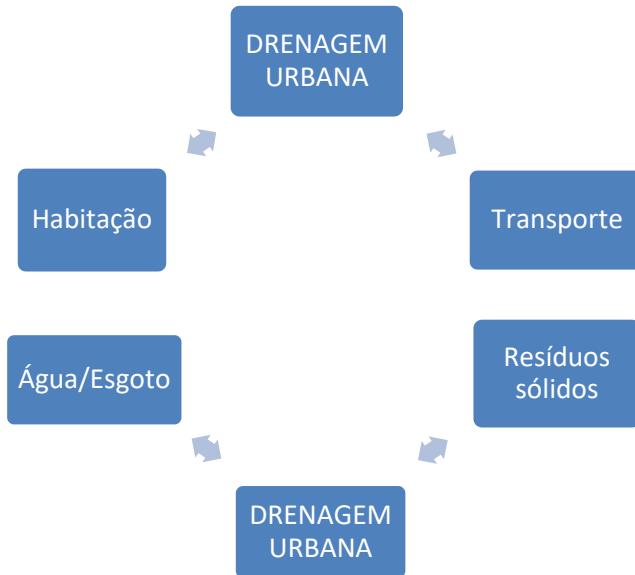


Figura 4.52: Interferências mútuas nos diferentes sistemas urbanos

Tais interferências são brevemente descritas no Quadro 4.9.

Quadro 4.9: Descrição dos impactos gerados na inter-relação entre diferentes sistemas urbanos

<b>Habitação → Drenagem</b>	<b>Drenagem → Habitação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ O déficit habitacional leva também a ocupação de áreas ribeirinhas;</li> <li>▪ Ocupação das margens gera remoção de vegetação ciliar e degradação do ambiente fluvial, e dificulta operações de manutenção da drenagem;</li> <li>▪ Lotes altamente impermeabilizados produzem maiores volumes para a rede de drenagem.</li> </ul>	<p>Os alagamentos resultantes das falhas de microdrenagem ou inundações oriundas da macrodrenagem podem gerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perda de conteúdo da edificação;</li> <li>▪ Danos à estrutura;</li> <li>▪ Custos de limpeza e manutenção;</li> <li>▪ Causar desalojamento temporário, com necessidade de abrigos;</li> <li>▪ Desvalorização imobiliária.</li> </ul>
<b>Transporte → Drenagem</b>	<b>Drenagem → Transporte</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A configuração de avenidas-canal confina o rio e limita seu acesso às planícies de inundaçõa, agravando inundações.</li> </ul>	<p>Os alagamentos resultantes das falhas de microdrenagem ou inundações oriundas da macrodrenagem podem gerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Paralisação no tráfego, cortando a comunicação entre pontos da cidade;</li> <li>▪ Perda de tempo e paralisação de serviços;</li> <li>▪ Perdas parciais ou totais de veículos.</li> </ul>
<b>Água/Esgoto → Drenagem</b>	<b>Drenagem → Água/Esgoto</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tubulações e adutoras (se mal planejadas) podem causar interferência direta ao escoamento, por se colocarem no</li> </ul>	<p>Os alagamentos resultantes das falhas de microdrenagem ou inundações oriundas da macrodrenagem podem:</p>

<p>caminho das águas – é usual encontrar travessias sob pontes, ocupando o espaço de passagem da cheia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quando o esgoto é lançado diretamente na drenagem, sem o projeto adequado há acumulo de sedimentos na rede de drenagem, diminuindo a sua capacidade de descarga, os custos de limpeza e manutenção da rede são maiores, bem como ocorre degradação da qualidade da água drenada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acessar a cisternas no térreo ou subsolo de edificações alagadas, inviabilizando o abastecimento, por contaminação destas águas.</li> <li>▪ Acessar a rede de esgoto e “devolver” o esgoto para as edificações;</li> <li>▪ Diminuir ou inviabilizar a capacidade da estação de tratamento, por diluição dos esgotos da rede;</li> <li>▪ Gerar espalhamento de águas contaminadas por esgoto sobre a superfície urbana, com potencial de propagação de doenças;</li> <li>▪ Provocar maiores custos de limpeza urbana, pela necessidade de desinfecção de áreas públicas;</li> <li>▪ Inviabilizar o uso de áreas públicas (como praças e parques) após os eventos que espalharam esgotos sobre a sua superfície.</li> </ul>
<b>Resíduos sólidos → Drenagem</b>	<b>Drenagem → Resíduos sólidos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Déficit na coleta de resíduos sólidos pode acarretar em obstrução da rede de drenagem (seja na captação, em ralos e bocas de lobo, seja na condução, em galerias e canais), agravando inundações;</li> <li>▪ Maiores custos de limpeza e manutenção da rede de drenagem;</li> <li>▪ Degradação da qualidade da água drenada;</li> </ul>	<p>Os alagamentos resultantes das falhas de microdrenagem ou inundações oriundas da macrodrenagem podem gerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espalhamento dos resíduos sólidos sobre a superfície urbana, com potencial de contaminação e propagação de doenças;</li> <li>▪ Maiores custos de limpeza urbana, pela difusão do lixo.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Miguez e Magalhães (2017)

Por meio da análise do Quadro 4.9, percebe-se que são diversos os impactos gerados sobre os diferentes sistemas urbanos pelo sistema de drenagem urbana e vice-versa. Atualmente a temática de drenagem urbana vem passando por uma renovação, onde está se buscando não apenas manejar as águas pluviais nas cidades, mas sim gerir os riscos envolvidos no processo de cheias urbanas.

Como apresentado na revisão de literatura construída para esta Tese, a gestão de risco de cheias apresenta diversas ferramentas que podem ser utilizadas ao longo do seu processo. E são algumas destas ferramentas que se deseja aplicar como subsídio para a formulação do zoneamento territorial ambientalmente embasado pela gestão do risco de cheias, aqui denominado Zoneamento Urbano-Ambiental.

Foram selecionados os seguintes instrumentos da gestão de risco de cheias: avaliação da vulnerabilidade urbana, ferramentas de modelagem hidrodinâmica e legislação vigente; estes que serão brevemente justificados a seguir.

A avaliação das diferentes vertentes da vulnerabilidade urbana foi trabalhada em função desta realizar um levantamento das características física, social, ambiental e econômica das áreas urbanas, o que gera uma importante ferramenta de diagnóstico e possibilita inferências para auxiliar no zoneamento de uma área, ou na revisão de em um zoneamento já executado. Como ferramenta para esta avaliação o índice de vulnerabilidade proposto nesta Tese tem por função uma avaliação de múltiplos vieses, conjugada em uma única ferramenta, das diferentes vertentes da vulnerabilidade urbana aos processos de cheias. Este índice, quando aplicado em um caso de estudo e comparado ao zoneamento urbano proposto para esta mesma área, gerou interessantes e importantes informações acerca do planejamento previsto para a localidade estudada.

A modelagem hidrodinâmica se constitui em uma ferramenta muito importante para o mapeamento de inundações e consequente determinação dos locais que serão afetados pelos eventos de cheias no tecido urbano, sejam eles alagamentos por falhas de microdrenagem, ou enchentes por extravasamento da macrodrenagem. São diversos os modelos disponíveis para uso na atualidade, sendo utilizado nesta Tese o MODCEL, modelo hidrodinâmico Quasi-2D desenvolvido na UFRJ. Essa ferramenta oferece uma visão do perigo que afeta a cidade. A combinação da vulnerabilidade com o perigo permite “ler” o risco que se abate sobre a cidade, como sistema socioeconômico afetado e sujeito a danos e prejuízos.

Outro grupo de ferramentas bastante importante se refere ao quadro legal vigente; já que, para se chegar a um zoneamento adequado, este precisa ser legalmente bem embasado e institucionalmente suportado. Em termos de legislação, para o referencial do Zoneamento Urbano-Ambiental, foram considerados os seguintes aspectos legais:

- **Plano Diretor** – como já bem detalhado na revisão de literatura, este se propõe a planejar a regulação física-territorial do município, a partir do uso de diversos instrumentos, tais como a lei de uso e ocupação do solo e o zoneamento municipal;
- **Zoneamento Ambiental** – suas definições e aplicações tanto na gestão de risco de cheias quanto no planejamento municipal já foram descritas neste mesmo capítulo;

- **Lei de parcelamento do solo (Lei 6.766/79)** – onde em seu artigo 3º é dito que somente será permitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo Plano Diretor ou aprovadas por lei municipal; **não sendo permitido** o parcelamento do solo:
  - Em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;
  - Em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;
  - Em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até sua correção.
- **Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/12)** – esta legislação versa sobre a preservação das áreas cobertas por vegetação **tanto para as áreas rurais quanto urbanas** no Brasil, onde em seu artigo 4º são consideradas como Áreas de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para efeitos desta lei:
  - As faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluindo os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: a) 30 m para os cursos d’água de menos de 10 m de largura, b) 50 m para os cursos d’água que tenham de 10 a 50 m de largura;
  - Além disso, consideram-se, de preservação permanente, quando declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo, as áreas cobertas com florestas ou outras formas de vegetação destinadas a uma ou mais das finalidades: a) conter a erosão do solo, b) mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra e de rocha, c) assegurar condições de bem-estar público.

### **Metodologia proposta para o Zoneamento Urbano-Ambiental**

Em sua grande maioria, os zoneamentos urbanos estabelecidos no Brasil possuem um caráter funcionalista, onde os mesmos foram propostos com base na partição do território para que cada parte possua uma funcionalidade (não necessariamente integrada e sem a visão do todo). Deste modo, o que se propõe é uma divisão espacial com base em diferentes usos da terra (residencial, comercial, industrial, entre outros) e também de acordo com parâmetros urbanísticos que regulem a volumetria e densidades das construções.

Resumidamente os instrumentos que normatizam o zoneamento urbano conforme Casilha e Casilha (2009) são:

- Delimitação das áreas e categorização dos tipos de uso;
- Fixação dos coeficientes de edificação admitidos em cada área;

- Fixação das taxas de ocupação das distintas áreas de uso;
- Fixação das dimensões dos lotes.

As diversas formas de utilização do solo urbano podem ser classificadas nas seguintes categorias: residencial, comercial de prestação de serviços, exclusiva para transporte, industrial, institucional (edifícios públicos), áreas de lazer, áreas de conservação e preservação ambiental, áreas desocupadas (vazios urbanos), áreas de interesse social, entre outros.

Não há um padrão que determine qual deve ser o tamanho e a proporção de cada zona dentro do planejamento previsto, já que estes devem ser definidas com base nas atividades previstas dentro do planejamento para cada cidade, assim como na densidade populacional (atual e futura) esperada. Lembrando que, de acordo com as categorias, porte e natureza, as atividades urbanas em cada zona podem ser consideradas como permitidas, toleradas, permissíveis e proibidas, conforme descrição a seguir:

- Permitidas: atividades que apresentam compatibilidade com as finalidades urbanísticas para a zona correspondente;
- Toleradas: atividades admitidas nas zonas onde as atividades permitidas são prejudiciais ou incômodas;
- Permissíveis: atividades que dependem de análises específicas, pois necessitam de adequações à zona;
- Proibidas: atividades consideradas perigosas, incômodas ou incompatíveis com as finalidades da zona correspondente.

Salienta-se que em algumas zonas urbanas é permitido que aconteça o uso de mais de uma das categorias previstas anteriormente dentro do mesmo lote, desde que sejam respeitadas as classificações e regras legalmente estabelecidas.

Além disso, é importante destacar que as tipologias das zonas possuem critérios específicos para a construção de edificações nos lotes, tais como: taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, altura, recuo, afastamento, dimensão do lote e taxa de permeabilidade.

Percebe-se que as maiores preocupações atuais dos Planos diretores e das Leis de zoneamento urbano são com a otimização da infraestrutura urbana e dos serviços públicos, e mesmo com o estabelecimento dos parâmetros urbanísticos para um melhor uso e ocupação do solo urbano, ainda persistem diversos problemas sociais e ambientais, relacionados, por exemplo, à falta de moradia e a degradação dos ambientes naturais.

