



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

CLÁUDIO SANTOS DA SILVA

**INUNDAÇÕES EM PELOTAS/RS:
O USO DE GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO
PAISAGÍSTICO E AMBIENTAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FLORIANÓPOLIS – 2007

CLÁUDIO SANTOS DA SILVA

**INUNDAÇÕES EM PELOTAS/RS:
O USO DE GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO
PAISAGÍSTICO E AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
da Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Prof^a Dr^a Sonia Afonso

Florianópolis – 2007

CLÁUDIO SANTOS DA SILVA

**INUNDAÇÕES EM PELOTAS/RS:
O USO DE GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO
PAISAGÍSTICO E AMBIENTAL**

Esta dissertação foi julgada aprovada para a obtenção do Título de **Mestre em Arquitetura e Urbanismo**, área de concentração **Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído**, linha de pesquisa **Desenho Urbano e Paisagem**, no **Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo** da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 16 de novembro de 2007.

Profª Drª Alina Gonçalves Santiago
Coordenadora do Programa

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Sonia Afonso
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientadora

Prof Dr Masato Kobiyama
Universidade Federal de Santa Catarina
(membro externo)

Profª Drª Alina Gonçalves Santiago
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof Dr Carlos Loch
Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	14
1.1 O PROBLEMA.....	14
1.2 O TEMA ESCOLHIDO.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA PROPOSTA.....	17
1.4 OS PRESSUPOSTOS.....	18
1.5 AS	
PERGUNTAS	19
1.6 A HIPÓTESE.....	19
1.7 OS OBJETIVOS.....	19
1.7.1 Geral.....	19
1.7.2 Específicos.....	20
1.8 A ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 HIDROLOGIA.....	23
2.1.1 Ciclo hidrológico.....	23
2.1.2 Bacia hidrográfica.....	25
2.2 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO.....	26
2.2.1 Ocupação das margens como tendência histórica.....	26
2.2.2 Síntese do processo de urbanização no mundo.....	27
2.2.3 Síntese do processo de urbanização no Brasil.....	28
2.2.4 Importância dos sistemas hídricos em áreas urbanas.....	30
2.3 OCORRÊNCIA DAS INUNDAÇÕES URBANAS.....	31
2.3.1 Evolução da hidrologia urbana no Brasil.....	33
2.3.2 Drenagem urbana no Brasil.....	34
2.3.3 Quantificação dos impactos da urbanização no ciclo hidrológico.....	38
2.3.4 Intervenções na macrodrenagem urbana que geram impactos.....	39
2.4 PROBLEMAS AMBIENTAIS DECORRENTES DO DESENVOLVIMENTO URBANO.....	41
2.4.1 Desenvolvimento urbano e impactos gerados.....	48
2.5 GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS URBANAS.....	50
2.5.1 Necessidade de visão Integrada para as soluções adotadas.....	50
2.5.2 Legislação Urbana e Ambiental.....	51
2.5.3 Medidas de controle.....	53
2.5.3.1 Medidas estruturais.....	54
2.5.3.2 Medidas não-estruturais.....	59
2.5.4 Medidas de controle e escalas de intervenção.....	63
2.5.4.1 Medidas de controle na fonte ou distribuído.....	64
2.5.4.2 Medidas de controle no loteamento.....	71
2.5.4.3 Medidas de controle na macrodrenagem.....	76
2.5.5 Gestão do risco de inundações.....	79
2.5.6 Recomendações para adoção de medidas de controle das inundações.....	81
2.5.7 Quadro Referencial de Projetos.....	83

2.6 PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA.....	87
2.6.1 Elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana.....	87
2.6.2 Composição do Plano Diretor de Drenagem Urbana.....	88
2.6.3 Estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana.....	88
2.7 PLANEJAMENTO TERRITORIAL.....	89
2.7.1 Planejamento territorial e demanda de informação ambiental.....	89
2.7.2 Informação geoambiental e cartografia no planejamento territorial.....	90
2.7.3 Modelos hidrológicos.....	91
2.7.4 Uso de modelos hidrológicos no planejamento urbano.....	91
2.8 - GEOTECNOLOGIAS	92
2.8.1 Geoprocessamento.....	92
2.8.2 Sistema de Informações Geográficas – SIG.....	93
2.8.3 Modelagem Digital de Terreno – MDT.....	94
2.8.4 Aplicações do SIG.....	94
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	96
3.1 ETAPAS DO PROJETO DE PESQUISA CIENTÍFICA.....	96
3.2 FUNDAMENTAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE.....	97
3.2.1 Método para confecção dos mapas temáticos que apoiaram as análises.....	102
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE PELOTAS/RS.....	104
4.1 LOCALIZAÇÃO DA SEDE MUNICIPAL.....	105
4.2 SÍNTESE HISTÓRICA DA FORMAÇÃO DA CIDADE.....	106
4.2.1 O surgimento da Freguesia.....	106
4.2.2 O sítio urbano.....	108
4.2.3 De Freguesia à Cidade.....	110
4.2.4 Expansão urbana e rural.....	113
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DO MUNICÍPIO.....	115
4.3.1 Biodiversidade.....	116
4.3.2 Geologia.....	118
4.3.3 Solos.....	119
4.3.4 Condições climáticas.....	120
4.3.5 Hidrografia do Município.....	122
4.3.6 Bacias hidrográficas urbanas.....	124
4.3.7 O Canal São Gonçalo.....	126
4.3.8 Sistema de drenagem e proteção contra enchentes de Pelotas.....	128
4.4 - ETAPA DE ANÁLISE.....	130
4.4.1 Características do ambiente natural.....	130
4.4.2 Características das ocupações.....	140
4.4.3 Realização das análises.....	144
4.4.4 Mapas temáticos: análise de conflitos.....	146
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	176
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	188
ANEXOS.....	193

AGRADECIMENTOS

A todos meus familiares, amigos e colegas que, estando próximos ou mesmo à distância, sempre apoiaram o desenvolvimento deste trabalho, com incessante estímulo desde o primeiro instante da elaboração até o momento da conclusão.

A professora Sonia Afonso, orientadora deste trabalho, pela oportunidade, apoio e motivação e a Joseline Caramelo pelo auxílio na redação do *Abstract*.

Aos professores Alina Santiago, Carlos Loch e Masato Kobiyama pelas valiosas contribuições para o aprimoramento desta dissertação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ/CTC/UFSC, pela possibilidade de aperfeiçoamento profissional e crescimento pessoal.

Aos professores Maurício Couto Polidori e Ana Paula Neto de Faria, pela confiança e incentivo na etapa inicial desta pesquisa.

Ao arquiteto Sinval Xavier, da Prefeitura Municipal de Pelotas, pela atenção despendida e por disponibilizar informações importantes sobre o município.

Ao arquiteto 'Miguellito' Correia de Moraes, por compartilhar momentos de descontração e humor, tão necessários à persistência diante da sobrecarga nos estudos e à manutenção do equilíbrio emocional, e pelo apoio fundamental com os equipamentos de informática para geração dos arquivos e impressão final.

Aos demais professores da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Universidade Federal de Pelotas - UFPel e Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS que, direta ou indiretamente, colaboraram para aquisição dos conhecimentos necessários para confecção deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudos concedida para realização do Curso de Mestrado.

A Michele Maffioletti Bissacot pelo exemplo admirável de força, dedicação e carinho.

RESUMO

A urbanização de um determinado território, por consequência do modelo de desenvolvimento urbano implantado, pode trazer consigo efeitos indesejáveis, considerados extremamente prejudiciais à população, quando associados às alterações sofridas pelo ciclo hidrológico. Neste sentido, pode-se verificar que a intensidade dos riscos de inundações está diretamente relacionada à maneira como é ocupado o território: maior o risco de ocorrência quanto maiores forem as modificações das características naturais da bacia hidrográfica, onde alterações da geometria e da permeabilidade do solo são parâmetros essenciais que devem ser observados. Neste trabalho são apresentadas as relações entre a urbanização e a ocorrência de inundações, visando destacar aspectos que contribuam para a adoção de medidas que possam minimizar os graves impactos da ação das águas nas cidades, decorrentes do processo de ocupação do território. A realização de obras de drenagem dissociadas das características naturais do meio físico causam as inundações que trazem prejuízos materiais e humanos para população. Identificamos, através de estudo de caso realizado em Pelotas, RS os aspectos que aumentam a suscetibilidade a inundações. Como exemplo de destinação de usos inadequados para estas áreas de risco citamos a estação rodoviária, o hospital universitário e o aterro sanitário municipal, implantados onde já houve ocorrência de inundações. Considerando a catástrofe como um prejuízo de alto custo, concluímos que são necessários investimentos bem maiores nas soluções corretivas dos danos do que na adoção de medidas preventivas de controle das inundações. Portanto, a abordagem adotada permitiu destacar algumas soluções relacionadas à drenagem, a serem consideradas na construção das cidades como alternativas para minimizar os riscos. Como contribuição ao tema, identificamos estratégias para uso e ocupação do solo a serem incorporadas na elaboração de planos diretores e indicamos o uso do geoprocessamento como ferramenta de agilização do mapeamento da situação existente, na identificação de conflitos e na adoção de medidas preventivas que consideram os aspectos paisagísticos e ambientais na solução do problema das inundações, não somente em Pelotas como em outros municípios.

Palavras-chave: planejamento urbano, inundações, geoprocessamento, Pelotas/RS.

ABSTRACT

The urbanization of one determined territory, in consequence of the model of the urban development implanted, can bring undesirable effects, considered extremely harmful to the population, when associated to the alterations suffered by the hydrologic cycle. In this direction, it can be verified that the intensity of flooding risks is directly related to the way a territory is occupied: the greater the risks, the bigger will be the modifications of natural characteristics of the hydrographic basins, where alterations of the geometry and the permeability of the ground are essential parameters that must be observed. In this work, the relations between urbanization and floodings are presented, pointing out aspects that contribute for the adoption of measures that can minimize the serious impacts of water actions in the cities, due to the process of occupation of the territory. The accomplishment of the drainage workmanships, disregarding the environment's natural characteristics, cause floodings that bring material and human damages to the population. In a case study in Pelotas, RS, we identified aspects that increase the floodings susceptibility. As an example of inadequate use of risk areas, we cite the bus station, the university hospital and municipal sanitary landfills, constructed where previous floodings had occurred. Considering the disaster as high cost damage, we conclude that it is necessary to make bigger investments in corrective solutions of the damages than to adopt preventive writs to control the floodings. Therefore, the adopted approach allowed to point out some solutions related to drainage to be considered in the construction of the cities as an alternative to minimize risks. In contribution to the project, we have identified strategies on the use and occupation of territories to be incorporated in the elaboration of master plans and indicate the use of geoprocessing as a tool to accelerate the mapping of the existing situation, in the identification of conflicts and the adoption preventive writs that consider the landscape architecture and environmental aspects in the solution of the flooding problems, not only in Pelotas but in other cities as well.

Keywords: urban planning, flooding areas, geoprocessing, Pelotas/RS.



O rio quando corre, se enriquece,
Ao longo de sua trajetória
Descobrem-se paisagens.
Absorvem-se memórias.

No olhar das águas as estórias
Não têm seqüência, pois o rio
É movimento perpétuo.