Assim, a proposta para a consecução do Zoneamento Urbano-Ambiental busca trabalhar nesta lacuna do planejamento urbano atualmente vigente no Brasil. Tendo a disposição as atuais metodologias para o zoneamento por funcionalidades, buscou-se o auxílio de outras metodologias que pudessem ser mescladas a esta, para a proposição do enfoque ambiental nesta nova proposta de zoneamento.

A metodologia do Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) elaborada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural ambas do estado de Minas Gerais, foi utilizada para auxiliar na proposição do Zoneamento Urbano-Ambiental.

O Zoneamento Ambiental Produtivo vem sendo adotado no estado de Minas Gerais por se constituir em um zoneamento territorial capaz de considerar os aspectos produtivos econômicos aliados ao viés ambiental, visando orientar o planejamento do uso conservacionista dos territórios.

A metodologia prevista para o ZAP envolve três grandes etapas: definição das unidades de paisagem, levantamento do uso e ocupação do solo e o diagnóstico da disponibilidade hídrica da sub-bacia de estudo, conforme o Manual Metodológico (SEMAD/SEAPA-MG, 2016). O arcabouço destas etapas será utilizado como base para a proposição da metodologia do Zoneamento Urbano-Ambiental, fazendo as alterações e adequações inerentes a esta nova proposta, conforme detalhamento a seguir.

O Zoneamento Urbano-Ambiental será composto por três etapas, sendo estas: a definição das unidades de paisagem, o levantamento do uso e ocupação do solo – estas etapas são comuns às diversas metodologias para zoneamento do território – e a ultima etapa prevista é a de diagnóstico da vulnerabilidade urbana com enfoque na temática de cheias urbanas. Esta última etapa foi inserida no zoneamento para promover a busca pela sustentabilidade ambiental, para que se consiga compatibilizar de melhor forma os ambientes natural e construído, respeitando os limites que o ambiente natural impõe e considerando a temática do manejo das águas pluviais como um sistema integrador dos diferentes sistemas urbanos.

**Unidades de paisagem** – esta etapa do zoneamento tem como objetivo a delimitação e caracterização das chamadas unidades de paisagem, onde é considerada a influência da vegetação, geologia, geomorfologia, solos, recursos hídricos e, como estes atuam na configuração da paisagem urbana. Com a definição das unidades de paisagem, é

possível determinar as potencialidades, limitações e aptidões para os múltiplos usos e ocupações, partindo-se do princípio que o meio natural condiciona a diversidade de modalidades de usos e ocupações nas áreas urbanas.

Diferentes métodos podem ser utilizados para caracterização das unidades de paisagem (não sendo estes detalhados neste estudo), que consistem em integrar e estabelecer correlações entre variáveis do meio físico (geologia, relevo, hidrografia, vegetação), com o uso e ocupação do solo, os sistemas urbanos (sistema viário, traçado da malha urbana) e as características socioeconômicas (renda, por exemplo). Após a junção dessas informações podem ser analisadas as diferentes parcelas do território, reunidas por suas características em comum e, serem constituídas as unidades de paisagem.

**Levantamento de uso e ocupação do solo** – O uso e a ocupação do solo reúnem importantes informações sobre o grau de preservação, conservação ou alterações em um determinado local. Assim, o mapeamento do uso e ocupação do solo se constitui em uma interpretação técnica-visual de características que determinada área apresenta, sendo este atualmente essencial para a compreensão dos padrões de ocupação do espaço, pois o mesmo é capaz de identificar diferentes tipologias e tendências ocupacionais.

Inicialmente as classificações de uso do solo eram baseadas em trabalhos de campo, porém com a inserção das imagens orbitais, este passou a se constituir em um processo técnico de análise e interpretação realizado sobre imagens, análises estas que permitem a identificação de áreas classificadas como reflorestamento, vegetação natural, agricultura, áreas urbanas, edificações, corpos d'água, entre outros usos para o solo.

Atualmente a principal via de produção de mapeamento de uso do solo é com o uso de softwares de extração e interpretação de imagens, métodos estes que podem realizar a classificação das imagens de maneira automática e/ou ainda a vetorização manual das feições identificadas na paisagem, ou mesmo ambos serem trabalhados conjuntamente. Tais métodos, porém, não serão objeto de detalhamento neste documento.

Como resultado desse trabalho, são gerados mapas que classificam e apresentam os diferentes usos e ocupações do solo, uma síntese das informações de cada uma dessas classes de uso, bem como podem ser gerados mapas que detalham as áreas que devem ser ambientalmente protegidas, entre outras informações.

**Diagnóstico da vulnerabilidade urbana** – esta etapa possui o objetivo de conhecer as diferentes vulnerabilidades inerentes a uma área urbanizada; como o zoneamento proposto tem um enfoque ambiental com destaque para a temática das cheias urbanas como aspecto integrador entre o ambiente natural e o construído, com desdobramentos sobre o funcionamento dos demais sistemas urbanos, é proposta aqui a utilização do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias. Este índice foi elaborado ao longo da construção desta Tese e, em sua metodologia, abarca a avaliação dos aspectos sociais, ambientais, econômicos e da infraestrutura urbana, relacionados à vulnerabilidade às cheias.

A metodologia para a aplicação deste índice se encontra detalhada no capítulo de Material e Métodos. Além do uso do índice, recomenda-se, quando houver a disponibilidade, o uso de informações provenientes de estudo de modelagem hidrodinâmica, para que se possa ter um melhor diagnóstico das áreas que se encontram sob influência das cheias urbanas (sejam elas provenientes de falhas, tanto da micro quanto da macrodrenagem).

Baseado na análise conjunta entre as unidades de paisagem, o mapeamento dos usos do solo e a avaliação da vulnerabilidade urbana promovida pelo Zoneamento Urbano-Ambiental, é possível a determinação das diferentes incompatibilidades entre os atuais usos do solo urbano e aqueles recomendáveis para o mesmo. Assim, recomenda-se que o uso do solo (e consequentemente o próprio zoneamento deste) seja compatibilizado com as aptidões e características da paisagem onde este se encontra, respeitando os limites impostos pelo ambiente – limites estes, nesta proposta relacionados com os dados obtidos pelas manchas de alagamento provenientes da modelagem hidrodinâmica, bem como da avaliação da vulnerabilidade urbana aos processos de cheias – evitando assim a degradação do mesmo e possibilitando um desenvolvimento urbano mais sustentável.

## Proposição de novas zonas para o Caso de Estudo

Após uma primeira comparação entre o atual zoneamento urbano para uma cidade e uma aplicação do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Processos de Cheia, percebeu-se a necessidade de adequações nas atuais zonas funcionais propostas para avançar com a proposição do Zoneamento Urbano-Ambiental. Acredita-se que algumas

destas zonas devem ser mais bem embasadas ambientalmente, refletindo suas fragilidades, quando de sua definição, e outras devem ser implementadas preventivamente.

Para a proposição de novas zonas e adequações em outras zonas já previstas (destacadas a seguir) foram utilizados: a legislação vigente, as informações obtidas com a aplicação do índice de vulnerabilidade e da modelagem hidrodinâmica, bem como as informações de áreas de risco cedidas por órgãos como a Defesa Civil ou órgãos de planejamento urbano municipal.

**Zona de passagem da inundação** – Com base no código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/12) em seu 3º artigo são detalhados dois conceitos:

- Área verde urbana: são espaços públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais;
- Faixa de passagem de inundação: área de várzea ou planície de inundação adjacente a cursos d’água que permite o escoamento da enchente.

O artigo 4º versa sobre as Áreas de Preservação Permanente, estas situadas tanto em áreas urbanas quanto rurais, onde para efeito da Lei: “Considera-se como Área de Preservação Permanente as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular em largura mínima de...”

- 30 metros para os cursos d’água de menos de 10 metros de largura;
- 50 metros para os cursos d’água que tenham entre 10 e 50 metros de largura.

E o artigo 6º considera ainda como Área de Preservação Permanente, quando declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo, as áreas cobertas por vegetação destinadas a finalidades de: a) conter a erosão do solo e mitigar os riscos de enchentes e deslizamentos de terra e rocha, b) assegurar as condições de bem-estar público.

Já a Lei 6.766/79, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, diz em seu 3º artigo que não deve ser admitido o parcelamento do solo para fins urbanos, em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica (assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal) nas seguintes condições: a) em terrenos alagadiços e

sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas, b) em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação, c) em áreas de preservação ecológica. No artigo 4º fica recomendado que os loteamentos devam atender a recomendação de que ao longo das águas correntes e dormentes e das faixas de domínio público de rodovias e ferrovias, é obrigatória a reserva de uma faixa não-edificável de 15 metros de cada lado.

Assim é proposta a inserção da chamada Zona de Passagem da Inundação dentro do Zoneamento Urbano-Ambiental, esta que tem como função garantir que as cheias tenham seu espaço assegurado, sem que as mesmas conduzam a problemas de ordem urbanística para as cidades. Esta zona é embasada na legislação urbana e ambiental vigente, que assegura a preservação permanente, com consequente não urbanização das áreas marginais aos cursos d'água. A recomendação em largura para esta zona é a mesma daquela vigente no Código Florestal.

Com a inserção desta zona no zoneamento urbano, pretende-se assegurar as funções ambientais e sociais destas áreas, e, como consequência, um melhor gerenciamento dos conflitos no uso do solo nestas áreas e menores danos quando da ocorrência das cheias urbanas, proporcionando assim uma maior qualidade de vida para as populações urbanas e também para o próprio meio construído.

É feito um aparte nessa proposição, com relação a questão dos cursos d'água totalmente descaracterizados (canalização e tamponamento, por exemplo), nessas situações devido a perda de parte de suas funções ambientais e, sabendo-se da dificuldade de fixação dessa faixa marginal, alguns órgãos ambientais, como a CETESB (SP) e o INEA (RJ) referenciam não ser possível a constituição da APP. Salienta-se, porém, que a legislação ambiental relativa às APP's deve ser cumprida (ainda que minimamente); para tanto, ainda há um longo caminho de discussões e adequações legais, principalmente na delimitação das áreas de proteção marginal aos cursos d'água canalizados. Nas margens de cursos d'água canalizados, devem ser respeitados, no mínimo, os 15m de faixa não edificável, para garantir acesso e manutenção a estes canais.

**Adequações nas ZEIS** – As chamadas Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) foram inseridas no contexto do planejamento urbano por meio do Estatuto da Cidade em 2001. Seu texto as definem como: “parcela de área urbana instituída pelo Plano Diretor ou definida por outra lei municipal, destinada predominantemente à moradia de população de baixa renda e sujeita a regras específicas de parcelamento, uso e ocupação

do solo”. De forma resumida, os objetivos das ZEIS são: incorporar a cidade clandestina à cidade legal, estender o direito à cidade e à cidadania, estimular a produção de habitação de interesse social, estimular a regularização fundiária, estimular a ampliação da oferta de serviços e equipamentos urbanos.

Geralmente as ZEIS são divididas em duas tipologias: ZEIS de regularização – se constituem em áreas já ocupadas por assentamentos informais, ou com alguma forma de irregularidade, objetivando o reconhecimento das áreas já ocupadas por processos informais e promovendo sua integração definitiva na cidade; ZEIS de vazios – são áreas vazias (preferencialmente inseridas em regiões já urbanizadas), com o objetivo de ampliar a oferta de terra urbanizada para novas moradias de interesse social. Estas zonas podem abranger tanto áreas vazias ou subutilizadas tanto em regiões periféricas quanto em áreas centrais. Entretanto, é importante destacar que o interesse social não pode se superpor (e sobrepujar) à análise de risco, que deve ter precedência àquela e deve poder gerar áreas de exclusão, para um desenvolvimento urbano seguro, não permitindo que pessoas se coloquem em risco, sob nenhuma argumentação.