Círculo eterno e infinito.
Mas não livre da violência.

Usurparam-lhe as terras do leito,
Quantidades de seu corpo,
A sua pureza cristalina.

Mas continua seu curso.
Moldando-se às novas geografias
Traçadas pelo Tempo e pelo Homem.

Flexibiliza sua caminhada
De acordo com as condições presentes.
Não esquece o início e o fim da jornada
Ainda que o durante mude brutalmente.

E, eis que repentinamente
A serenidade transforma-se em rugidos
As águas então arrebatam,
Destroem, deixam feridos.

Seu espaço e lugar são intangíveis
Movimento e força
Aparentemente frágeis.

São os fios doces ou amargos da vida na
Terra.
É pela água que se religam.

Saïde Kahtouni - Cidade das Águas

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Em muitas cidades brasileiras é possível perceber que as diretrizes urbanísticas previstas nos planos diretores não apresentam indicações sobre a necessidade das obras de drenagem, desconsiderando as características do meio físico. A drenagem pluvial apresenta várias interfaces gerenciais com planejamento urbano, abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, transporte e meio ambiente. Os planos têm sido realizados setorialmente, quando o ideal seria que as interfaces entre os mesmos fossem bem definidas e que estes fossem desenvolvidos de maneira integrada.

A ausência de uma visão sistêmica nos planos de gestão do espaço urbano, quando os condicionantes físicos que influem no território são desconsiderados, propicia a construção de planos insustentáveis em sua essência. Dessa maneira, a ocupação e o tipo de uso do solo urbano, ainda que ocorram nos padrões previstos pelos planos, podem impactar negativamente os sistemas de escoamento, naturais ou construídos, causando enormes prejuízos de ordem econômica e social, bem como danos ao ambiente natural, muitas vezes irreversíveis.

Quando a adaptação ao regime das águas não é adequado, as conseqüências por vezes atingem grandes proporções. Nesse sentido, pode-se considerar a variável hídrica como forte condicionante da organização territorial da paisagem urbana e da qualidade de vida dos moradores, devendo urgentemente ser incorporada e valorizada no processo de planejamento das cidades.

1.1 O PROBLEMA

O ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o ser humano entra neste sistema e se concentra no espaço, produz grandes mudanças, que alteram dramaticamente este ciclo e trazem consigo impactos significativos, sobre população e natureza. Este processo necessita de diferentes ações preventivas de planejamento urbano e ambiental, visando minimizar os conflitos existentes.

Podemos considerar que grande parte dos impactos são gerados por um ou mais dos aspectos a seguir:

a) falta de conhecimento sobre o assunto, onde a população e os profissionais de diferentes áreas não possuem informações adequadas sobre os problemas e suas causas

e, geralmente, decidem-se pelas soluções de alto custo, como o uso da canalização da drenagem, que é uma prática generalizada que tende a aumentar o problema que se pretende resolver;

b) concepção inadequada do planejamento e controle dos sistemas, por parte dos gestores envolvidos, pois uma parcela importante dos profissionais que atuam no meio urbano estão desatualizados quanto à visão ambiental e geralmente usam soluções que buscam a alteração do ambiente com excesso de áreas impermeáveis, que resultam em aumento de temperatura, inundações, poluição, entre outros;

ç) visão setorializada do planejamento urbano, onde o planejamento e o desenvolvimento das áreas urbanas é realizado sem incorporar os aspectos relacionados aos diferentes componentes da infra-estrutura de água, que não se resume somente a abastecimento e saneamento;

Assim, a maioria destes problemas é consequência de uma visão distorcida que ainda prioriza as medidas estruturais, que pressupõem a realização de obras de engenharia que os países ricos e desenvolvidos já abandonaram, devido à falta de viabilidade econômica. O paradoxo é que países em desenvolvimento e mais pobres, priorizam ações insustentáveis, em termos econômicos, paisagísticos e ambientais.

A drenagem urbana representa a principal interface entre solos, esgoto, resíduos sólidos e poluição atmosférica e, portanto, deve ser considerada em ações de planejamento e desenvolvimento urbano. Neste sentido, torna-se imprescindível a sistematização dos dados relativos ao território das bacias hidrográficas e a adoção de estratégias de planejamento para a definição de usos e medidas de controle adequados à drenagem urbana, evitando assim a ampliação dos eventos de inundação nas cidades.

1.2 O TEMA ESCOLHIDO

A partir da problemática citada, o tema escolhido foi estruturado pelas seguintes definições:

- a) Temas: Urbanização, Inundações e Geoprocessamento;
- b) Abordagem: Os conflitos entre uso do solo e meio físico que provocam inundações;
- c) Objeto/fenômeno real a ser trabalhado: Estudo de caso em Pelotas/RS, com identificação dos conflitos, através de aplicações em ambiente SIG - Sistema de Informações Geográficas.

O que motivou a escolha deste tema foi a experiência de 3 anos, do ano 2000 até 2003, como arquiteto e urbanista na Secretaria Municipal de Planejamento Urbano de Pelotas, no setor responsável pela elaboração do novo Plano Diretor para o Município. Durante este período ficou nítida a necessidade de subsídios para fundamentar a tomada de decisões em relação ao planejamento territorial, onde inexistiam informações sistematizadas sobre as características e condicionantes do território urbano.

Ao final deste período, a oportunidade de realizar o Curso de Especialização em Gestão Regional de Recursos Hídricos, promovido pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel, em convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, proporcionou o acesso a alguns conhecimentos sobre drenagem urbana e técnicas de geoprocessamento, que permitiram algumas reflexões e reforçaram ainda mais a necessidade da sistematização de dados sobre zoneamento das inundações em Pelotas. Como produto foi elaborada a monografia **Mapeamento das áreas inundáveis na zona urbana de Pelotas: um instrumento orientador para planejamento do uso e ocupação do solo** (SILVA, 2004). No entanto, restaram ainda algumas lacunas para melhor compreensão das ocorrências de inundações, sobretudo no que se refere à abordagem paisagística e ambiental.

Daí a continuidade das investigações sobre as relações entre uso do solo e ocorrência de inundações dentro da linha de pesquisa Desenho Urbano e Paisagem do PósARQ / CTC / UFSC, visando aprofundar os conhecimentos sobre este tema, enfatizando a adoção de medidas não-estruturais, de custos mais baixos, nas práticas acadêmicas e profissionais de planejamento e projeto urbano, aprofundando o conhecimento sobre os assuntos relacionados à esta área de atuação.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA PROPOSTA

A justificativa da escolha do tema proposto fundamenta-se nas seguintes considerações:

a) As diretrizes dos planos diretores normalmente regulamentam uso e ocupação do solo de maneira dissociada da caracterização do meio físico;

b) A desorganização das informações cartográficas sobre o território da bacia hidrográfica dificulta a tomada de decisões apropriadas aos condicionantes que o meio físico impõe às ocupações;

c) As atividades de planejamento urbano pouco enfatizam a drenagem urbana no lançamento de diretrizes de uso e ocupação do solo;

d) A utilização do geoprocessamento permite realizar análises em ambiente SIG, facilitando a tomada de decisões através da simulação de alternativas de cenários de ocupação compatíveis com o ambiente natural. Estes recursos são pouco estudados e empregados, tanto no ensino quanto na prática profissional dos planejadores urbanos.

Além dos destaques acima mencionados, cabe ressaltar que este estudo vem ao encontro das intenções apresentadas por alguns órgãos financiadores de projetos de recursos hídricos no Brasil. A exemplo citamos o **Programa de Indução à Gestão da Água no Meio Urbano e Controle de Inundações**, que faz parte das estratégias da **Agência Nacional das Águas - ANA** que traz como objetivos fundamentais:

a) induzir municípios a adotarem uma visão integrada da drenagem urbana e do controle de inundações;

b) incentivar as boas práticas no gerenciamento do meio urbano, com a implantação de medidas não-estruturais, ou seja, medidas de planejamento e não simplesmente a construção de obras de engenharia tais como pontes, canais e barragens.

Isto mostra a importância que o problema identificado e o tema escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa possuem na pauta de conflitos verificados na realidade brasileira.

1.4 OS PRESSUPOSTOS

Os pressupostos que nortearam o desenvolvimento desta pesquisa são:

1) A ação do ser humano no planejamento e desenvolvimento da ocupação do espaço requer uma visão ampla das necessidades da população, dos recursos terrestres e aquáticos disponíveis e o conhecimento sobre o comportamento dos processos naturais na bacia hidrográfica, para racionalmente compatibilizar necessidades crescentes com recursos limitados (SILVEIRA, 1999);

2) A água é bem finito que, se mal manejado, pode provocar situações de calamidade ou ser contaminada a ponto de se extinguir; portanto, o tema hídrico apresenta-se como um importante definidor da configuração espacial das cidades a ser considerado nas atividades de planejamento urbano (SILVA, 2004);

3) O Estatuto das Cidades prevê a elaboração ou atualização dos Planos Diretores para cidades com mais de 20.000 habitantes, o que cria demanda para a elaboração de planos que compatibilizem uso do solo e o meio físico a fim de evitar o risco de inundações e outras calamidades (BRASIL, 2004)

4) Projetos de drenagem e obras de engenharia concebidas sem vínculo com o planejamento do uso do solo não são completamente eficazes em sua função. Intervenções desta natureza são causadoras de danos sociais, econômicos e ambientais bem maiores que na situação de serem articulados, desde a fase projetual, de maneira integrada aos usos urbanos; (TUCCI, 2001)

5) O planejamento de bacias hidrográficas necessita de cartografia atualizada para subsidiar as decisões sobre adequação da ocupação territorial às restrições que o meio físico apresenta e ferramentas computacionais constituem importante instrumento de apoio às atividades de planejamento territorial (SILVA, 2004);

6) A ausência ou dispersão de informações, que possam fundamentar as decisões tomadas no processo de gestão urbana, são principais responsáveis pela elaboração de planos inconsistentes e inadequados à dinâmica de crescimento das cidades (SILVA, 2004).

7) Todo o trabalho de planejamento inclui a leitura perceptiva da paisagem como indicadora, não só dos pontos de maior significado visual, como também dos aspectos críticos de transformação do relevo; das condições de degradação dos solos e da cobertura vegetal; das características da ocupação urbana; e na detecção de vocações paisagísticas, as quais se constituem no primeiro passo da criação de cenários de desenho ambiental (FRANCO, 1997).

Partindo dos pressupostos anteriormente mencionados, identificamos lacunas expressas nas perguntas de pesquisa que seguem. No entanto, para o reforço dos argumentos que adotamos, julgamos necessário um maior aprofundamento em alguns temas, como os que compõem na etapa de fundamentação teórica.

1.5 AS PERGUNTAS

Diante da problemática mencionada e dos pressupostos adotados para o estudo, foram enunciadas as seguintes perguntas:

a) Que tipo de incompatibilidade, entre uso do solo e meio físico, pode gerar inundações nas cidades?

b) Em que aspectos as diretrizes de planejamento e projeto podem minimizar os conflitos entre uso do solo e o meio físico?

c) Como o geoprocessamento pode auxiliar no planejamento territorial e no controle das inundações das cidades?