Com relação à aplicação deste instrumento do planejamento urbano, desde que o mesmo foi implantado até os dias atuais, basicamente este foi adotado em áreas já ocupadas por população de baixa renda, com o objetivo de promover o reconhecimento e regularização destas e, em menor quantidade, algumas legislações prevêem a seleção de áreas ainda não ocupadas, destinando-as para o atendimento de habitações de interesse social ou outras funções de interesse coletivo (como parques e áreas de lazer). Porém, quando desta demarcação, é possível perceber diversas fragilidades na aplicação do instrumento – algumas de ordem legal, e várias outras de cunho ambiental e estrutural – podendo ser percebido que algumas ZEIS são demarcadas justamente em áreas de risco (de deslizamento de terra ou de inundações). Pelo fato das ZEIS estarem associadas com áreas de risco, as mesmas apresentam níveis consideráveis de precariedade ambiental, urbanística, habitacional e social, o que faz com que as mesmas devessem ser submetidas a estudos técnicos que balizem a possibilidade de remoção da população e descaracterização da ZEIS.

Assim o código florestal brasileiro em seu artigo 64º (com redação dada pela Lei 13.465/17) diz que na reurbanização dos núcleos urbanos informais, que ocupem áreas de APP, a regularização fundiária somente será admitida por meio de um projeto de regularização fundiária que inclua um estudo técnico que demonstre a melhoria das

condições ambientais em relação à situação anterior, devendo este estudo conter, no mínimo: a) *caracterização da situação ambiental da área a ser regularizada*, b) especificação do sistema de saneamento básico, c) *proposição de intervenções para a prevenção de riscos geotécnicos e de inundações*, d) recuperação de áreas degradadas e daquelas não passíveis de regularização, e) *comprovação da melhoria das condições de sustentabilidade urbano-ambiental, considerando o uso adequado dos recursos hídricos, a não ocupação das áreas de risco e a proteção das unidades de conservação, quando for o caso*, f) comprovação da melhoria da habitabilidade dos moradores propiciada pela regularização proposta, g) *garantia de acesso público às praias e aos corpos d'água*.

E para a reurbanização dos núcleos urbanos situados em APP não identificadas como áreas de risco, o processo de regularização é previsto no artigo 65º do Código Florestal (também com redação dada pela Lei 13.465/17), onde o mesmo deverá incluir um estudo técnico que contenha a caracterização físico-ambiental, social, cultural e econômica da área, com identificação dos recursos ambientais, dos passivos e fragilidades ambientais, bem como das restrições e potencialidades da área; devem ser especificados os sistemas de infraestrutura urbana; e também devem ser identificadas as áreas consideradas de risco de inundaçao e de risco geotécnico (deslizamentos de terra, blocos, corridas de lama), como também devem ser indicadas faixas ou áreas que devem ser resguardadas as características típicas de áreas de APP com propostas de recuperação de áreas degradadas e das áreas que não são passíveis de regularização.

Além disso, as próprias Leis de Uso e Ocupação do Solo de diversos municípios costumam conter uma zona denominada Zona de Interesse Ambiental, estas zonas são aquelas que têm por objetivo a recuperação, preservação ou conservação ambiental, destinadas a ocupação de baixa densidade (preferencialmente para uso público ou de lazer) ou a não ocupação. Comumente estas zonas são constituídas por áreas públicas ou privadas com potencial ambiental e paisagístico, com presença de vegetação, cursos d'água, nascentes e fundos de vale.

Com base na atual situação de diversas ZEIS terem sido propostas em áreas consideradas como de risco ou ambientalmente frágeis, em áreas de APP, e nas proposições dos artigos citados do Código Florestal, pode-se sugerir que, com o uso do Zoneamento Urbano-Ambiental, possam ser feitas adequações na proposição das ZEIS, pois quando estas já se encontram demarcadas em áreas de risco, as mesmas devem

efetivamente sofrer um processo de regularização baseado no uso de diversas intervenções legais e de engenharia, e em alguns casos, as mesmas não devem ser ocupadas como ZEIS, mas sim convertidas em outras zonas. Já para o caso em que a ocupação na APP não consistir em ocupação em área de risco, devem ser conduzidos estudos que avaliem a viabilidade da identificação dessa área como ZEIS; sendo uma parte destes estudos o próprio foco do próprio Zoneamento Urbano-Ambiental.

Com auxílio das análises realizadas para implantação de um Zoneamento Urbano-Ambiental, é possível a execução de correções em distorções encontradas hoje no Zoneamento Urbano. Além das novas zonas propostas é possível a adequação (quando necessária) de todas as demais zonas previstas pelo zoneamento funcional das áreas urbanas, sendo essa ação embasada no respeito aos limites impostos pelo ambiente natural sobre as áreas urbanas. Como exemplo, com a demarcação dessas novas zonas com restrição a ocupação (como as zonas de interesse ambiental), estas podem ser utilizadas para a criação de parques urbanos, agregando em si novos usos (lazer em tempo seco, por exemplo) que não foram anteriormente previstos.

Como forma de aplicação, ainda inicial e simplista, das adequações possíveis pelo uso do Zoneamento Urbano-Ambiental, foram feitas alterações no zoneamento previsto para o caso de estudo trabalhado nesta Tese (a bacia do córrego Barbado em Cuiabá), com alterações e conversões de ZEIS e a inserção da Zona de Passagem da Inundação.

A Zona de Passagem da Inundação (ZPI) foi delimitada com base na faixa de APP marginal ao curso d'água, e segue a mesma recomendação em largura daquela prevista pelo Código Florestal, sendo esta de 30 m para os cursos d'água de até 10 m de largura. Como a maioria dos córregos inseridos nas áreas urbanas possuem esta largura, foram adotadas faixas de 30 m de largura em ambas as margens dos cursos d'água. Para os trechos já completamente canalizados e/ou tamponados, nesta aplicação inicial, foi adotada como recomendação de largura a faixa de área não edificável de 15 m, prevista pela lei 6.766/79. Algumas das ZEIS demarcadas pelo Zoneamento Urbano foram alteradas e/ou reconvertidas em outras zonas, com base na legislação vigente específica para reurbanização de ZEIS e na delimitação das áreas de risco na área urbana. Foram inicialmente alteradas duas ZEIS na área da bacia do Barbado. Tais alterações propostas podem ser vistas na Figura 4.53.

## Zoneamento Urbano - Ambiental

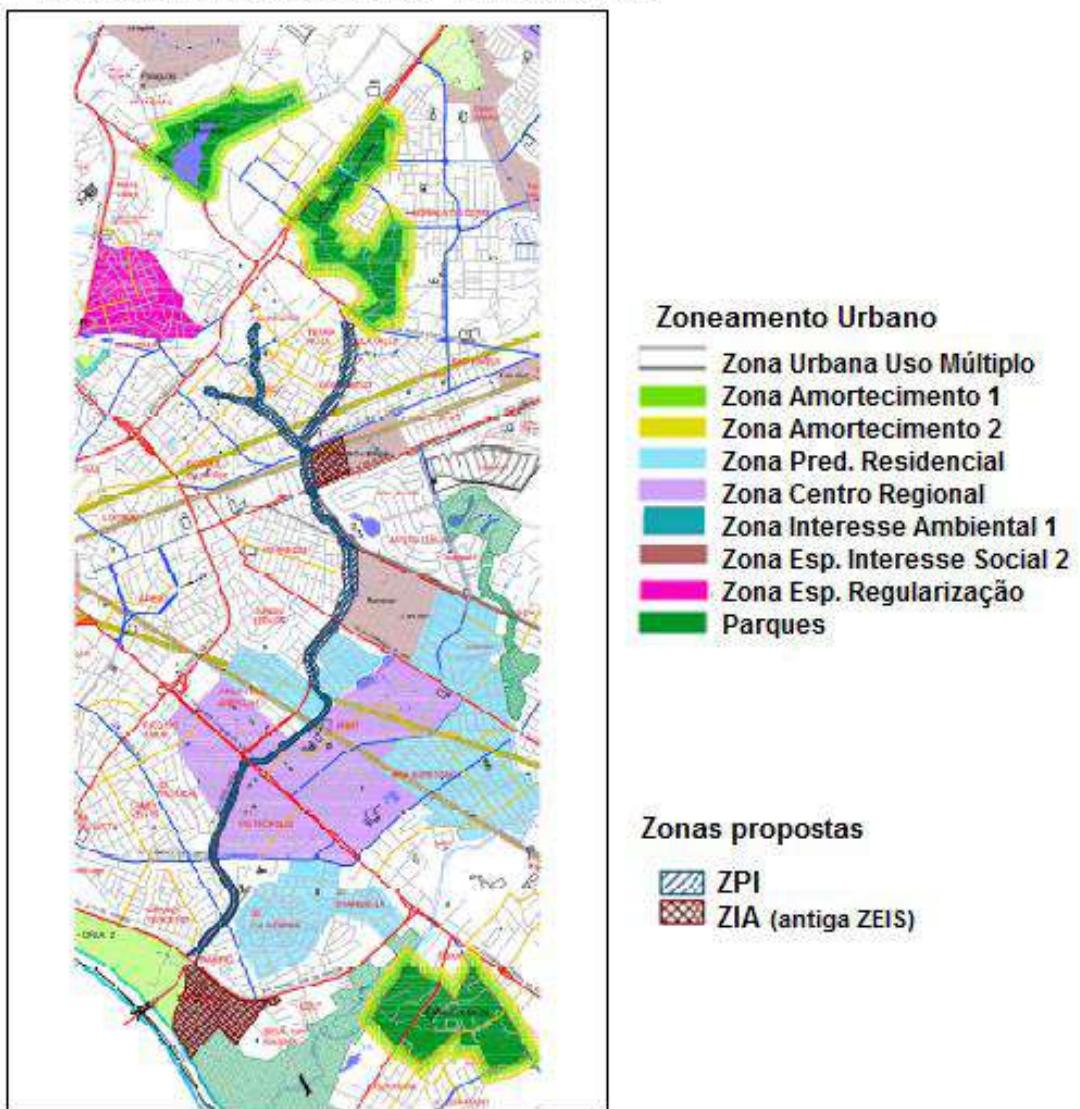


Figura 4.53: Proposta de novas zonas com uso do Zoneamento Urbano-Ambiental

Duas das ZEIS previstas no zoneamento de Cuiabá foram alteradas; uma delas deve ser completamente convertida em uma Zona de Interesse Ambiental (ZIA), esta se localiza no exutório da bacia do rio Barbado no rio Cuiabá, no bairro Praeirinho, área esta considerada como de risco de cheias pela própria Defesa Civil Municipal e pelo órgão de planejamento urbano da cidade (IPDU), que comumente sofre os impactos das cheias tanto do córrego Barbado quanto do rio Cuiabá; não devendo assim essa área ser ocupada e, menos ainda, considerada como uma região apta a receber população de baixa renda. A outra alteração sugerida é a conversão de parte de uma ZEIS no trecho médio da bacia situada no bairro Campo Verde, uma vez que uma parcela desse bairro (a mais próxima ao córrego do Barbado) possui um pequeno curso d'água efêmero, que

deságua no próprio Barbado, tornando assim esta área bastante sensível às cheias, sendo essa área hoje plenamente ocupada também por população de baixa renda. Portanto, a recomendação é pela conversão de uma parcela desta ZEIS em uma ZIA.

Destaca-se que estas novas ZIA's não possuem a definição clássica de uma área que tem interesse ambiental efetivamente declarado, mas se referem ao enfoque da restrição à ocupação devido aos riscos advindos de processos de cheias urbanas, a fim de assegurar a proteção de ambos os ambientes natural e construído.

Em todos os trechos do córrego que ainda possuem características mais próximas ao natural foi adotada a inserção da ZPI – dos trechos próximos à nascente até o trecho médio do Barbado – conforme visto na Figura 4.53. Já em direção ao exutório do córrego, a urbanização é bastante consolidada e o canal foi quase que completamente alterado, portanto, nestes trechos em função da situação encontrada foi adotada uma ZPI com faixa mínima de proteção de 15 m.

São feitos alguns destaque após a aplicação destas zonas no caso de estudo. Na região do córrego Canjica (afluente pela margem esquerda ao córrego Barbado), onde em diversos pontos a urbanização se encontra inserida na ZPI proposta – e algumas casas estão dentro da própria faixa não edificável de 15 m, proposta pela lei de Parcelamento do solo urbano – sendo que parte desta ocupação não consiste em população de baixa renda, como visto na Figura 4.54. Na área próxima as nascentes do Barbado não foi proposto o uso da ZPI, em função desta se encontrar protegida em um parque e suas zonas de amortecimento. Já no trecho final do córrego, onde o mesmo se encontra canalizado, foi aplicada a ZPI com apenas 15 m de largura e, em alguns pontos podem ser percebidas construções inseridas nesta faixa, como visto na Figura 4.55.



Figura 4.54: Ocupação urbana na Área de Preservação Permanente do córrego Barbado



Figura 4.55: Ocupação urbana na Área não edificável do córrego Barbado

Como as duas zonas propostas pela aplicação do Zoneamento Urbano-Ambiental ao caso de estudo possuem um caráter fundamentalmente de proteção ambiental, novas áreas de interesse ambiental serão alocadas na paisagem urbana, assim, com o intuito de promover uma interligação entre essas áreas foi executado o chamado “Corredor verde”.

Este Caminho Verde busca articular o projeto de engenharia ao projeto urbano e o projeto da paisagem, com vistas à requalificação tanto do ambiente quanto do próprio curso d’água. Como na área de estudo já existem alguns parques e suas respectivas zonas de amortecimento (ou zona de transição) conforme visto no Zoneamento Urbano e, com as Zonas de Interesse Ambiental (propostas a partir da conversão das ZEIS) e Zona de Passagem da Inundação que foram aplicadas, buscam-se conectar a cidade com as áreas de preservação ambiental, estas áreas funcionando como uma porta de entrada

para o verde dentro da área urbana. Ainda se propõe a criação de um Parque de Zona Úmida na região da foz do córrego Barbado; este parque poderia abarcar uma área ambientalmente interessante, pois além da própria foz do Barbado, tem-se a área de proteção permanente dos rios Cuiabá e Coxipó e a ZIA proposta no bairro Praeirinho, conforme visto no trecho inferior da Figura 4.56 (LOURENÇO, 2013; MIGUEZ, VERÓL & REZENDE, 2016).

Após a implantação deste Corredor Verde além da inserção maior do rio na paisagem urbana, ainda se controla mais eficazmente os riscos advindos da ocupação das margens, diminui-se a descarga de resíduos diretamente na calha, além da possibilidade de abertura de novas áreas de lazer.

**Corredor Verde**

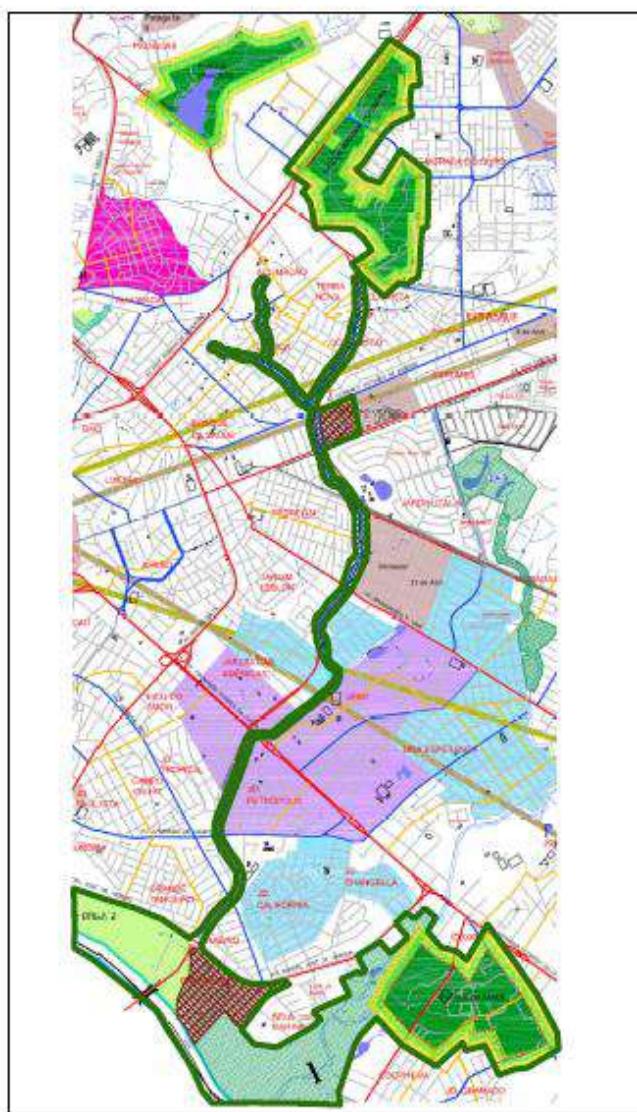


Figura 4.56: Proposta do “Corredor Verde”

Ressalta-se ainda uma última discussão inserida na temática de planejamento: todas as propostas construídas ao longo desta Tese foram embasadas em um diagnóstico da situação atual para o caso de estudo definido na cidade de Cuiabá, porém algumas interferências e inconformidades construtivas (do ponto de vista hidráulico/hidrológico) puderam ser encontradas nesta bacia, e estas tem potencial para alterar algumas propostas elaboradas.

O exemplo mais marcante dessa assertiva é a Avenida Parque Barbado que está sendo finalizada sobre o capeamento do córrego Barbado por cerca de 750 m em um bueiro triplo circular de 3x3 m (conforme detalhado na Figura 4.40). Em uma situação ideal e a mais correta possível tal recobrimento do córrego não deveria ocorrer, já que esta canalização está provocando um efeito de “rolha” sobre a vazão a jusante deste ponto. Com vistas a simular a situação da bacia caso o córrego fosse reaberto (ou voltasse às condições anteriores) foi feita a simulação da mancha de alagamento com o uso do MODCEL para os TR's de 10 e 25 anos, apresentadas nas Figuras 4.57 e 4.58.

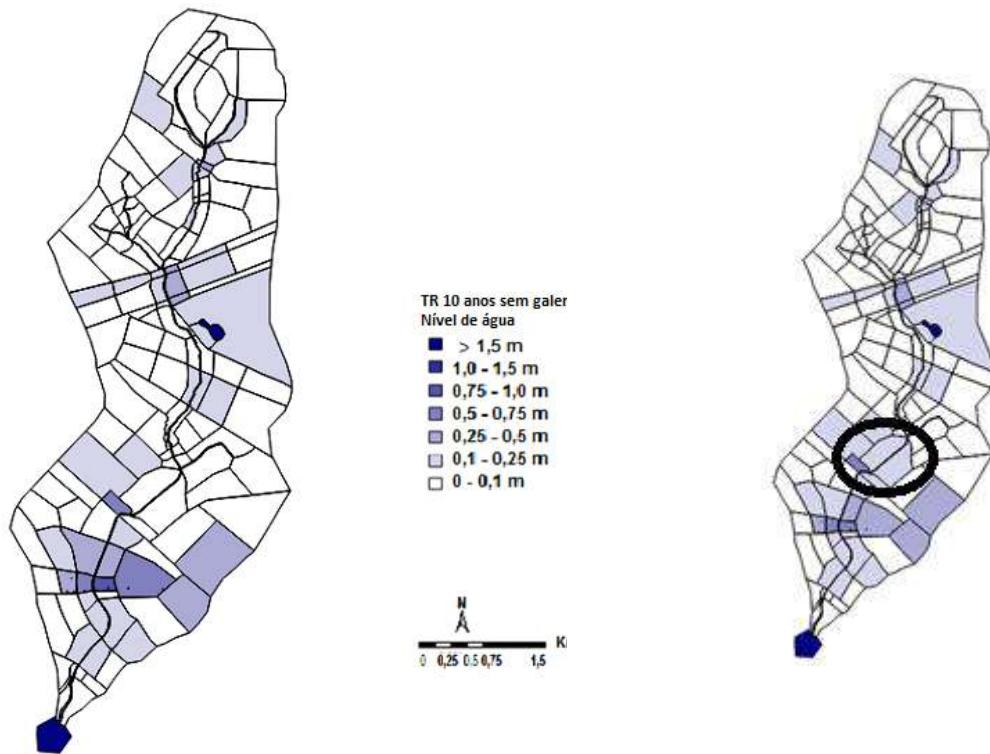


Figura 4.57: (a) Mancha de alagamento TR 10 anos (sem galeria Av. Parque Barbado); (b) TR 10 anos



Figura 4.58: (a) Mancha de alagamento TR 25 anos (sem galeria Av. Parque Barbado); (b) TR 25 anos

Para o TR 10 anos, conforme a Figura 4.57 pode ser verificada a mudança no comportamento das lâminas de água nos trechos laterais a Avenida e também nos trechos a jusante deste ponto destacado, onde as lâminas foram majoradas em cerca de 25 cm em algumas células. Já para o TR de 25 anos (Figura 4.58), a mudança é também bastante perceptível nas lâminas de água em células importantes para a análise de risco e planejamento – as avenidas Fernando Correa, Carmindo de Campos e Tancredo Neves – algumas delas tem aumento de até 30 cm nas lâminas de água.

Quando comparados os cenários de 10 e 25 anos para essa nova modelagem hidrodinâmica também se percebe a diminuição do “efeito rolha” quando da retirada do tamponamento do córrego, com a elevação dos níveis de água nas células a jusante do trecho destacado, principalmente nas avenidas Carmindo de Campos e Fernando Correa, com aumento entre 40 e 50 cm, tornando os níveis de perigo nesta região mais elevados que quando comparados a situação atualmente modelada.

Tal situação tem potencial para promover novas inferências quanto do planejamento urbano para esta área e outras demais áreas, em função da modificação dos níveis de perigo aos quais estas estarão suscetíveis; sendo assim recomenda-se também que ao longo da execução do planejamento urbano seja verificada a existência

de situações semelhantes a esta citada. Visto que as fragilidades e/ou “seguranças” de uma área podem vir a ser inerentes a esta própria área ou então decorrentes de obras de engenharia inseridas na mesma.

Foi executada uma representação gráfica em formato de fluxograma (Figura 4.59) para resumir e auxiliar a aplicação da metodologia proposta pelo Zoneamento Urbano-Ambiental (ZUA) para o planejamento das áreas urbanas; são elencadas as etapas a serem seguidas, conforme breve descrição a seguir.