1.6 A HIPÓTESE

Acreditamos que é possível estabelecer diretrizes que possam minimizar as incompatibilidades entre uso do solo e o meio físico mitigando o risco de inundações ao considerar os aspectos paisagísticos e ambientais no trato dos condicionantes hídricos no planejamento das cidades.

1.7 OS OBJETIVOS

Apresentamos a seguir, os objetivos originados da hipótese anteriormente aventada.

1.7.1 Geral

Compreender as relações entre processos de urbanização e as inundações, visando identificar aspectos que venham a contribuir para minimizar o risco destas ocorrências nas cidades.

1.7.2 Específicos

a) caracterizar os componentes naturais do sistema de drenagem na bacia hidrográfica urbana, tais como: topografia, declividades, geomorfologia e geologia;

b) identificar as incompatibilidades entre uso do solo e meio físico que levam às inundações em áreas urbanas;

c) sugerir medidas de controle, para que os conflitos identificados entre uso do solo e meio físico possam ser minimizados.

1.8 A ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Os itens a seguir referem-se à estruturação dos conteúdos relacionados aos capítulos. Assim, a dissertação está estruturada da seguinte maneira:

a) O capítulo 1 retrata o tema escolhido, a justificativa da escolha, os pressupostos, perguntas e hipótese de pesquisa, bem como os objetivos geral e específicos;

b) A fundamentação teórica, tema do capítulo 2, consiste na definição de conceitos-chave da pesquisa, entre eles: hidrologia, urbanização, recursos hídricos e sistemas urbanos, gerenciamento das águas urbanas, medidas de controle, plano diretor de drenagem urbana, planejamento territorial e geotecnologias;

c) No capítulo 3 são descritos os procedimentos metodológicos adotados e as técnicas utilizadas. O método da pesquisa inicia com a revisão bibliográfica e levantamento dos dados, seguido pela etapa de tratamento dos dados, elaboração de cartografia com mapeamentos temáticos, identificação de conflitos na área do estudo de caso e apresentação das medidas de controle de impactos;

d) O capítulo 4 descreve a área de estudo quanto aos aspectos físico-geográficos com caracterização do clima, relevo, solos, vegetação e hidrografia; quanto aos aspectos sócio-econômicos com breve histórico do município, evolução urbana, estrutura fundiária e valor das terras no município; finalizando com a análise realizada;

e) O capítulo 5 apresenta as conclusões e as recomendações da pesquisa;

f) Por fim, as referências bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo estão estruturados os temas considerados relevantes para elaboração dos fundamentos teóricos e conceituais a respeito das inundações urbanas. São demonstradas as características do ciclo hidrológico, as variáveis envolvidas com o processo de urbanização nas cidades que geram inundações, os problemas urbanos ocasionados pelas ocorrências e as possibilidades de soluções através de medidas de controle e gestão das inundações. As relações entre os conteúdos deste capítulo estão demonstradas esquematicamente na Figura 1.



Figura 1: Estrutura esquemática do Capítulo 2 (Elaborado pelo autor)

Desde meados do século XX pudemos perceber um cenário em que bens essenciais à nossa vida, que somente damos a devida importância quando nos faltam, como a água e a luz, podem estar em risco de suprimento por um tempo bastante maior do que estamos

acostumados a suportar. Em nosso planeta, o total de água globalmente retirado de rios, aquíferos e outras fontes aumentou 9 vezes, enquanto que o uso por pessoa dobrou e a população cresceu 3 vezes. Em 1950, as reservas mundiais representavam 16,8 mil m³/pessoa, atualmente esta reserva reduziu-se para 7,3 mil m³/pessoa e estima-se que venha a reduzir para 4,8 mil m³/pessoa nos próximos 25 anos, como resultado do aumento da população, industrialização, agricultura e contaminação (UNESCO, 2003).

Comparando a quantidade de água existente com as necessidades humanas, pode-se, equivocadamente, concluir que existe água suficiente no planeta. Mas existem várias regiões vulneráveis, onde cerca de 460 milhões de pessoas (8% da população mundial) sofrem falta freqüente de água, especialmente devido à poluição dos mananciais. Caso nada seja realizado em termos de conservação e uso racional da água, é possível que 2/3 da população mundial sofra desde moderada à severa falta de água. Na maioria dos países da América do Sul, o grande consumidor é a agricultura. Um hectare de irrigação de arroz por inundação pode consumir o equivalente ao consumo de 800 pessoas. Na Tabela 1, são apresentados alguns números típicos relacionados à importância da água.

Tabela 1 Números característicos relacionados com a água (adaptado de International Development Initiative of McGill University, 2005)

- ◆ Uma pessoa sobrevive cerca de um mês sem comida, mas apenas uma semana sem água;
- ◆ Cerca de 70% do corpo humano consiste de água;
- ◆ Mulheres e crianças em muitos países em desenvolvimento viajam em média 10 a 15 km todos os dias para obter água;
- ◆ Cerca de 34.000 pessoas morrem diariamente de doenças relacionadas com a água como diarreia. No Brasil, 65% das internações hospitalares são devidas a doenças veiculadas pela água;
- ◆ Uma pessoa necessita no mínimo de cinco litros de água por dia para beber e cozinhar e mais 25 litros para higiene pessoal;
- ◆ Uma família média canadense usa cerca de 350 litros por dia, na África 20 l/d na Europa 165 l/dia e no Brasil é de 200 l/dia;
- ◆ As perdas de água na rede de distribuição no Brasil variam de 30 a 65% do total aduzido;
- ◆ Uma vaca leiteira necessita beber cerca de 4 litros por dia para produzir um litro de leite;
- ◆ Um tomate é 95% água;
- ◆ 9.400 litros de água são utilizados para produzir quatro pneus de carro;
- ◆ Abastecimento e saneamento reduzem a mortalidade infantil pela metade.

O primeiro risco é o da escassez quantitativa. A natureza tem mostrado que a quantidade de água que escoa nos rios e depende das chuvas varia muito entre secas e estiagens. O ser humano, ao longo da história, procurou controlar essa água para seu

benefício por meio de obras hidráulicas. Essas obras procuram reduzir a escassez pela regularização das vazões, aumentando a disponibilidade ao longo do tempo, mas, desde a década de 1960, algumas dessas obras são questionadas devido aos impactos irreversíveis ao meio ambiente.

No passado, quando as cidades eram menores e a demanda por abastecimento era pequena, o impacto ambiental também era reduzido e desconsiderado. Com o aumento da urbanização sem a disposição adequada de esgoto, com o uso de produtos químicos na agricultura e na indústria, a água utilizada retorna aos rios totalmente contaminada. A consequência da expansão sem uma visão ambiental é a deterioração dos mananciais e a redução da água segura para a população, ou seja, a escassez qualitativa. Os problemas mencionados são consequência de uma visão distorcida do gerenciamento das águas, que ainda prioriza soluções localizadas, sem uma visão total da bacia hidrográfica e da necessidade de sua preservação. É necessário combinar o processo de urbanização com medidas preventivas de planejamento paisagístico e ambiental, visando minimizar os impactos sobre os sistemas hídricos e buscar a desejável sustentabilidade.

2.1 HIDROLOGIA

A Hidrologia é uma ciência interdisciplinar que tem evoluído face aos problemas do gerenciamento da água disponível no planeta. Profissionais de diferentes áreas como engenheiros, agrônomos, geólogos, matemáticos, estatísticos, geógrafos, urbanistas, biólogos, entre outros, atuam nas diferentes sub-áreas dessa ciência. A complexidade dos problemas relacionados aos sistemas hídricos cresceu devido à diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos, da deterioração da qualidade das águas e da ocupação de áreas com riscos de inundação. A tendência atual envolve desenvolvimento sustentado da bacia hidrográfica, que implica no aproveitamento racional dos recursos com o mínimo dano ao ambiente.

2.1.1 Ciclo hidrológico

A compreensão do ciclo hidrológico (SILVEIRA, 1998) é fundamental para o entendimento dos efeitos causados pela modificação das características naturais da bacia hidrográfica provocados pela urbanização, como será demonstrado a seguir. Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo: vertical e longitudinal. O vertical é representado pelos processos de precipitação e evapotranspiração

e o longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do sub-solo (escoamento subterrâneo), como mostra a Figura 2.

A vegetação tem um papel fundamental no equilíbrio entre energia e fluxo do volume de água. A parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação. Quanto maior for a superfície de folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação. Esse volume retido é evaporado assim que houver capacidade potencial. Quando esse volume, retido pelas plantas é totalmente evaporado, as plantas passam a perder umidade para o ambiente através da transpiração. A planta retira essa umidade do solo através das suas raízes. Da parcela de precipitação que atinge o solo, a mesma pode infiltrar ou escoar superficialmente dependendo da capacidade de absorção do solo. Essa capacidade depende de condições variáveis, como a quantidade de umidade já existente, as características do solo e da sua cobertura. A interface entre solo, vegetação e atmosfera tem forte influência no ciclo hidrológico. A água que infiltra, pode percolar para o aquífero ou gerar um escoamento sub-superficial ao longo dos canais internos do solo, até a superfície ou um curso d'água. A água que percola até o aquífero é armazenada e transportada até os rios, criando condições de mantê-los perenes nos períodos de longa estiagem. O escoamento superficial converge para os rios que formam a drenagem principal das bacias hidrográficas.

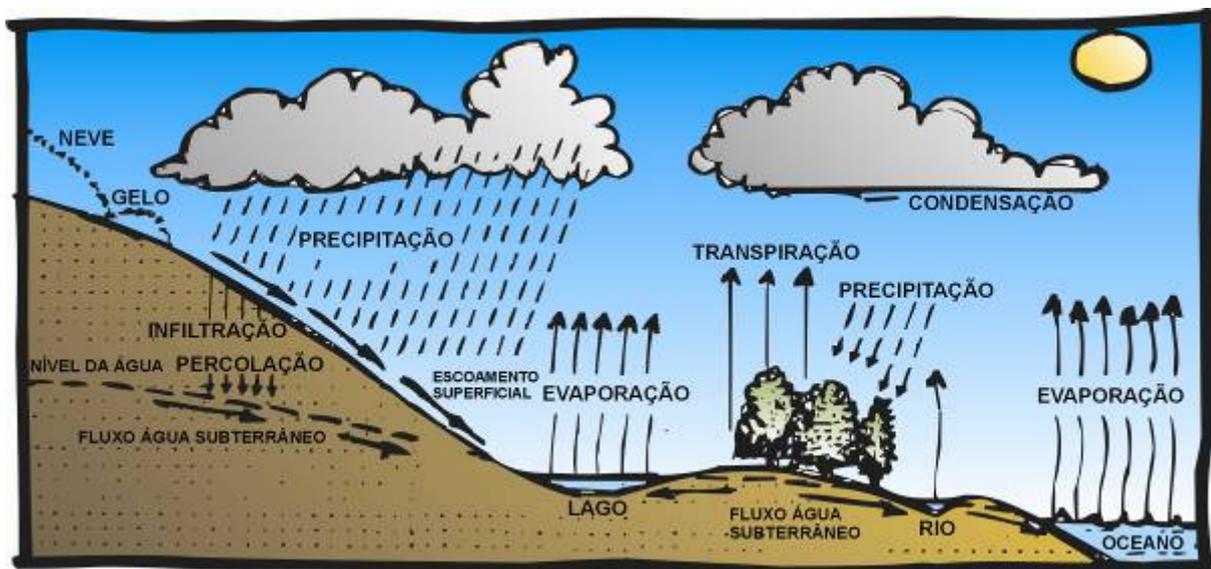


Figura 2: Ciclo hidrológico terrestre (Elaborado a partir de IGBP, 1993)

Para solos com superfície desprotegida, que sofre a ação de compactação, a capacidade de infiltração diminui, resultando em maior escoamento superficial. Este depende das seguintes características físicas: declividade, rugosidade, seção de

escoamento e obstruções ao fluxo. Os rios tendem a moldar dois leitos, o menor, ocupado na maior parte do ano, e o maior, o que caracteriza o período das cheias. O tempo de retorno da cota correspondente à definição do leito menor está entre 1,5 e 2 anos.