## **1 – Definição das Unidades de Paisagem.**

Delimitação e influência das características físicas na paisagem urbana, indicando potencialidade, limitações e aptidões;

## **2 – Levantamento dos usos e ocupações do solo.**

Interpretação de imagens para verificação dos diferentes usos do solo;

## **3 – Avaliação da vulnerabilidade urbana aos processos de cheias.**

Uso do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias (IVUC);

## **4 – Modelagem hidrodinâmica.**

Determinação do perigo de cheias a partir do uso de modelos hidrodinâmicos como o MODCEL, SWMM, HEC-RAS, etc, gerando as manchas de alagamento;

## **5 – Determinação do Risco de cheias a partir das manchas de alagamento e da avaliação da vulnerabilidade.**

## **6 – Comparaçāo da avaliação da vulnerabilidade e do risco de cheias com o zoneamento urbano proposto.**

Superposição de mapas com uso de ferramentas GIS;

## **7 – Inferências sobre os resultados e prováveis conflitos encontrados.**

## **8 – Correções dos conflitos.**

Modelagem – proposição de novos cenários avaliando o uso de diferentes alternativas de intervenções estruturais e não estruturais, bem como o não uso destas;

Zonas que apresentem conflitos de uso – correção da delimitação das zonas propostas, conversão em novas zonas (ZEIS → ZIA);

## **9 – Inserção das novas zonas propostas pelo ZUA.**

Zonas de Passagem da Inundação (ZPI);

Novas Zonas de Interesse Ambiental (ZIA);

## **10 – Execução de planos de manejo para o uso das novas zonas propostas.**

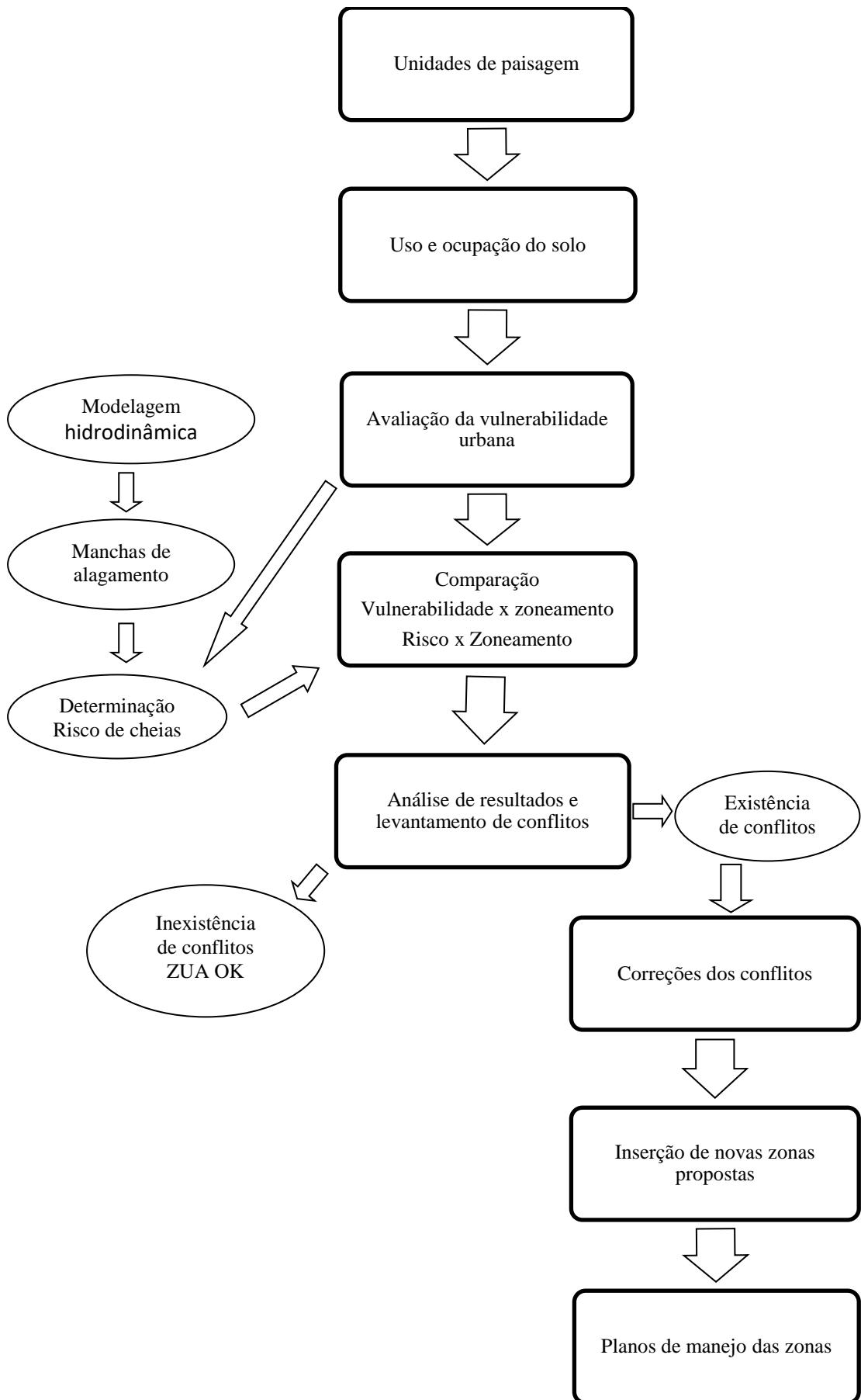


Figura 4.59: Fluxograma de aplicação da metodologia do ZUA

## **5.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **CONCLUSÕES**

A busca pela integração das políticas de recursos hídricos (como exemplo, a gestão do risco de cheias) com as políticas de planejamento do desenvolvimento urbano é uma tarefa complexa e urgente a ser realizada pelas cidades que se comprometem com seu crescimento futuro ambientalmente sustentável.

Assim, neste trabalho, foi postulada a hipótese de que o zoneamento ambiental do território municipal urbano, enfocando a temática de gestão do risco de cheias, é uma ferramenta fundamental no planejamento urbano e pode dar condições para um desenvolvimento mais sustentável e com menores riscos.

Tal hipótese foi motivada em função de historicamente os problemas associados às enchentes nas áreas urbanas serem imputados ao excesso de chuvas, diminuindo a importância dos efeitos provocados pelas ações humanas sobre o território; e as soluções de engenharia focarem somente no aumento da capacidade de escoamento dos rios e canais. Porém, os problemas de drenagem e inundações vêm se agravando com o crescimento das cidades, sem que se perceba a efetividade desta abordagem. Essa situação vem levando a uma busca de integração do projeto de drenagem e o manejo das águas pluviais com o planejamento e ordenamento territorial das cidades. Além disso, numa escala temporal recente, o conceito de desenvolvimento sustentável se fortaleceu, e passou a ser incorporado nas diretrizes do planejamento dos sistemas de manejo das águas pluviais e também no próprio planejamento urbano, alavancando essa aproximação.

Baseado na hipótese levantada por esta tese foi proposto como objetivo principal do trabalho, a promoção da aplicação de técnicas aplicadas à gestão do risco de cheias, como um instrumento tecnológico de embasamento do planejamento urbano – no tocante a temática do zoneamento urbano – promovendo assim orientações visando a melhor execução e/ou readequações desta faceta do planejamento.

Para atingir este objetivo proposto foi necessária a consecução das várias etapas descritas ao longo deste trabalho. Primeiramente foi executada uma vasta revisão de literatura, enfocando também em quais ferramentas da gestão de risco de cheias poderiam ser utilizadas para auxiliar o planejamento urbano. Neste ponto decidiu-se por uma aplicação inicial de diversas metodologias de avaliação das diferentes vertentes da

vulnerabilidade urbana aos processos de cheias, selecionadas a partir da revisão de literatura. Para realizar estas aplicações, foi preciso definir qual seria o recorte da área a ser estudada.

O caso de estudo aqui escolhido foi a micro bacia do córrego Barbado, situada na cidade de Cuiabá/MT. Esta se encontra completamente inserida na área urbanizada do município e é capaz de demonstrar, em função de seu histórico de desenvolvimento, os impactos advindos ao se promover uma urbanização sem o correto planejamento e respeito as características ambientais do local. Definido o caso de estudo, passou-se a compreensão da evolução histórica do desenvolvimento da cidade de Cuiabá, e também da forma que ocorre o processo do planejamento urbano da cidade.

Após o reconhecimento das particularidades do caso de estudo e a aplicação das diferentes metodologias de determinação da vulnerabilidade urbana, foi proposta a criação de um novo índice de avaliação da vulnerabilidade urbana frente aos processos de cheias, reunindo em sua concepção quatro subíndices principais, representando as diversas vertentes da vulnerabilidade – ambiental, social, econômica e infraestrutural – perfazendo assim uma ferramenta única para a avaliação da vulnerabilidade nas áreas urbanas.

O índice proposto neste trabalho foi aplicado ao caso de estudo para que pudesse ser verificado o comportamento do mesmo, além disso, foram realizados testes de sensibilidade na variação dos subíndices, bem como de seus respectivos indicadores, para efetivamente testar a capacidade de resposta do índice e validar o uso desta metodologia em outras aplicações.

Com o intuito de subsidiar o planejamento urbano, foi executada a superposição do zoneamento urbano previsto para a cidade de Cuiabá com o mapeamento proveniente da aplicação do índice de vulnerabilidade proposto na Tese, onde puderam ser feitas inferências que balizaram a formulação da próxima etapa – a proposta de alterações no zoneamento urbano, com a elaboração do chamado “Zoneamento Urbano-Ambiental”.

Para a proposta deste zoneamento foram utilizadas diferentes ferramentas da gestão do risco de cheias, tais como: a avaliação da vulnerabilidade urbana (com aplicação do índice proposto), a aplicação da legislação ambiental e urbana vigente, bem como foi executado um diagnóstico da cheias urbanas para o caso de estudo – com

a aplicação do modelo hidrodinâmico MODCEL, para executar o mapeamento das áreas suscetíveis aos processos de inundação.

São ressaltados alguns dos resultados obtidos ao longo desta pesquisa. O primeiro deles é com relação à avaliação da vulnerabilidade urbana aos eventos de cheia. Na literatura atual, podem ser encontradas diversas metodologias para tal avaliação; porém, cada uma destas, foca em um ou dois aspectos inerentes à vulnerabilidade (lembrando que esta é multifacetada) Além disso, boa parte destes índices é constituída por diversos indicadores (o que pode vir a dificultar sua aplicação em algumas situações) e, muitos deles também são propostos embasados em situações particulares de uma determinada localidade, tornando algumas vezes difícil a sua replicação plena.

Com base na aplicação de alguns destes índices e nas adequações que tiveram que ser feitas, foi proposta a execução de uma nova metodologia para avaliação da vulnerabilidade urbana aos eventos de cheia, visando sua plena replicabilidade. Essa proposta trabalha com uma menor quantidade de indicadores, porém fortes o suficiente para conseguir representar bem todos os quatro aspectos (social, ambiental, econômico e de infraestrutura) a serem avaliados; além disso, todos os indicadores podem ser obtidos de forma gratuita por via pública (com vistas ao uso desta metodologia inclusive por usuários dotados de menor infraestrutura técnica). O intuito maior é o de proporcionar uma ferramenta passível de uso por diferentes estruturas e capacidades técnicas de gestão urbana.

Tal ferramenta quando utilizada conjuntamente ao Zoneamento Urbano, consegue fornecer importantes informações acerca da vulnerabilidade na ocupação das diferentes áreas zoneadas no território municipal, explicitando espacialmente quais são as inadequações nas propostas executadas pelo zoneamento.

Com vistas a buscar preencher essa lacuna da compreensão e respeito às fragilidades ambientais que são encontradas em diversas legislações de Zoneamento Urbano, foi aqui levantada a proposta do chamado “Zoneamento Urbano-Ambiental”, onde a partir da consideração do respeito entre as relações dos ambientes natural e construído, é feito um embasamento ambiental para o zoneamento urbano. Nesta proposta, utilizou-se como eixo norteador a gestão dos riscos de cheias e seus diversos instrumentos, para promover as readequações no zoneamento urbano, dando a este um

aspecto ambiental muito mais forte, a fim de assegurar cidades ambientalmente mais sustentáveis quando de seu desenvolvimento urbano.

Como uma forma inicial de apresentar o uso desta proposta de zoneamento, a mesma foi aplicada ao caso de estudo da Tese, chegando assim na sugestão de alterações em algumas zonas previstas – a partir do entendimento destas como áreas de vulnerabilidade elevada a cheias ou ainda de áreas já declaradas como de risco de cheias, convertendo-as em zonas de interesse ambiental e fazendo as devidas restrições nos usos propostos; bem como também foi proposta a criação de uma nova zona, aqui chamada de zona de passagem da inundação – que possui em seu cerne o respeito às áreas de APP urbanas as margens de cursos d’água.

Por fim salienta-se que este arcabouço técnico aqui apresentado pode ser inserido no processo de zoneamento das cidades, com vistas ao melhoramento deste, por meio das adequações propostas ao longo desta Tese.

## **RECOMENDAÇÕES**

Com toda certeza, ao final deste trabalho, não se pretende esgotar a pesquisa sobre esta temática (na verdade, se abre um leque maior), assim, além das contribuições já apresentadas, podem ser feitas algumas sugestões futuras, descritas a seguir.

A metodologia do índice de avaliação da vulnerabilidade urbana neste trabalho enunciada, de uma forma geral, se apresenta eficiente quando comparada a realidade do caso de estudo proposto; porém, para consolidação plena da mesma se faz importante seu uso em novas aplicações. Além disso, pode ser testada a inclusão de novos indicadores aos já atualmente propostos (desde que estes continuem atendendo as premissas feitas durante a criação do índice), bem como pode também ser verificado o comportamento do índice quando do uso de outras metodologias para avaliação da sensibilidade na determinação dos pesos dos indicadores e subíndices.