Interferindo no ciclo hidrológico existe a ação humana, ou antrópica, que atua, muitas vezes, desconsiderando os processos naturais.

2.1.2 Bacia hidrográfica

As características principais da bacia hidrográfica são a área de drenagem, o comprimento do rio principal e dos tributários, a declividade do rio e da bacia. Conforme Neto (2001), as bacias hidrográficas, unidades naturais da água, como delimitação de uma paisagem para estudos e intervenções, fornecem elementos concretos de referência, facilmente estabelecidos no território e na cartografia. As bacias ocupam superfície determinada e delineada por espigões e vales, e neste espaço, pode-se avaliar o desempenho da paisagem em relação à utilização dos recursos hídricos através da visualização do ciclo hidrológico. A água é um elemento que confere dinâmica, unidade e continuidade à paisagem a uma bacia. Vide Figura 3.

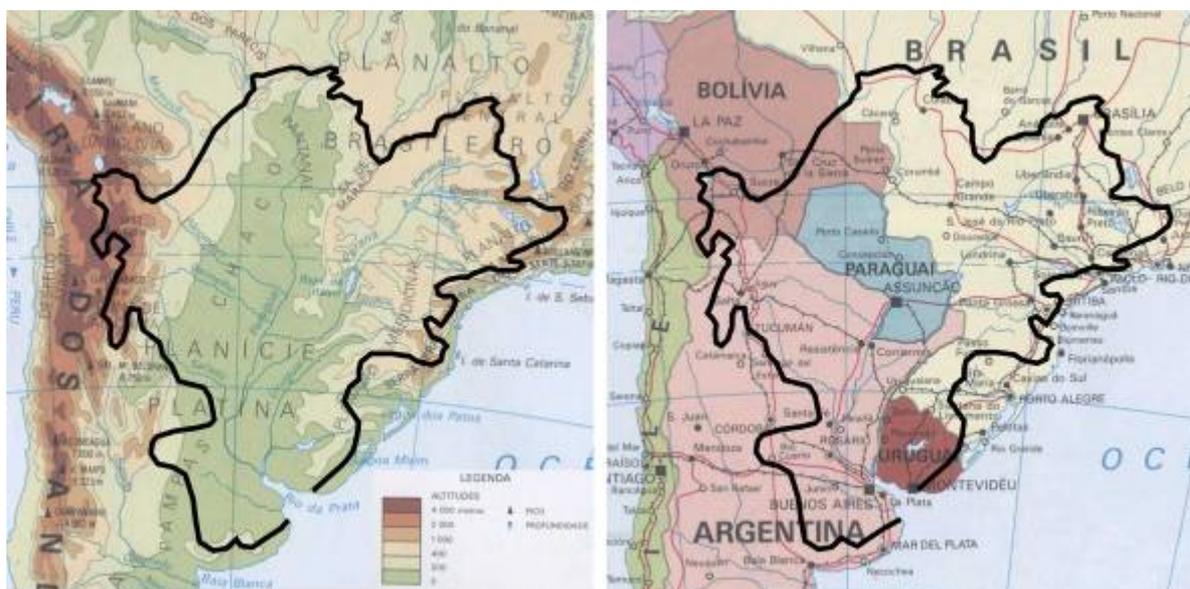


Figura 3: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata comparando hipsometria e divisão político-administrativa (Elaborado sobre SIMIELLI, 1995)

Spirn (1995) e Lyle (1999) acreditam que um rio não pode ser analisado isoladamente, em apenas um trecho ou em uma só cidade. O tratamento dos rios urbanos remete ao estudo da bacia hidrográfica a qual este rio pertence. A linearidade do rio, com as conexões que ele estabelece ao longo do território, sugere a idéia de sistema.

2.2 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO

A seguir são apresentados aspectos do processo de urbanização, mostrando uma breve síntese histórica da ocupação urbana das margens dos rios.

2.2.1 Ocupação das margens como tendência histórica

As concentrações humanas, que deram origem às cidades, sempre buscaram a proximidade da água, daí a importância do convívio equilibrado com o ciclo das águas nas várzeas inundáveis nos períodos de estiagem. Desde a Antiguidade o ser humano aprendeu a conviver com o fenômeno das cheias. Conhecido como o berço da civilização, o Fértil Crescente (Figura 4) é uma região do Oriente Médio que compreende os atuais países de Israel, Cisjordânia, Líbano, Jordânia, Síria, Iraque, Egito e Turquia. O termo designa esta região em torno dos rios Nilo, Eufrates e Jordão, onde surgiram os primeiros sítios agrários 11.000 anos a.C. e posteriormente as primeiras cidades. A Mesopotâmia, do grego meso-pótamos que significa entre rios, é uma planície aluvial, banhada pelos rios Tigre e Eufrates. Nela foram abertos canais que distribuíam a água, melhorando as terras usadas para a agricultura. A existência dos rios também permitiu o transporte dos produtos e matérias primas para as diversas cidades que foram criadas ao longo de suas margens. Nestas cidades os canais de irrigação foram adaptados para o uso urbano.



Figura 4: O Fértil Crescente (Wikipédia, 2007)

Diversas cidades do mundo contemporâneo encontram-se às margens de importantes rios e nelas percebe-se que as relações com as águas foram bastante

modificadas. Mesmo as que não possuem um rio significativo no perímetro urbano, geralmente são cortadas por vários riachos, convivendo com problemas ambientais e urbanísticos, pois a ocupação inadequada das áreas pertencentes às cheias levaram à ocorrência das inundações. Logo, é possível verificar que tem diminuído o saber e o respeito pelos processos naturais e aumentado o número de intervenções que tendem a alterar significativamente o ambiente para adaptação às necessidades urbanas, deflagrando processos tais como: alterações micro-climáticas, impermeabilização do solo, deterioração da qualidade hídrica, redução da cobertura vegetal nativa com a destruição de habitat naturais, e a degradação da paisagem urbana.

A urbanização não é um fato negativo, pois as cidades são o habitat do ser humano contemporâneo. Porém, torna-se imprescindível a revisão dos padrões de ocupação dos territórios das cidades, se desejarmos um melhor convívio com as águas no meio urbano e a redução dos impactos nos sistemas naturais.

2.2.2 Síntese do processo de urbanização no mundo

No ano de 1800 somente 1% da população mundial vivia em cidades. A partir do século XVIII, a revolução industrial foi acompanhada de intenso processo de urbanização, cada vez mais acelerado. Durante a primeira metade do século XX a população total do mundo aumentou em 49% e a população urbana em 240%. Na segunda metade do século essa evolução foi ainda mais expressiva, pois a população urbana passou de 1,52 bilhões de habitantes em 1974 para 1,97 bilhões em 1982 (TUCCI e BERTONI, 2003). A Tabela 2 demonstra o crescimento da população urbana no mundo de 1955 a 1995, apresentando também uma estimativa para o período entre 1995 e 2015.

Tabela 2 - Evolução da População Urbana 1955 a 2015 (TUCCI e BERTONI, 2003)

Año	1955	1975	1995	2015
% del total	32	38	45	54

É importante atentar para o fato de que o processo de urbanização nos países em desenvolvimento se diferencia do ocorrido nos países desenvolvidos. A Figura 5 demonstra que o crescimento da população nos países desenvolvidos praticamente se estancou desde meados de 1950, enquanto a previsão para que isso ocorra nos países em desenvolvimento é somente para o ano 2150. Esse fato se deve ao crescimento vegetativo da população e

também ao êxodo rural intenso. Parte desta população ocupa as margens dos rios, estando sujeitas às inundações.

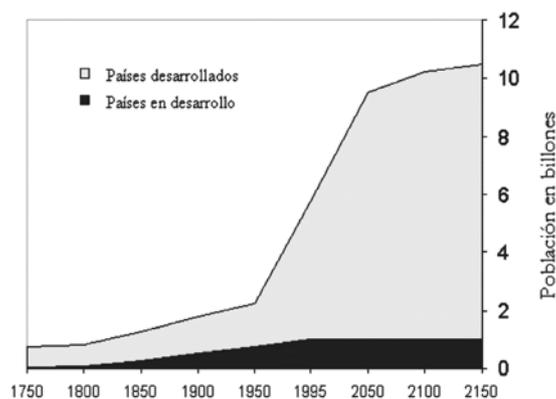


Figura 5: Crescimento da população (Nações Unidas, 2003)

Das 15 cidades mais povoadas do mundo, 4 se localizam na América Latina, sendo duas no Brasil. São elas: São Paulo, Cidade do México, Buenos Aires e Rio de Janeiro. O prognóstico é de que por volta do ano 2010 existirão 60 cidades com população superior a 5 milhões de habitantes, sendo a maioria em países em desenvolvimento.

2.2.3 Síntese do processo de urbanização no Brasil

As décadas de 1960 e 1970 foram caracterizadas no Brasil por um processo intenso de urbanização. Segundo Instituto Polis (2001), em 1960 a população total do Brasil era composta por 44,7% de população urbana e 55,3% de população rural. Dez anos depois essa relação se inverteu, 55,9% de população urbana e 44,1% de população rural. Entre 1960 e 1996, a população urbana brasileira aumentou em mais do que 14 vezes, passando de 31 milhões de habitantes para 137 milhões, recebendo, portanto, 106 milhões de novos moradores. Esse processo produziu uma ocupação urbana com infra-estrutura inadequada e gerou o surgimento de favelas e periferias situadas em áreas de risco. Tal processo fez com que as cidades brasileiras se caracterizassem pela existência de territórios urbanos legais e ilegais ou irregulares. Desse modo, passaram a existir no cenário urbano brasileiro a cidade legal e a cidade ilegal. “No final dos anos cinquenta mais de 60% da população estava no campo, agora temos mais de 75% da população na cidade, com muitos desterritorializados de várias partes, que constituíram as imensas periferias, favelas e as

idades precárias, irregulares e ilegais existentes em todas as localidades brasileiras”. (ROLNIK, 1995)

Quase a totalidade das cidades da América do Sul não apresenta em seus planos diretores restrições que impeçam efetivamente o loteamento de áreas com risco de inundação (TUCCI e BERTONI, 2003). Além disso, a legislação de proteção aos mananciais deveria impedir que as áreas ribeirinhas fossem ocupadas, seja pela população de baixa renda, seja pela população de alta renda.

“Há uma interação entre o mercado formal e o informal: “O mercado formal, que aprova planta na prefeitura, segue a lei, etc..., é apenas um dos mercados. E quando a lei diz, o mercado formal não pode lotear até a beira do córrego (...) a beira do córrego perde valor para o mercado imobiliário formal, virando, automaticamente, reserva de terra do mercado clandestino. Onde estão todas favelas? Na beira dos córregos, ou nas áreas de maior declividade” (ROLNIK, 1995). Além da ocupação informal das áreas inundáveis, a implantação de avenidas marginais aos rios urbanos, subjugou os sistemas das águas a um padrão de ocupação pré-determinado sem considerar sua compatibilidade com o meio, fazendo que vários rios urbanos sofressem intervenções drásticas de retificação de seus meandros. Exemplos bastante representativos deste tipo de intervenção são as avenidas marginais dos rios Tietê e Pinheiros, em São Paulo-SP. A retificação do Rio Pinheiros em 1927, retratada na Figura 6 e posteriormente a inversão de seu curso para a Usina da Traição vieram a agravar seriamente o sistema de escoamento pluvial. Seguidamente os efeitos deste padrão de intervenção contribuem para a ocorrência das inundações que são freqüentes nesta cidade, além do impacto no cenário urbano e a conseqüente degradação da paisagem natural característica da região.

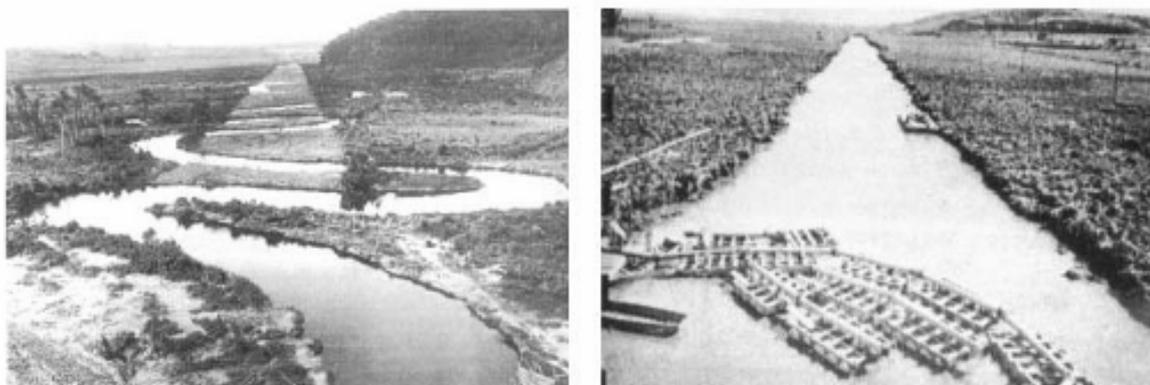


Figura 6: Rio Pinheiros antes e depois da retificação para a construção das avenidas marginais (Guerra, 2003)

2.2.4 Importância dos Sistemas Hídricos em Áreas Urbanas

Urbanizar significa drenar mangues, retificar rios, ganhar terras adequadas à construção de novos prédios e ruas, aterrar, cortar, cobrir, desmatar, e muitas destas intervenções visam realmente melhorar as condições de vida de populações carentes que se instalam nas áreas alagadiças, sobre os mangues, nas várzeas e nas encostas. Os reflexos diretos são inundações nas áreas distantes, (onde antes não ocorriam), na diminuição de vida animal nas águas vizinhas a mangues extintos, no assoreamento de rios devido ao desmatamento e terraplanagem e no aumento das temperaturas das áreas urbanas muito construídas. (MACEDO, 1986)

Segundo Spirn (1995), o ambiente natural de uma cidade e sua forma urbana, tomados em conjunto, compreendem um registro da interação entre os processos naturais e os propósitos humanos através do tempo. Juntos, contribuem para a identidade única de cada cidade.



Figura 7: Curso d'água natural com ocupação das margens inundáveis. (Acervo do autor)

Entre as inúmeras novidades ocorridas no final do século XIX, destaca-se a descaracterização das áreas e destruição dos recursos naturais advindos de intenso processo de urbanização e do novo urbanismo voltado para o automóvel. Considerava-se que os recursos naturais poderiam ser utilizados de forma ilimitada, desde que fossem atendidas as necessidades básicas: habitar, trabalhar, circular e recrear. Ao longo dos anos, os processos de desenho das cidades têm dado pouca ou nenhuma relevância aos processos naturais, privilegiando soluções tecnológicas ou formais que pouco contribuem para uma integração entre espaços urbanos e os ecossistemas nos quais estão inseridos.

A natureza é uma força fundamental que determina a morfologia das cidades e os esforços humanos (McHARG, 1992), daí a necessidade de compatibilizar processos naturais e sociais nas propostas de intervenção paisagística, onde a procura de locais apropriados para a agricultura, pecuária, lazer e urbanização segundo geologia e relevo deveria ser dominante na definição da paisagem.

A paisagem deve ser entendida como um sistema ecológico onde a topografia, o tipo de solos, as águas, a vegetação, a fauna e também as intervenções antrópicas são elementos fundamentais. Essa classificação deve estar correlacionada com a geologia, a geomorfologia e o clima. As diferentes partes desse sistema constituem as unidades de paisagem relacionadas com a escala de percepção humana (FRANCO, 1997).

Os recursos hídricos são elementos fundamentais nos cenários urbanos, muitas vezes determinantes da própria configuração espacial das cidades (Figura 8), e por isso merecem atenção especial no processo de planejamento de ocupação do território.



Figura 8: Vista aérea de Curitiba/PR demonstra adequação à presença das águas na cidade (Franco, 1997)

2.3 OCORRÊNCIA DAS INUNDAÇÕES URBANAS

A freqüente ocorrência de inundações em várias cidades de todo o mundo sinaliza para a necessidade de reflexão sobre a expansão das mesmas e os impactos gerados sobre o sistema hídrico natural, tais como a impermeabilização do solo, a ocupação de fundos de vale e o desmatamento das Áreas de Proteção Permanente próximas às

nascentes dos rios e córregos urbanos. Uma análise histórica nos mostra que tal entendimento nem sempre foi difundido.

O primeiro europeu a tentar explicar as inundações foi Konrad of Megenberg (1309 – 1374), no livro “The book of nature”, em que explicava este fenômeno como erupções de águas armazenadas no solo (HOFFMAN, 2000). Na Idade Média, as inundações eram compreendidas como fenômenos seguidos por morte e ruína. Tal pensamento teve certa extensão até o século XVI, quando as inundações eram vistas como produto de forças celestiais ou um julgamento divino. O entendimento das causas das inundações, bem como desenvolvimento das medidas preventivas às inundações, modificaram-se ao longo dos tempos. Em Northern Hesse, na Alemanha, as medidas preventivas foram divididas em três fases (TOENSMANN, 2000):

A **primeira fase**, de 1850 a 1945, foi marcada por obras hidráulicas nas cidades de Diemel e Eder e pelo levantamento de dados realizado na cidade de Kassel. Esta fase se caracteriza pelo desenvolvimento dos recursos hídricos a partir de uma visão apoiada no **desenvolvimento técnico**, crescente nesse período, mas sem nenhuma preocupação em estabelecer compatibilidade com o meio físico.

A **segunda fase**, de 1945 a 1980, foi marcada pela criação de associações e elaboração de projetos de desenvolvimento dos recursos hídricos e controle de vazões, mas poucos foram implementados. A forte ênfase nas medidas técnicas, característica da primeira fase, foi modificada com a Lei Ambiental de 1976, que definiu os **impactos e medidas compensatórias** a eles relacionados.

Na **terceira fase**, de 1980 a 2000, as questões vinculadas à **sustentabilidade e compatibilidade com o ambiente** ganharam maior destaque, representadas na prevenção e na implantação de retenções naturais, bastante enfatizadas. Porém, esse período foi também marcado por um certo distanciamento das medidas técnicas, fato ao qual o autor faz algumas ressalvas, alertando que **a eficácia de um projeto depende de uma boa mistura desses três estágios** de prevenção das inundações.

“Para ser aplicado com sucesso, afirma Zhou (1998), o **desenvolvimento sustentável** deve trazer a perspectiva de que um **ambiente saudável é essencial para uma economia próspera**. Tal enfoque encara sociedade, economia e meio ambiente como elementos essenciais de um sistema, que se suportam mutuamente (...). Os recursos do meio ambiente devem ser examinados tanto pelo seu valor atual quanto futuro, baseado nos princípios de vida dentro de parâmetros ecológicos globais de longo prazo”.

2.3.1 Evolução da Hidrologia Urbana no Brasil

Nos anos subseqüentes à proclamação da República, em 1889, o Brasil viveu um período de reformas urbanísticas de caráter higienista, ou seja, de saneamento urbano. As primeiras décadas do século XIX se constituíram num período em que a defasagem em relação à Europa era pequena, ao menos quando se comparava o saneamento de grandes e médias cidades. Nessa época a ação de Saturnino de Brito, um engenheiro sanitarista com sólidos conhecimentos de engenharia civil, mecânica e hidráulica, cuja atuação serviu para propagar o urbanismo estético e higienista de Camilo Sitte ajudou a consolidar o conceito de drenagem urbana, como ainda é conhecido no Brasil, ou seja, o uso do conceito higienista de escoamento rápido combinado com a rede de esgoto pluvial separada da rede de esgoto doméstico, sistema separador absoluto (SOUZA E DAMÁSIO, 1993).

Profundas reformas urbanísticas faziam parte dos objetivos do movimento, dominados pela idéia de livrar a cidade o mais rápido possível das águas nocivas, conduzindo-as organizadamente para um corpo d'água receptor. Alargamento de ruas, desmantelamento de cortiços ou bairros insalubres, implantação de redes subterrâneas de água potável e de esgotos pluviais e domésticos eram a essência do remédio higienista (SOUZA E DAMÁSIO, 1993). Curiosamente, o sistema separador absoluto parece ter predominado desde o início sobre o sistema unitário, utilizado na Europa. Razões econômicas podem estar por trás desta opção, pois canalizações exclusivas para esgoto doméstico têm um custo menor do que uma canalização de sistema unitário.

Desta forma, foi-se cristalizando a prática de construir redes de esgoto pluvial somente após as ocupações, no momento em que houvesse recursos. Estabeleceu-se a ordem de prioridades, ainda hoje praticada na urbanização de vilas ou favelas, de implantar, umas após as outras, as redes de água potável, de esgoto doméstico e esgoto pluvial. Porto Alegre, por exemplo, iniciou sua rede de água potável em 1869, a de esgotos em 1907 e a pluvial em 1914 (FRANCO, 1992).

Se é possível afirmar que o Brasil acompanhou o saneamento urbano europeu, por outro lado, não conseguiu passar satisfatoriamente da drenagem urbana (higienista) para a hidrologia urbana (sustentabilidade). Não é difícil ligar este fato à falta crônica de investimentos suficientes para pesquisa e construção de obras físicas (Figura 9). Assim, a situação atual é de grande defasagem em relação aos países desenvolvidos. Enquanto a Europa já objetiva purificar os esgotos pluviais, somente 8% dos esgotos domésticos brasileiros são tratados.