No caso das novas zonas propostas pelo Zoneamento Urbano-Ambiental, para as alterações nas ZEIS's situadas em áreas de risco de cheias (já declaradas) ou de elevada vulnerabilidade urbana, e conversão destas em ZIA's deve ser mais bem detalhada a proposta de criação destas, respondendo a perguntas como: quais devem ser os limites desta zona e como estes devem ser definidos; além disso, é importante propor um plano urbanístico para o local, com a utilização da área, por exemplo, com espaços

multipurposas para evitar a nova ocupação residencial do local. O plano de manejo para estas áreas ambientais é crucial. As Zonas de Passagem da Inundação propostas devem ser mais bem equacionadas em áreas onde os cursos d'água se encontram plenamente urbanizados; lembrando que a discussão jurídica ainda é bastante recente acerca de como deve ser dar a aplicação das áreas de APP nas margens dos cursos d'água urbanizados e que não possuem mais suas características originais de prestação de serviços ambientais.

Pesquisas que envolvam a mudança de paradigma em relação às práticas de drenagem urbana também devem ser estimuladas – caminhando na chamada transição entre o manejo das águas pluviais para a gestão dos riscos das cheias. Nessa perspectiva, são necessárias novas simulações hidrodinâmicas (com o uso do MODCEL ou de outro modelo disponível) que avaliem a possibilidade de implantação de estruturas que retardem e amortecam as vazões de cheia (em diferentes escalas de projeto), comparando os custos dessas alternativas com outras medidas, de forma a adequar o nível de perigo, para permitir ou proteger uma dada ocupação. Ou seja, o zoneamento urbano-ambiental não é estático e ações de planejamento podem ser incorporadas para mitigar o risco e adaptar a ocupação de forma ativa.

São também necessárias pesquisas que desenvolvam estratégias para tornar públicas e de fácil acesso as informações sobre os riscos associados às inundações, possibilitando o desenvolvimento, tanto pelos gestores e órgãos públicos quanto pela sociedade civil, de estratégias de proteção e convivência com as cheias.

E, por fim, recomenda-se que as recomendações propostas neste trabalho possam se constituir em uma metodologia orientativa para a execução das propostas de Zoneamento Urbano das cidades, fazendo parte assim das suas respectivas Leis de Zoneamento, Leis de Uso e Ocupação do Solo ou dos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano.

## **REFERÊNCIAS**

ABES/SP – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Código Florestal, Apreciação Atualizada.** São Paulo, 2012

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de pesquisas hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

ADGER *et al.* **New indicators of vulnerability and adaptive capacity.** Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research Technical Report, n.7, 2004.

AHAMAD, S. S.; SIMONOVIC, S. P. **A intelligent decision support system for management of floods.** Water Resources Management, v. 20, n 3, p. 391 – 410. 2006.

AHERN, J. **Greenways as a Planning Strategy.** In: J. Fabos and J. Ahern (Editors). Greenways: the Beginning of an International Movement. Elsevier. Amsterdam, 1995.

ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidade socioambiental de rios urbanos: bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho região metropolitana de Fortaleza-Ceará.** Tese de doutorado. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2010.

ALVES, C. D. *et al.* **Análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intra-urbana.** In: IV Encontro Nacional da ANPPAS. Anais. Brasília. 2008.

ANTUNES, P. B. **Direito ambiental.** 11<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2008.

AZZOUT, Y. *et. al.* **Techniques alternatives en assainissement pluvial.** Paris: Technique et Documentation – Lavoisier. 1994

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos – Santa Catarina, Rio de Janeiro, Alagoas, Pernambuco, São Paulo.** Brasília, 2012.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011.** Brasília, 2012.

BANCO MUNDIAL. **Building Urban Resilience – Principles, Tools, and Practice.** Washington, 2013.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. **O contexto da drenagem urbana.** Texto da disciplina de drenagem urbana do programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da escola de engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 10p. 2001.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH, 226p. 2005.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. **Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.7. n.1. 2002.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana:** Porto Alegre: ABRH, 2<sup>a</sup> edição, p.318, 2011.

BARBEDO, J. M. R. **Urban Flood Mitigation through land-use adaptation: a socioecological perspective of Paraty.** Tese (Doutorado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2016.

BARBOSA, C.; CARVALHO, P. F. **Zoneamento urbano-ambiental: possibilidades de compatibilização entre análise geomorfológica e padrões de ocupação urbanos para a construção de cidades sustentáveis.** VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

BATISTELA, T. S. **O zoneamento ambiental e o desafio da construção da gestão ambiental urbana.** Dissertação (Mestrado) em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

BEER, F. P. & JOHNSTON, E. R., Jr. **Resistência dos materiais** (P. P. Castilho, Trad.). São Paulo: McGraw-Hill. 1989.

BIRKMANN, J. **Danger need not spell disaster but how vulnerable are we?** United Nations University, Nº 1, 2005.

BLAIKIE, P. M.; CANNON, T.; DAVIS, I. e WISNER, B. **At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters.** London, Routledge. 1994.

BRASIL. **Lei Nº 4.771/1965 Institui o Novo Código Florestal.** Brasília, 1965.

BRASIL. **Lei Nº 6.766/1979 Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e da outras providências.** Brasília, 1979.

BRASIL. **Lei Nº 6.938,** Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 1981.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília: [S.n], 1988.

BRASIL. **Resolução nº 2/CONDEC-** Conselho Nacional de Defesa Civil, de 12 de dezembro de 1994, aprova a Política Nacional de Defesa Civil. Brasília, 1994.

BRASIL. **Manual de Planejamento em Defesa Civil.** Brasília: Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Defesa Civil, 1999.

BRASIL, **Lei Nº. 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade),** que “regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece as diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências”. 2001.

BRASIL. **Campanha Nacional “Plano Diretor Participativo: Cidade para Todos”.** Ministério das Cidades, Brasília, 2005.

**BRASIL. Programa Drenagem Urbana Sustentável.** Ministério das Cidades. 2006. Manual para apresentação de propostas. 23 p. 2006.

**BRASIL. Lei Nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007:** estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. 2007.

**BRASIL. Lei Nº 11.977/2009,** Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Brasília, 2009.

**BRASIL. DECRETO Nº 7.257/2010,** Regulamenta a Medida Provisória nº 494 de 2 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil -SINDEC,. Brasília, 2010.

**BRASIL, Lei Nº 12.651/12,** Institui o Novo Código Florestal. *Diário Oficial da União*. Brasília, 2012.

**BRASIL. Lei Nº 12.608/2012,** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil -SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC. Brasília, 2012.

**BRASIL. Lei Nº 12.983,** Dispõe sobre a transferência de recursos da União para os municípios para execução de ações de prevenção em áreas de risco, e de resposta e recuperação em áreas atingidas por desastres. Brasília, 2014.

**BRASIL. Lei Nº 13.465,** Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana. Brasília, 2017.

**BUSSO, C. Vulnerabilidad sociodemografica em Nicaragua: um desafio para El crecimiento económico y la reducción de la pobreza.** Santiago de Chile, 2002.

**CANEDO, P.; EHRLICH, M.; LACERDA, W. A. Chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro, Sugestões para Ações de Engenharia e Planejamento.** Programa de Engenharia Civil. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

**CANHOLI, A. P. O Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê – Arquitetura Geral e Principais Recomendações.** XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, Paraná, 2003.

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

**CARDONA, O. D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management.** 2004.

**CARDONA O. D. et al. System of indicators for disaster risk management: main technical report.** Manizales – Washington: Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia / Inter-American Development Bank, 2005.

**CARMO& DE MARCHI. A Evolução da Legislação Brasileira no Planejamento da Drenagem Urbana.** 2013.

CARNEIRO, R. **Direito Ambiental: uma abordagem econômica**. Forense, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CARVALHO, P. F. **Instrumentos legais de gestão urbana: referências ao Estatuto da Cidade e ao zoneamento**. In: Estatuto da Cidade: Política Urbana e Cidadania. UNESP/IGCE/DEPLAN/LPM, Rio Claro-SP, 2000.

CARVALHO, P. F. de & Braga, R. **Zoneamento Ambiental Urbano por Micro-Bacias Hidrográficas: Estudo de Viabilidade em Cidade Média no estado de São Paulo – BR**. In I Congresso Luso-brasileiro para o Planejamento Urbano e Regional Integrado e Sustentável. São Carlos - SP, 2005.

CARVALHO, M. A. C. C. **Situação hidrológica da obra de implantação e duplicação da Avenida Parque do Barbado utilizando o SWMM, em Cuiabá/MT**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

CASILHA, G. A.; CASILHA, S. A. **Planejamento Urbano e Meio Ambiente**. IESDE Brasil S.A., Curitiba, 2009.

CASTRO, L. M. A.; BAPTISTA, M. B.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Análise multicritério para avaliação de sistemas de drenagem urbana – Proposição de indicadores e sistemática de estudo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.9, n.4, p.05-19. 2004.

CASTRO, C. B. *et al.* **Riscos Ambientais e Geografia – Conceituações, Abordagens e Escalas**. Anuario do Instituto de Geociências, UFRJ. 2005.

CEPREDENAC (PNDU). Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central – **La Gestión Local Del Riesgo Nociones y Precisiones en Torno al Concepto y la Práctica**. 2003.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **NORMA TÉCNICA P4.261 – Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência**. São Paulo, 2011.

CIRIA. **The SUDS Manual**, C697. 2007. Disponível em: <<http://www.ciria.org.uk/suds>>. Acesso em: 08/09/2015.

CIRIA. **Water Sensitive Urban Design in the UK – Ideas for built environment practitioners**. Publication C723, London, 2013.

CHOCAT, B. **Sustainable management of water in cities. Challenges of the new water policies for the XXI century**” –Universidad International Menendez Pelayo, Valence, Spain, October 2002. Disponível em: <http://www.petus.eu.com> Acesso em: 22/08/15.

CHOCAT, B *et al.* **Toward the Sustainable Management of Urban Storm-Water**. Indoor And Built Environment: International Society of the Built Environment, 2007

COELHO JR, L. **Intervenções nas áreas de preservação permanente em zona urbana: uma discussão critica acerca das possibilidades de regularização.** Revista eletrônica do Ministério Público Federal, ano II, N.2, 2010.

COFFMAN, L., 2000. **Low-Impact Development Design Strategies, an Integrated Design Approach.** EPA 841-B-00-003. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, Prince George's County, Maryland.

COMPEDEC – CUIABÁ. **Plano de Contingência – Chuvas.** Prefeitura Municipal de Cuiabá. Cuiabá. 2014.

CUIABÁ, **Perfil Socioeconômico de Cuiabá, Volume II.** Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá, MT, 2004.

CUIABÁ. **Lei Nº 150/2007:** estabelece o Plano Diretor Municipal. 2007.

CUIABÁ. **Evolução do Perímetro Urbano de Cuiabá – 1938 a 2007.** IPDU - Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá, MT, 2007.

CUIABÁ. **Perfil Socioeconômico de Cuiabá.** Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Central de Texto, 2009.

CUIABÁ. **Lei Nº 5.355/2010:** estabelece a atualização da planta de valores genéricos da área urbana. 2010.

CUIABÁ. **Lei Nº 232/2011:** estabelece a Hierarquização Viária de Cuiabá. 2011.

CUIABÁ. **Lei Nº 389/2015:** estabelece a Lei de Uso, Ocupação e Urbanização do Solo. 2015.

CUTTER S. L. **Vulnerability to environmental hazards.** Progress in Human Geography, v.20, no 4, 1996.

CUTTER, S. L. *et al.* **Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina.** Ann. Assoc. Am. Geogr. 2000.

CUTTER, S. L. **Vulnerability to environmental hazards. Progress in human geography.** Los Angeles, v. 20, n. 4. 2003.

CUTTER *et. al.* **Social Vulnerability to Environmental Hazards.** Social science quarterly, Volume 84, Number 2, 2003.

CUTTER, S., *et al.* **Community and regional resilience: perspectives from hazards, disasters, and emergency management.** CARRI Research Report 1, Hazards and Vulnerability Research Institute, Department of Geography University of South Carolina Columbia, South Carolina, 2008.

CUTTER, S., *et al.* **A place-based model for understanding community resilience to natural disasters.** Global Environmental Change, 18(4), 598–606, 2008.

D'ALTÉRIO, C. F. V. **Metodologia de Cenários Combinados para Controle de Cheias Urbanas com Aplicação à Bacia do Rio Joana**, Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

DEÁK, C. **Rent theory and the price of urban land/ Spatial organization in a capitalist economy**. PhD Thesis, Cambridge, 1985.

DEFESA CIVIL/CEPED/UFSC. **Manual de Defesa Civil**. Defesa Civil do Estado de Santa Catarina e Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres – CEPED/UFSC. Santa Catarina, 2009.

DELSON, R. M. **Novas vilas para o Brasil-Colônia. Planejamento Espacial e Social no Século XVIII**. Ed. ALVA-CIORD. Tradução e revisão, Fernando de Vasconcelos Pinto. 1997.

D'ERCOLE, R. **Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés: concepts, typologie, modes d'analyse**. Revue de Géographie Alpine. Paris, v. 82, n. 4, pp. 87-96. 1994.

DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Curitiba**. Tese de doutorado. Paraná, Universidade Federal do Paraná. 2004.

DIETZ, M. E. **Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions**. Water Air Soil Pollut 186:351–363.2007.

DILLEY *et al.* **Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis**. Washington: World Bank Publications, 2005.

DOS SANTOS, J. A. L. **Cuiabá e a copa – a preparação**. Entrelinhas: Cuiabá-MT, 2013.

DROR, Yehezkel. **The planning process: a facet design**. In: FALUDI, Andreas (org.) A reader in planning theory. Oxford: Pergamon Press, 1973. p. 323 – 343. (Artigo publicado originalmente em 1963).

EIDSVIG, U. M. K. *et al.* **Assessment of socioeconomic vulnerability to landslides using an indicator-based approach: methodology and case studies**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Springer. 2014.

EIRD (Estratégia Internacional para a Redução de Desastres). **Vivir com el Riesgo Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres**. Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas (EIRD/ONU). Suiça, 2004.

ELLIOT, A. H. & TROWSDALE, S. A. **A review of models for low impact urban storm water drainage**. Environmental Modelling and Software, 22 (3), 394-405, 2007.

FARIA, N. O. **Estudo da impermeabilização, monitoramento, modelagem e simulação de cenários para a bacia do Barbado – Cuiabá/MT**. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2013.

**FAZANO, C. B. Proposta de zoneamento ambiental estudo de caso – bairro Cidade Aracy.** Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

**FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Orientações Básicas para Drenagem Urbana.** Luiza Helena Pinto, Sérgio Avelino Pinheiro, Belo Horizonte, 2006.

FLOOD site. **Flood risk assessment and flood risk management. An introduction and guidance based on experiences and findings of FLOOD site (an EU-funded Integrated Project).** Deltares | Delft Hydraulics, Delft, ISBN 978 90 814067 1 0, 140 pp. e-publication on [www.floodsite.net](http://www.floodsite.net), 2009.

FLOOD site. **Language of risk. Project definitions.** 2nd ed. Report T32-04-01, e-publication on [www.floodsite.net](http://www.floodsite.net), 2009.

**FOSTER, K. A. A Case Study Approach to Understanding Regional Resilience.** Annual Conference of the Association of Collegiate Schools of Planning (pp. 1–45), Institute of Urban and Regional Development, Fort Worth, Texas, 2006.

**FRANÇA, E. Favelas em São Paulo (1980-2008). Das propostas de desfavelamento aos projetos de urbanização. A experiência do Programa Guarapiranga.** Tese – Escola de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009.

**FREIRE, J. L. Por Uma Poética Popular da Arquitetura.** Cuiabá: EDUFMT, 1997.

**FREIRE, N. C.. Palestra: Vulnerabilidade x Resiliência em Cidades Brasileiras,** no IV Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública, Belo Horizonte, 2013.

**GARCIA, S. M. N. P. Os Planos Diretores e o Planejamento Urbano no aglomerado Cuiabá/Várzea Grande – MT.** Dissertação (Mestrado) em Arquitetura e Urbanismo, FAU/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2010.

**GARRIDO NETO, P. S. Telhados verdes como técnica compensatória em drenagem urbana na cidade do Rio de Janeiro: estudo experimental e avaliação de sua adoção na bacia do rio Joana a partir do uso de modelagem matemática.** Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2016.

**GIEHL, G. O zoneamento ambiental.** In: Âmbito jurídico. Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2007.

**GIUNTOLI, I. Sistema Web-GIS participativo associado a indicadores de gestão descentralizada de risco de inundações.** Dissertação (Mestrado) em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/EESC-USP. São Carlos, 2008.

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

**GROSTEIN, M. D. Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos “insustentáveis”.** São Paulo em Perspectiva, 15(1). 2001.

GUIMARÃES, L. F. **Metodologia para avaliação da capacidade de recuperação em função de prejuízos de sucessivos eventos de inundação.** Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2016.

HOLLING, C. S. **Resilience and stability of ecological systems.** Annual Review of Ecology and Systematics. Vol. 4: 1-23. Canada, 1973.

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss de língua portuguesa.** 3<sup>a</sup> Edição, Rio de Janeiro, Objetiva, 2009.

IBGE. **Contagem da população.** Brasil, 2007.

IBGE. **Censo Demográfico.** Brasil, 2010.

IBGE. **Pesquisa de informações básicas municipais: Perfil dos municípios brasileiros 2013.** Rio de Janeiro, 2014.

IBGE. **Estimativa populacional.** Brasil, 2015.

INEA. **Boletim Águas & Território - nº10 | janeiro de 2015.** Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdc2/~edisp/inea0076593.pdf> Acesso: 14/09/2015

IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** 2012.

IPDU. **Mapeamento da cheia do rio Cuiabá em fevereiro de 1995.** Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. 1995.

IPDU. Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento Urbano – IPDU. **Caderno do IPDU. Diretoria de projetos especiais / Diretoria de Plano Diretor.** Cuiabá, MT, 1996.

IPDU. **Perfil socioeconômico de Cuiabá.** Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Central de Texto, Cuiabá, Mato Grosso, 2007.

IPDU. **Mapeamento das áreas de risco da cidade de Cuiabá.** Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. 2007.

IPUF (Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis). **Plano Diretor de Florianópolis.** Florianópolis, 1997.

ISDR – INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters.** 2007.

JACOB, A. C. P. **Requalificação fluvial como instrumento de minimização do risco de inundações na bacia do rio Sesmaria.** Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2013.

KAZTMAN, R. *et al.* **Vulnerabilidad, activos y exclusión social en Argentina y Uruguay.** Santiago de Chile: OIT. 1999.

KAZTMAN, R. **Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social.** México: BID-BIRF-Cepal. Borrador para discusión. 5 Taller regional, la medición de la pobreza, métodos y aplicaciones. 2000.

KOKS, E. E. *et al.* **Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management.** Environmental, Science & Policy, Elsevier, 2014.

KRÜGER, C. M. *et al.* **Mapeamento automático de áreas inundáveis através de geoprocessamento - aplicação à cidade de União da Vitória.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte, 1999.

LID. **Low Impact Development Design Guidance Manual.** 2008.

LID CENTER. Disponível em: <http://www.lowimpactdevelopment.org/> Acesso: 15/09/2015

LOCH R. E. N. **Cartografia – representação, comunicação e visualização de dados espaciais.** Editora UFSC. Florianópolis, 2006.

LOURENÇO, I. B. **Rios urbanos e paisagens multifuncionais: o projeto paisagístico como instrumento de requalificação urbana e ambiental.** Dissertação (Mestrado) em Arquitetura Paisagística, Universidade Federal do Rio de Janeiro/FAU, Rio de Janeiro, 2013.

MAGALHÃES, L. P. C., *et al.* **Sistema HIDRO-FLU para apoio a Projetos de Drenagem.** XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH, João Pessoa, 2005.

MARICATO, E. **Metrópole na periferia do capitalismo: ilegalidade, desigualdade e violência.** São Paulo, Hucitec. 1995.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?.** Artigo científico, São Paulo, 2012.

MATTOS, L. P. (org.). **Estatuto da Cidade comentado.** Belo Horizonte: Mandamentos, 2002.

MELLO, S. S. **Na beira do rio tem uma cidade: urbanidade e valorização dos corpos d'água.** Tese (Doutorado) em Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MENDIONDO, E. M. **Reducing vulnerability to water-related disasters in urban areas of the humid tropics;** in Integrated Urban Water Management: Humid Tropics. UNESCO, v.6. Paris, 2010.

MEDIONDO, E. M.; CUNHA, A. R. **Experimento Hidrológico Para Aproveitamento de Águas de Chuva Usando Coberturas Verdes Leves.** USP/SHS – Processo FAPESP 03/06580-7. São Carlos, 2004.

MENEZES FILHO, F. C. M. & AMARAL, D. B. **Histórico da expansão urbana e ocorrência de inundações na cidade de Cuiabá-MT.** Soc. & Nat., Uberlândia, 26 (1): 159-170, jan/abr/2014.

MIGUEZ, M. G. **Modelação matemática de grandes planícies de inundaçāo, através de um esquema de células de escoamento com aplicāo ao Pantanal Matogrossense.** Dissertāo (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 1994.

MIGUEZ, M. G. **Modelo matemático de células de escoamento para bacias urbanas.** Tese (Doutorado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2001.

MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHĀES, L. P. C. **Multifunctional landscapes for urban flood control in developing countries.** In: Second International Conference on Sustainable Planning & Development, 2005, Bologna/Italy. Proceedings of the Sustainable Planning 2005. Southampton and Boston: WItpress – Wessex Institute of Technology, 2005.

MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHĀES, L. P. C. **Multifunctional Landscapes for Urban Flood Control in Developing Countries,** The International Journal of Sustainable Development and Planning, Vol. 2, Issue 2, Southampton, UK, 2007.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; CARNEIRO, P. R. F. **Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and River Revitalization Aspects, Drainage Systems,** Prof. Muhammad Salik Javaid (Ed.), ISBN: 978-953-51-0243-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/drainage-systems/sustainable-drainage-systems-an-integrated-approach-combining-hydraulic-engineering-design-urban-land-control-and-river-revitalization-aspects-drainage-systems>

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. & REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana – do projeto tradicional à sustentabilidade.** 1 ed. Elsevier. Rio de Janeiro, 2016.

MIGUEZ, M. G. & MAGALHĀES, P. C. **Plano Metropolitano do Rio de Janeiro – Saneamento e Resiliēncia Ambiental.** Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MILARÉ, E. et al. **Zoneamento ambiental: um instrumento a serviço da Amazônia.** 2006. Disponível em: <http://www.milare.adv.br/artigos/zoneamb.htm>

MINAS GERAIS, SEMAD/SEAPA. **Metodologia do Zoneamento Ambiental Produtivo – ZAP de sub-bacias hidrográfica.** 2<sup>a</sup> Edição. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Diretor Participativo: guia para elaboração pelos municípios e cidadãos.** 3a edição. Brasília: Ministério das Cidades e CONFEA/CREA, 2005.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Diretor participativo: Guia para elaboração pelos municípios e cidadãos,** 2004.

**MINISTÉRIO DAS CIDADES. Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco.** Florianópolis: CEPED/Ministério das Cidades, 2006.

**MINISTÉRIO DAS CIDADES. O estatuto das cidades comentado.** Celso Santos Carvalho, Ana Claudia Rossbach (orgs). Aliança das Cidades, São Paulo, 2010.

**MINISTÉRIO DAS CIDADES. Um breve histórico do planejamento urbano no Brasil.** In: Curso: Reabilitação Urbana com foco em Áreas Centrais. Programa Nacional de Capacitação das Cidades. 2013.