Figura 9: Exemplo de despejo de esgoto sem tratamento nos rios urbanos (Acervo do autor)

2.3.2 Drenagem Urbana no Brasil

A urbanização brasileira tem provocado impactos significativos no ambiente. Estes impactos têm deteriorado a qualidade de vida da população, através do aumento da frequência e do nível das inundações, redução da qualidade de água e aumento de materiais sólidos no escoamento pluvial. Este processo é desencadeado principalmente pelos projetos de drenagem urbana inadequados, que procuram *escoar a água precipitada o mais rápido possível*. Este critério aumenta em várias ordens de magnitude a vazão máxima, a frequência e o nível de inundação de jusante (CAMPANA, 1995).

Após a implantação de uma cidade, o percurso das enxurradas (Figura 10) passa a ser determinado pelo traçado das ruas e acaba se comportando, tanto quantitativa como qualitativamente, de maneira bem diferente de seu comportamento no terreno original, anterior à modificação da topografia.



Figura 10: Exemplo da energia das águas nas enxurradas em áreas urbanas (Campana, 1995)

O escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados, a saber:

a) Inundações de áreas ribeirinhas

Os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoar na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado com risco geralmente entre 1,5 e 2 anos. O impacto devido a inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita a inundação (Figura 11).

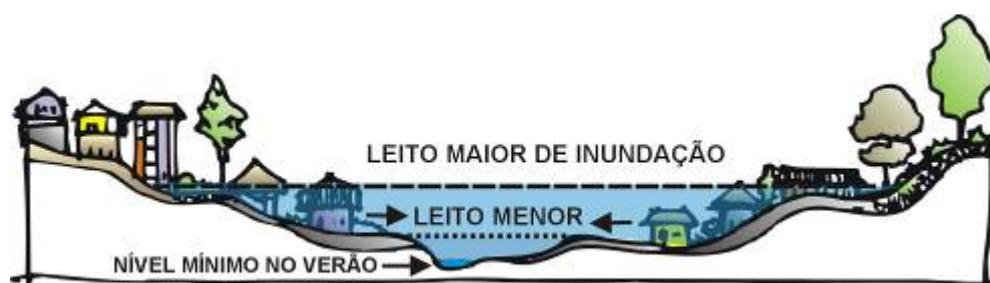


Figura 11: Características dos leitos do rio (Adaptado de Campana, 1995)

Estas enchentes ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o rio escoar pelo seu leito maior (Figura 12).



Figura 12: Exemplo de inundação ribeirinha em propriedade no interior do Paraná (Campana, 2004)

Este tipo de enchente é decorrência de processo natural do ciclo hidrológico e ocorre, em geral, devido às seguintes ações: (a) como no Plano Diretor Urbano de quase a totalidade das cidades da América do Sul, não existe nenhuma restrição quanto ao loteamento de áreas de risco de inundação e a seqüência de anos sem enchentes é razão suficiente para que empresários loteiem áreas inadequadas; (b) invasão de áreas ribeirinhas, *non aedificandi*, que pertencem ao poder público, pela população de baixa renda; (c) ocupação de áreas de médio risco, que são atingidas com freqüência menor, mas que quando o são, sofrem prejuízos significativos (TUCCI E GENZ, 1996).

Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem as inundações. Segundo Genz (1994), no Brasil a população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais seguros, ao contrário da população carente, que ocupa as áreas de alto risco de inundação, provocando problemas sociais que se repetem por ocasião de cada cheia na região (Figura 13). Quando a frequência das inundações é baixa, a população tende a ganhar confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o investimento e a densificação nas áreas inundáveis. Nesta situação as enchentes assumem características catastróficas.



Figura 13: Exemplo de ocupações ribeirinhas nas periferias urbanas (IPT, 2006)

O cenário comum de impacto na América do Sul é decorrência da ocupação da várzea de inundação pela população durante uma seqüência de anos de níveis anuais máximos pequenos, especialmente nos vales planos (Figura 14). Quando retornam os anos com maiores inundações, os prejuízos são significativos e a população exige dos governos uma ação no sentido de construir obras de controle como barragens e diques de proteção, como no caso de Pelotas/RS que será mostrado adiante no Capítulo 4 - Estudo de Caso.



Figura 14: Exemplo de ocupação com inundação ribeirinha em União da Vitória/PR (Campana, 1994)

As áreas desocupadas devido ao risco de inundações normalmente sofrem considerável pressão para serem ocupadas. A ocupação das áreas urbanas impróprias pode ser evitada, através do planejamento e definição do uso dos solos das várzeas com

atividades compatíveis com a oscilação do nível das águas, como áreas verdes de lazer e conservação, as quais precisam ser reguladas no Plano Diretor.

b) Inundações devido à urbanização

As enchentes ocorrem devido à urbanização com excessiva impermeabilização do solo e com sistema de drenagem que acelera o processo de vazão das águas. As águas da chuva, que na condição natural eram infiltradas e percoladas pelo solo, passam a ser escoadas por pavimentos impermeáveis e canais de concreto. Esse caminho percorrido pelas águas tende a gerar uma série de problemas ambientais, desde aqueles relacionados à poluição de rios, córregos e mananciais, como outros tão graves quanto àqueles relacionados à saúde pública. O incremento dessas áreas impermeáveis facilita o aumento da velocidade do escoamento superficial ao longo dos canais, agrava os problemas de ordem estrutural do sistema de drenagem e intensifica o potencial para a ocorrência das inundações (OHNUMA JR, 2005). O esquema da Figura 15 ilustra, as conseqüências da urbanização sobre o escoamento pluvial.



Figura 15: Processo de impacto na drenagem urbana (Adaptado de Sudersha, 2002)

O Brasil perde anualmente mais de 1 bilhão de dólares com enchentes urbanas (TUCCI, 2001). Tundisi (2003) reforça a idéia de que um dos principais impactos produzidos no ciclo hidrológico é a rápida taxa de urbanização, que provoca graves conseqüências, por alterar substancialmente a drenagem e causar agravos à saúde humana, além de propiciar impactos, como enchentes, deslizamentos e desastres provocados pelo desequilíbrio no

escoamento das águas. Segundo Ohnuma Jr. (2005), o desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido o aumento da magnitude e frequência das inundações e a deterioração ambiental urbana (Figura 16).



Figura 16: Registros dos transtornos ocasionados pelas inundações urbanas (Tundisi, 2003)

2.3.3 Quantificação dos impactos da urbanização no ciclo hidrológico

A quantificação do efeito sobre as variáveis do ciclo hidrológico devido à urbanização é mostrada na Figura 17. As principais alterações verificadas são aumento de 10 para 43% do volume do escoamento superficial, através de dutos pluviais urbanos, redução de 50 para 32% do escoamento subterrâneo e redução da evapotranspiração de 40 para 25%. O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal, e o volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização e supressão da vegetação, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. Com a impermeabilização através de telhados, ruas, calçadas e pátios, a água que infiltrava no solo passa a escoar pelos condutos, aumentando o volume de água no escoamento superficial.

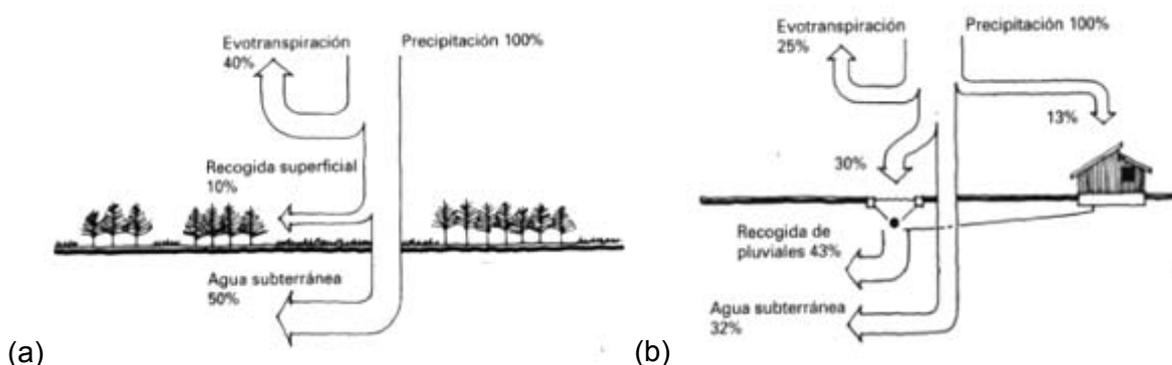


Figura 17: Alterações hidrológicas devido à urbanização: (a) condição natural; (b) condição urbanizada (Hough, 1998)

A diminuição da capacidade de permeabilidade do solo, quando comparadas às situações natural e urbanizada, provoca uma significativa mudança no comportamento do terreno. Segundo Cruz et al (2000), a Figura 18 mostra o hidrograma representativo de duas chuvas consecutivas em um terreno antes e após sua urbanização. Pode-se notar um acentuado acréscimo no pico da vazão, proporcionado pelo aumento da impermeabilização e elevação do escoamento superficial, gerando um volume em excesso em um curto intervalo de tempo, caracterizando o processo de formação de enxurradas.

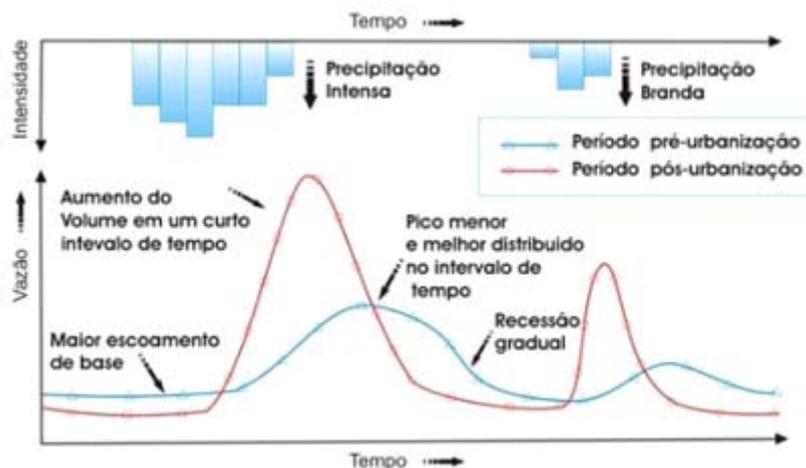


Figura 18: Alterações no escoamento superficial devido à urbanização (Adaptado de Cruz et al, 2000)

2.3.4 Intervenções na macrodrenagem urbana que geram impactos

Segundo Tucci (2002), o controle de enchentes nas cidades brasileiras tem sido realizado de forma equivocada com sensíveis prejuízos para a população.

As causas dos impactos devido à drenagem urbana inadequada estão no princípio dos projetos, onde a drenagem urbana tem sido desenvolvida com base no *princípio equivocado* de que a melhor drenagem é a que retira a água excedente o mais rápido possível do seu local de origem (Figura 19), e nos projetos que não consideram a bacia hidrográfica como sistema de controle, onde a quantidade de água que circula em cada trecho é transferida de um ponto para outro dentro da bacia através de condutos e canalizações, excedendo a capacidade de vazão nos pontos mais baixos.



Figura 19: Exemplo de canalizações que aceleram processo de escoamento (Silveira, 1999)

Em consequência destes projetos ocorrem os impactos citados nos itens anteriores com elevado prejuízo para diferentes grupos da população e para o poder público. A sociedade paga a mais para uma solução que aumenta dramaticamente as inundações (Figura 20).



Figura 20: Canalização de corpos d'água por parte do poder público: solução que não garante o fim das inundações do Córrego Pirajá em Belém/PA (Tucci, 2002)

2.4 PROBLEMAS AMBIENTAIS DECORRENTES DO DESENVOLVIMENTO URBANO

Com o desenvolvimento urbano, vários elementos antrópicos são introduzidos na bacia hidrográfica que atuam sobre o ambiente. Todos os elementos naturais estão fortemente inter-relacionados, devido a forma como são gerenciados dentro do ambiente urbano. Segundo Silveira (1999), os principais problemas relacionados com estes sistemas são apresentados a seguir:

1. Aumento da Temperatura

As superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar aumentando a temperatura ambiente, produzindo ilhas de calor na parte central dos centros urbanos, onde predomina o concreto e o asfalto. O asfalto, devido a sua cor, absorve mais energia do que as superfícies naturais e o concreto. À medida que a sua superfície envelhece, escurece e aumenta a absorção de radiação solar. O aumento da absorção de radiação solar por parte da superfície aumenta a emissão de radiação térmica de volta para o ambiente, gerando calor. O aumento de temperatura também cria condições de movimento de ar ascendente que pode criar aumento de precipitação. Silveira (1999) menciona que a parte central de Porto Alegre/RS apresenta maior índice pluviométrico que a sua periferia, atribuindo essa tendência à urbanização.

2. Contaminação dos mananciais

O desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação gerado pelos efluentes da população urbana que são o esgoto doméstico, industrial e o esgotos pluviais (Figura 21). Este processo ocorre devido ao seguinte:

a) Despejo sem tratamento dos esgotos cloacais nos rios, que possuem capacidade limitada de diluição, contaminando-os. Isto ocorre devido à falta de investimentos nos sistemas de esgotamento sanitário e estações de tratamento que, mesmo quando existem, apresentam baixa eficiência;

b) O despejo dos esgotos pluviais transportam grande quantidade de poluição orgânica e de metais que atingem os rios nos períodos chuvosos. Esta é uma das mais importantes poluições do tipo difusa;

- c) Contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos através das fossas sépticas, vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial;
- d) Depósitos de resíduos sólidos urbanos que contaminam as águas superficiais e subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação;
- e) Ocupação do solo urbano sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico.

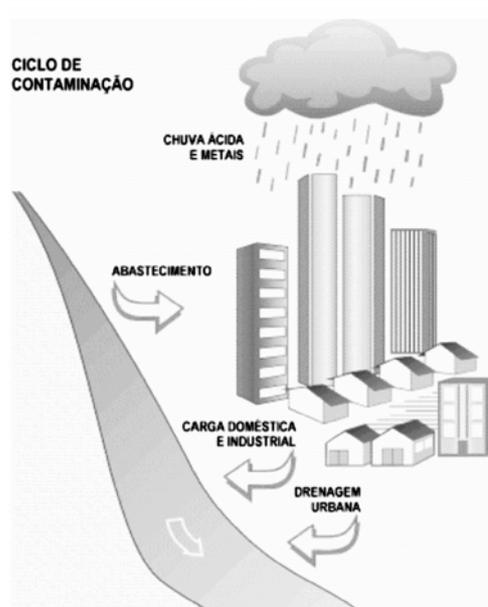


Figura 21: Ciclo de contaminação (Silveira, 1999)

Com o passar do tempo, locais que possuem abastecimento tendem a reduzir a qualidade da sua água ou exigir maior tratamento químico da água fornecida à população. Portanto, mesmo existindo uma boa cobertura do abastecimento de água, a mesma pode ficar comprometida enquanto não ocorrerem medidas de controle do ciclo de contaminação.

Outro processo que ocorre com o abastecimento de água está relacionado com a contaminação por toxicidade. Muitas cidades utilizam reservatórios urbanos para regularizar a demanda de água de uma comunidade. Como o reservatório se encontra próximo da cidade, existe grande pressão de ocupação urbana da bacia hidrográfica à montante do reservatório. Quando os municípios possuem pouca capacidade de fiscalização sobre o processo de ocupação do território, se desenvolvem nestas áreas loteamentos irregulares.

No Brasil, a legislação de manancial foi criada para procurar proteger estas áreas, mas incentivou exatamente o contrário do previsto:

A legislação de proteção de mananciais aprovada na maioria dos Estados brasileiros protege a bacia hidrográfica utilizada para abastecimento das cidades. Nestas áreas é proibida a ocupação urbana e outros usos que possam comprometer a qualidade da água de abastecimento. Devido ao crescimento das cidades, estas áreas foram pressionadas pelo valor imobiliário da vizinhança e pela falta de interesse do proprietário em proteger a área, já que a mesma perdeu o valor em função da legislação. Estas áreas são invadidas pela população de baixa renda e a consequência imediata é o aumento da poluição. Muitos proprietários incentivaram a invasão até para poder vender a propriedade para o poder público. A principal lição que se pode tirar deste cenário é que, ao se declarar de utilidade pública a bacia hidrográfica do manancial, a mesma deveria ser adquirida pelo poder público ou criar valor econômico para propriedade através de uma geração de mercado indireto para a área ou ainda outros benefícios para os proprietários para compensar pela proibição pelo uso da mesma. (TUCCI, 2002)

Em consequência desta ocupação e da falta de tratamento dos esgotos, a carga chega diretamente ao reservatório, aumentando a probabilidade de eutrofização através da riqueza em nutrientes. Assim existe a tendência de proliferação de algas que consomem os nutrientes. Estas algas produzem toxinas que ficam na água. E quando absorvidas pelo ser humano, atuam de forma cumulativa sobre o fígado, gerando doenças que podem levar à morte. As toxinas não são retiradas por tratamentos tradicionais e se acumulam no fundo dos lagos, dos quais alguns peixes também se alimentam.

Como principais condições de contaminação dos aquíferos urbanos estão as seguintes:

a) Aterros sanitários contaminam as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração. Deve-se evitar, portanto, que sejam construídos aterros sanitários em áreas de recarga e deve-se procurar escolher as áreas com baixa permeabilidade. Os efeitos da contaminação nas águas subterrâneas devem ser examinados quando da escolha do local do aterro;

b) Grande parte das cidades brasileiras utilizam fossas sépticas como destino final do esgoto. Esse sistema tende a contaminar a parte superior do aquífero. Esta contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos através de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos;

c) A rede de drenagem pluvial pode contaminar o solo através de perdas de volume no seu transporte e até por entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

3. Resíduos sólidos

Segundo Tucci (2002), no desenvolvimento urbano são observados alguns estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana, que são os seguintes:

a) No estágio inicial, quando ocorre modificação da cobertura da bacia, pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a produção de sedimentos. Como exemplo desta situação, verifica-se na construção de grandes áreas ou em lotes ocorre grande movimentação de terra onde parte acaba sendo transportada pelo escoamento superficial. Nesta fase existe predominância dos sedimentos e pequena produção de lixo;

b) No estágio intermediário: parte da população está estabelecida e ainda existe importante movimentação de terra devido a novas construções. A produção de lixo se soma ao processo de produção de sedimentos;

c) No estágio final: nesta fase praticamente todas as superfícies urbanas estão consolidadas e apenas resulta produção de lixo urbano, com menor parcela de sedimentos de algumas áreas de construção ou sem cobertura consolidada.

A quantidade de lixo que chega à drenagem (Figura 22) está relacionada com a frequência e cobertura da coleta de lixo, frequência da limpeza das ruas, forma de disposição do lixo pela população e frequência da precipitação.



Figura 22: Obstrução da drenagem devido à deposição de lixo nos canais pela população (Tucci, 2002)

A produção de lixo coletada no Brasil é da ordem de 0,5 a 0,8 kg/pessoa/dia, mas não existem informações sobre a quantidade de lixo que fica retida na drenagem. Mesmo à nível internacional as informações são reduzidas. Em San Jose, Califórnia o lixo que chega na drenagem foi estimado em 4lb/pessoa/ano. Após a limpeza das ruas resultam 1,8lb/pessoa/ano na rede. No Brasil este volume deve ser maior, pois muitas vezes a drenagem é utilizada como destino final de resíduos sólidos, vide Figura 23 (TUCCI, 2002).



Figura 23: Resíduos sólidos depositados pela população acumulados nos canais de drenagem (Tucci, 2002)

Na última década houve um visível incremento de lixo urbano devido às embalagens plásticas. Os rios e todo o sistema de drenagem ficam cheios de garrafas pet- Politereftalato de etila, além de materiais de todo o tipo (Figura 24).



Figura 24: Embalagens plásticas que obstruem o escoamento das águas nos canais de drenagem (Tucci, 2002)

As principais conseqüências ambientais da produção de sedimentos são o assoreamento das seções de canalizações da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos, e o transporte de poluentes agregados ao sedimento, que contaminam as águas pluviais. (Figura 25)



Figura 25: Lixo retirado do canal de drenagem do Arroio Pepino em Pelotas/RS (PMP, 2005)

4. Qualidade da água pluvial

A quantidade de material suspenso verificada na drenagem pluvial no Brasil apresenta uma carga muito alta, considerando as vazões envolvidas. Esse volume é mais significativo no início das enchentes. Os esgotos podem ser combinados (cloacal e pluvial num mesmo conduto) ou separados (rede pluvial e cloacal separadas). A legislação brasileira estabelece o sistema separador, mas na prática isto não ocorre devido às ligações clandestinas e à falta de rede cloacal.

Devido à falta de capacidade financeira para ampliação da rede cloacal, algumas prefeituras têm permitido o uso da rede pluvial para transporte do cloacal, o que pode ser uma solução inadequada à medida que esse esgoto não é tratado. Quando o sistema cloacal é implementado, a grande dificuldade envolve a retirada das ligações existentes da rede pluvial, o que na prática resultam em dois sistemas misturados com diferentes níveis de carga poluente.

As vantagens e desvantagens dos dois sistemas têm gerado controvérsias sobre o assunto em todo o mundo. Considerando a inter-relação com a drenagem, o sistema unitário geralmente amplia o custo do controle quantitativo da drenagem pluvial, à medida que exige que as detenções sejam no sub-solo. Este tipo de construção tem um custo unitário 7 vezes superior à detenção aberta (IPH, 2000). As outras desvantagens são: na estiagem, nas áreas urbanas o odor pode ser significativo; durante as inundações, quando ocorre extravasamento, existe maior potencial de proliferação de doenças. Este cenário é mais grave quando os extravasamentos forem freqüentes.

As cidades, que de outro lado priorizaram a rede de esgotamento sanitário e não consideraram os pluviais, sofrem freqüentes inundações com o aumento da urbanização, como tem acontecido em Barranquilla na Colômbia e algumas áreas de Santiago no Chile. Não existem soluções únicas e milagrosas, mas soluções adequadas e racionais para cada realidade. O ideal é buscar conciliar a coleta e tratamento do esgotamento sanitário somado a retenção e tratamento do escoamento pluvial dentro de uma visão integrada, de tal forma que tanto os aspectos higiênicos como ambientais sejam atendidos.