**MOSER, C. The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies.** World Development, New York, v.26. 1998.

**MORGAN, C. Water Sensitive Urban Design in the UK- Ideas for built environment practitioners.** CIRIA. London, 2013.

**NAKAZONE, L. M. Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

**NASCIMENTO, N. O. et al. Problemas de Inserção Ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano.** In: Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999.

**NASH, W. A. Resistência dos materiais** (G. E. O. Giacageia, Trad., 2a ed.). São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. (1982).

**NERY JR. J. Um século de política para poucos: o zoneamento paulistano 1886-1986.** Tese (Doutorado) em Urbanismo FAU/USP, 2002.

**OLIVEIRA, E. B. S. Algumas considerações sobre o zoneamento urbano: o exemplo do município de Gandu-BA.** In Caminhos de Geografia - revista online <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/> ISSN 1678-6343 2012

**ONU. United Nations Conference on Environment & Development,** Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992. Brazil, 1992.

**ONU – HABITAT. 24ª Sessão do Conselho de Governança do Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos.** Quênia, 2013.

**O'RIORDAN, T. Precautionary Principle, Encyclopedia of Global Environmental Change, vol. 4.** Chichester, UK: John Wiley. (2002).

**PARANÁ, Prefeitura de Telêmaco Borba. Curso Básico: Plano Diretor e Estatuto das Cidades.** Telêmaco Borba, 2005.

**PEITER, T. V. & POLETO, C. Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial.** REA – Revista de estudos ambientais (Online) v. 14, n. 2esp, 2012.

PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). **Manejo de águas pluviais urbanas.** Coordenador Antônio Marozzi Rigueto. ABES, Rio de Janeiro, 2009.

PSAT, Puget Sound Action Team and WSU, Washington State University Pierce County Extension. **Low Impact Development: Technical Guidance Manual for Puget Sound.** 2005.

PNDU. **Relatório do Desenvolvimento Humano - Sustentando o Progresso Humano: Redução da Vulnerabilidade e Construção da Resiliência.** 2014.

RIBEIRO, L. B. F. **Avaliação do processo hidráulico de ocorrência de enxurradas e proposição de um mapeamento de áreas de risco para apoio ao planejamento do uso do solo.** Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2015.

REYNOSO, A. E. G. *et al.* **Rescate de ríos urbanos: propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos.** México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à baixada fluminense.** Dissertação (Mestrado) em Ciências da Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra De Pós-Graduação E Pesquisa De Engenharia (COPPE) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

RIBEIRO, L. C. Q.; CARDOSO, A. L. **Planejamento urbano no Brasil: paradigmas e experiências.** Espaço & Debates: cidade brasileira, século XX. *Revista de Estudos Regionais e Urbanos*, ano XIV, nº 37, 1994.

RIO DE JANEIRO. **Projeto de Lei Complementar Nº 33/2013** Define as condições disciplinadoras de uso e ocupação para ordenamento territorial da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. **Desastres naturais no Rio Grande do Sul.** Editora UFSM. Santa Maria, 2013.

ROLNIK, R.A **construção de uma política fundiária e de planejamento urbano para o país: avanços e desafios.** Ensaio. *Políticas sociais – acompanhamento e análise.* v. 12. IPEA, 2006.

ROTERBATH, A. V. P. *et al.* **Avaliação dos impactos socioambientais decorrentes do descarte de resíduos sólidos às margens do córrego Barbado, Cuiabá – MT.** 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2013.

SAITO, S. M. **Dimensão socioambiental na gestão de riscos dos assentamentos precários do maciço do morro da Cruz, Florianópolis – SC.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC. 2011.

SÃO PAULO. **Projeto “pesquisa e análise de aplicação de instrumentos em planejamento urbano ambiental no município de São Paulo” – Relatório I – Caracterização de áreas de estudo para a implantação de Parques Lineares,** Prefeitura Municipal de São Paulo. São Paulo, 2006.

SÃO PAULO – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana.** São Paulo: SMDU, 2012.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.050/2014** Aprova a Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo. São Paulo, 2014.

SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Piscinões cumprem papel das várzeas ocupadas desordenadamente.** Disponível em <[http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=60:piscinões-home&catid=38:piscinoes](http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60:piscinões-home&catid=38:piscinoes)>. Acesso em: 29/08/2015.

SAYERS, P. *et al.* **Flood Risk Management: A Strategic Approach.** Paris, UNESCO, 2013.

SBPC/ABC (Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência & Academia Brasileira de Ciência). **O código florestal e a ciência: contribuições para o diálogo.** SBPC, São Paulo, 2012.

SECOPA, Secretaria Extraordinária da Copa do Mundo da FIFA, 2014. **Projeto executiva de implantação e duplicação da Avenida Parque do Barbado.** Governo do estado de Mato Grosso, 2012.

SEPE, P. M. *et al.* **O novo Código Florestal e sua aplicação em áreas urbanas: uma tentativa de superação de conflitos,** In 3º Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo. Belém, 2014.

SEPLAN/MT. **Zoneamento Sócio-econômico-ecológico de Mato Grosso. Climatogia – Dados climatológicos.** 2009.

SILVA, J. A. **Direito Ambiental constitucional,** 4ª Ed. Malheiros. São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, J. A. **Direito Urbanístico Brasileiro.** Ed. Malheiros. São Paulo, São Paulo, 2006.

SILVEIRA, A. L. L. “**Hidrologia Urbana no Brasil**”, In: **Drenagem Urbana, Gerenciamento, Simulação, Controle.** Porto Alegre: ABRH Publicações nº 3, Editora da Universidade, 1998.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica.** In: TUCCI, C.E.M.. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, Cap. 2, 2004.

SOUZA, M. M. **Comparação entre ferramentas de modelagem unidimensional e quasi-bidimensional, permanente e não-permanente, em planejamento e projetos de engenharia hidráulica.** Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial.** Tese (Doutorado) em Engenharia de Recursos

Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2002.

SOUZA, C. F. et. al. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 17 n.2, 2012.

STEINBERGER, M. & FERREIRA, I. C. B. **Reflexões sobre uma política de desenvolvimento urbano para o Brasil.** In: IX Colóquio Internacional sobre Poder Local, Gestão social e Gestão do desenvolvimento. Salvador, 2003.

TAKEDA, T. **Uso e ocupação do solo urbano.** 2013. Texto publicado em: [http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id\\_dh=12363](http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=12363) Acesso: 17/09/2015

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

TEIXEIRA, T. M. **Chuva alaga obras da Copa, inunda shopping e policlínica do Planalto.** Repórter MT. Cuiabá, 28 out. 2013. Disponível em: <<http://www.reporterm.com.br/cidades/chuva-alaga-obras-da-copa-inunda-shopping-e-policlinica-do-planalto/29986>>. Acesso em: 04 set. 2014.

TOPALOV, C. **Os saberes sobre a cidade: tempos de crise?** Tradução de Maria Cristina da Silva Leme. Revisão de Jorge Oseki. Revista Espaços & Debates, nº 34, 1991.

TORONTO AND REGION CONSERVATION. **Water Budget Discussion Paper,** Gartner Lee Ltd, Toronto, 2006. Disponível em: <<http://www.sustainabletechnologies.ca>>. Acesso em: 02/09/15

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana,** RBRH vol. 7 p.5-27, Jan/Mar 2002.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana.** Cienc. Cult. vol.55 no. 4 São Paulo Out./Dez. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das Águas Pluviais Urbanas: Saneamento para todos.** Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, Brasília, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Curso de Gestão de Águas Pluviais – Plano Diretor de Drenagem Urbana.** Rhama Consultoria Ambiental, 2013.

UM. **Assessment of Storm water Best Management Practices.** Water Resources Center, University of Minnesota, 2008.

UN. **World Conference on Disaster Reduction.** Kobe: UNGA; 2005.

UN/ISDR – ESTRATÉGIA INTERNACIONAL PARA REDUCCIÓN DE DESASTRES DE LAS NACIONES UNIDAS. Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Ginebra, Suiza: UM/ISDR, 2009.

UNISDR. Como construir cidades mais resilientes – Um guia para gestores públicos locais. Nações Unidas, Genebra. 2012.

UNDP. Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO. Projeto Executivo de Drenagem da Bacia do córrego Barbado. Termo de Convênio 035/2015, firmado entre a Secretaria de Estado das Cidades de Mato Grosso - SECID e a Fundação Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, nº do projeto: 3 04 031. Cuiabá, Mato Grosso, 2017.

UNESCO. Water for a Sustainable World – Development Report. 2015.

US EPA - United States Environmental Protection Agency. A Low Impact Development – A literature Review. Washington, 2000.

VENTURA, R. M. G. Caracterização ambiental e hidrológica da bacia do córrego Barbado em Cuiabá – MT. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

VEYRET, Y. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Ed. Contexto, 320 pg. São Paulo, 2007.

VILLAÇA, F. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (org.) O processo de urbanização no Brasil. São Paulo: Ed USP, 1999. p. 169–243.

VINCENT, K. Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa. Tyndall Centre for Climate Change Research and School of Environmental Sciences University of East Anglia, 2004.

WORLD BANK. Building Urban Resilience – Principle, Tools and Practice. Washington, DC, 2013.

WORLD BANK. Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. Washington, DC, 2012.

WU, S. Y. et al. Vulnerability of coastal communities to sea level rise: a case study of Cape May county, New Jersey, USA. Clim. Res. 2002.

ZONENSEIN, J. Índice de Risco de Cheia como ferramenta de gestão de enchentes. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro, 2007.

ZORZO, A. P. Estudo sobre os condicionantes de alagamentos na Avenida Fernando Corrêa da Costa, Cuiabá/MT. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

[www.ciria.org](http://www.ciria.org)

[www.eird.org](http://www.eird.org)

**Campanha: Construindo Cidades Resilientes: Minha Cidade está se Preparando**  
Disponível em: [www.integracao.gov.br/cidadesresilientes](http://www.integracao.gov.br/cidadesresilientes)

**Vala de Infiltração.** Disponível em:<http://www.ecofossa.com.br/>

**Poço de infiltração.** Disponível em: <http://www.aquafluxus.com.br/>

**Telhado Verde.** Disponível em: <http://blogmundopossivel.com.br/?p=4097>

**Pavimento Permeável.** Disponível em:  
<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/artigo254488-2.aspx>

**Piscinão Jabaquara.** Disponível em: São Paulo (2013)

**Parque Linear.** Disponível em: <http://portalarquitetonico.com.br/uma-impressionante-renovacao-urbana-em-seul/>

**Reservatório enterrado.** Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/>

**Extravasamento córrego Barbado.** Disponível em:  
<http://olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?i>

**Alagamentos na região da Av. Fernando Correa.** Disponível em:  
<http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2013/12/corrego-transborda-em-cuiaba-e-prejudica-transito-em-obra-da-copa.html>

**Alagamentos na região da Av. Fernando Correa.** Disponível em:  
<http://www.reportermkt.com.br/geral/apos-av-fernando-correa-virar-lago-mendes-notifica-secopa-a-apresentar-projeto-escoamento-de-aguas/41684>

**Alagamentos na região da Av. Fernando Correa.** Disponível em:  
<http://www.olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?id=385116>

**Alagamentos na região da Av. Carmindo de Campos.** Disponível em:  
<http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2014/01/chuva-provoca-pontos-de-alagamento-em-ruas-e-avenidas-de-cuiaba.html>

**Elevação do nível do córrego Barbado na Av. Tancredo Neves.** Disponível em:  
<http://www.gazetadigital.com.br/conteudo/show/secao/9/materia/415287/t/corrego-transborda-e-invade-casa-e-cuiaba-telhado-de-garagem-cai>

**Extravasamento do córrego Barbado nos bairros Praeiro e Grande Terceiro (fev/2014)** Disponível em: <http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2014/02/corrego-transborda-e-cobre-asfalto-e-passarela-de-avenida-em-cuiaba.html>

**Extravasamento do córrego Barbado nos bairros Praeiro e Grande Terceiro (fev/2010).** Disponível em: <http://olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?id=84004>