5. Doenças de veiculação hídrica

No Brasil 65% das internações hospitalares são provenientes de doenças de veiculação hídrica. As doenças relacionadas à água podem ser classificadas baseados no conceito de Prost (1992):

a) Doenças com fonte na água: dependem da água para sua transmissão como cólera, salmonela, diarreia, leptospirose (desenvolvida durante as inundações pela mistura da urina do rato). A água age como veículo passivo para o agente de infecção;

b) Doenças devido à falta de higiene: dependem da educação da população e da disponibilidade de água segura. Estas doenças estão relacionadas com a infecção do ouvido, pele e os olhos;

c) Relacionado com a água: malária, no qual o agente utiliza a água, esquistossomose, onde o agente utiliza a água para se desenvolver, e febre hemorrágica.

Muitas destas doenças estão relacionadas com baixa cobertura de água e saneamento, como diarreia e cólera. Outras relacionadas com a inundação como a leptospirose, malária e dengue. As doenças transmitidas através do consumo da água preocupam devido ao seguinte:

a) Cargas domésticas: o excesso de nutrientes tem produzido eutrofização dos lagos, aumentando a quantidade das algas que geram toxicidade. Esta toxicidade pode ficar solúvel na água ou se depositar no fundo dos rios e lagos. A ação da toxicidade é de atacar o fígado das pessoas gerando doenças degenerativas como câncer e cirrose.

b) Cargas industriais: os efluentes industriais apresentam os mais diferentes compostos e, com a evolução deste tipo de indústria, novos componentes são produzidos diariamente. Dificilmente as equipes de fiscalização possuem condições de acompanhar e controlar este processo.

c)Cargas difusas: as cargas difusas provenientes de áreas agrícolas trazem compostos de pesticidas, que apresentam novos compostos anualmente. As cargas difusas de áreas urbanas podem atuar de forma cumulativa sobre o organismo das pessoas.

2.4.1 Desenvolvimento urbano e impactos gerados

O processo de urbanização gera impactos significativos sobre o ambiente ocupado, como foi exposto até aqui. Ações antrópicas que transformam o meio natural em um meio adequado aos interesses de desenvolvimento do ser humano originam grandes superfícies impermeáveis, que dificultam a infiltração das águas de chuvas nas superfícies urbanas, promovendo o desequilíbrio do balanço hídrico e, conseqüentemente, mudanças no comportamento do hidrograma de uma bacia ou de uma micro-bacia (PORTO, 1991). A Figura 26 mostra uma síntese das variáveis inter-relacionadas e associa alguns aspectos da urbanização com os respectivos impactos gerados.

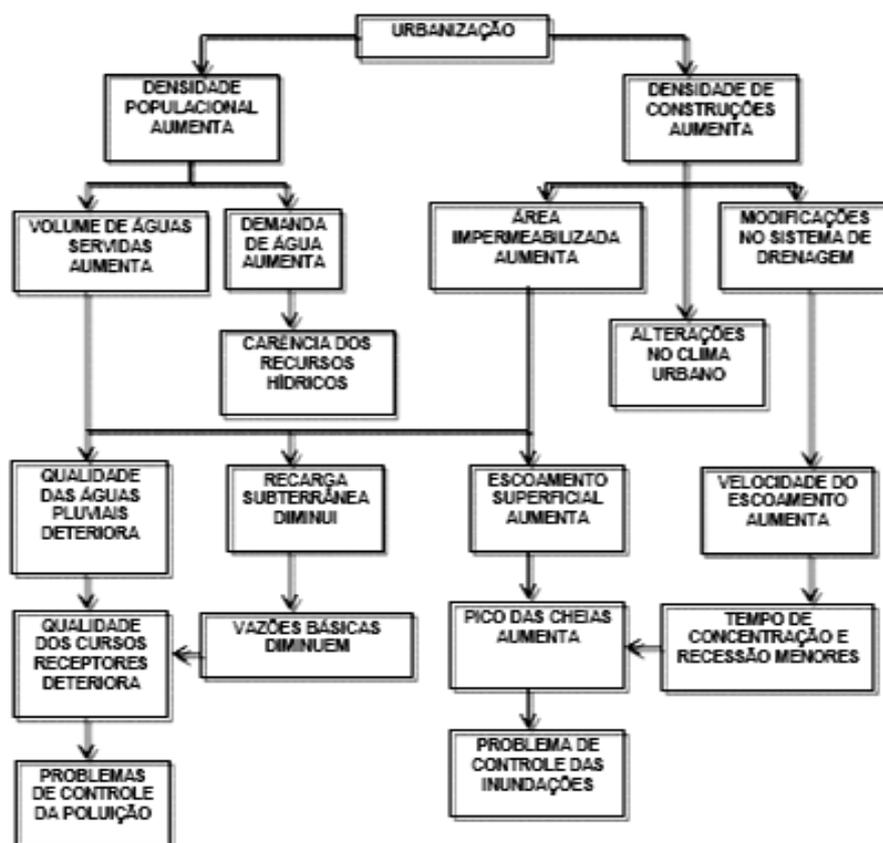


Figura26: Fluxograma dos processos decorrentes da urbanização e impactos (Adaptado de Porto, 1991)

O esquema mostra que o aumento da vazão de escoamento superficial, associado a fatores de um processo urbanístico mal planejado, caracterizado por ocupações indevidas de áreas de risco, ineficiência e falta de manutenção dos sistemas públicos de captação pluvial, falhas no processo de coleta e disposição de lixo, entre outros, geram riscos à saúde pública e prejuízos socioeconômicos consideráveis à toda comunidade, devido ao sucessivo processo de ocorrência de enxurradas e cheias urbanas (Figura 27).



Figura 27: Ocorrência de enxurradas em área urbanizada (IPT, 2006)

Repensando o modo de gerenciamento e utilizando novas técnicas de drenagem urbana, é possível minimizar os problemas atuais, melhorar a qualidade das águas e reduzir a frequência de cheias. A tendência dos novos conceitos de urbanização e drenagem urbana buscam retomar e manter o equilíbrio hídrico existente durante o período de pré-urbanização, e é sob esse enfoque que abordaremos no Item 2.6 - Gerenciamento das Águas Urbanas, as alternativas e modelos de urbanização menos impactantes através de medidas possíveis para o controle de inundações.

2.5 GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS URBANAS

Verificamos na seqüência, as possibilidades de gerenciamento e controle dos problemas relacionados com as águas em áreas urbanas até aqui mencionados.

2.5.1 Necessidade de visão integrada para as soluções adotadas

É possível constatar que a gestão municipal de todos os componentes envolvidos no processo de urbanização tem sido realizada de maneira desintegrada, com pouco foco no conjunto da cidade, atuando sempre sobre problemas pontuais e nunca desenvolvendo um planejamento preventivo. A visão contemporânea para as soluções envolve o planejamento integrado da água na cidade, incorporada ao Plano de Desenvolvimento Urbano (Figura 28) onde os componentes de manancial, esgotamento sanitário, resíduo sólido, drenagem urbana e inundações ribeirinhas são vistos dentro de um mesmo conjunto e relacionados com a causa principal que é a ocupação do solo urbano.



Figura 28: Visão integrada do planejamento e gestão da água no ambiente urbano (Adaptado de Collischonn et al, 2001)

A atuação preventiva no desenvolvimento urbano reduz o custo da solução dos problemas relacionados com a água. Por exemplo, no controle preventivo da drenagem urbana, a relação entre o planejamento não-estrutural dos controles com relação às obras futuras de contenção estruturais é de 1 para 500 (COLLISCHONN et al, 2001). Ou seja, planejando a cidade com áreas de ocupação e controle da drenagem na fonte, a distribuição do espaço de risco e o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento e

esgotamento, os custos são muito menores do que quando ocorrem as crises, onde as correções passam a ter custos inviáveis para o município. O desenvolvimento do planejamento das áreas urbanas envolve principalmente planejamento do desenvolvimento urbano, transporte, abastecimento de água e saneamento, drenagem urbana e controle de inundações, resíduo sólido e controle ambiental.

O planejamento urbano necessita considerar os aspectos relacionados com a água no uso do solo e na definição das tendências dos vetores de expansão da cidade. Quando vistos dentro de cada uma das disciplinas, em planos setoriais, certamente resultarão em prejuízos para a sociedade.

Na Figura 28 pode-se observar a representação do planejamento integrado dos setores essenciais relacionados com a água no meio urbano. Algumas destas inter-relações são as seguintes: (a) o abastecimento de água é realizado a partir de mananciais que podem ser contaminados pelo esgoto cloacal, pluvial ou por depósitos de resíduos sólidos; (b) a solução do controle da drenagem urbana depende da existência de rede de esgoto cloacal e suas características; (c) a limpeza das ruas, a coleta e disposição de resíduos sólidos interfere na quantidade e na qualidade da água dos dutos pluviais.

A maior dificuldade para a implementação do planejamento integrado decorre da limitada capacidade institucional dos municípios para enfrentar problemas tão complexos e interdisciplinares, e também a forma setorial como normalmente a gestão municipal é organizada. É esta mudança de paradigma que precisa ser enfrentada pelos gestores.

2.5.2 Legislação urbana e ambiental

A legislação que envolve as águas urbanas está relacionada com recursos hídricos, uso do solo e licenciamento ambiental. A seguir, baseado em Collischonn (2001), é apresentada uma análise dentro do cenário brasileiro nos níveis Federal, Estadual e Municipal, com reflexões a respeito dos planos a serem desenvolvidos atendendo às previsões legais estabelecidas no país.

a) Quanto aos recursos hídricos:

A Constituição Federal define o domínio dos rios e a legislação de recursos hídricos à nível federal e estabelece os princípios básicos da gestão através de bacias hidrográficas. As bacias podem ser de domínio estadual ou federal. Algumas legislações estaduais de recursos hídricos estabelecem critérios para a outorga do uso da água, mas não legislam sobre a outorga relativa ao despejo de efluentes de drenagem. A legislação ambiental

estabelece normas e padrões de qualidade da água dos rios através de classes, mas não define restrições com relação aos efluentes urbanos lançados nos rios. A ação dos órgãos estaduais de controle ambiental é limitada devido à falta de capacidade dos municípios em investir neste controle.

Portanto, não existe exigência e não existem esforços para investimentos no setor. Dentro deste contexto, o escoamento pluvial resultante das cidades deve ser objeto de outorga ou de controle a ser previsto no Plano de Bacia. Como estes procedimentos ainda não estão sendo cobrados pelos Estados, não existe ainda uma pressão direta significativa para a redução dos impactos resultantes da urbanização.

b) Quanto ao uso do solo:

Na Constituição Federal, artigo 30, é definido que o controle do uso do solo é competência municipal. Porém, os Estados e a União podem estabelecer normas para o disciplinamento do uso do solo visando a proteção ambiental, controle da poluição, saúde pública e da segurança. Desta forma, observa-se que no caso da drenagem urbana que envolve o meio ambiente e o controle da poluição, a matéria é de competência concorrente entre Município, Estado e Federação. A tendência é dos municípios introduzirem diretrizes de macrozoneamento urbano nos Planos Diretores Urbanos, incentivados pelos Estados.

Observa-se que no zoneamento relativo ao uso do solo, não tem sido contemplado pelos municípios os aspectos de águas urbanas como esgotamento sanitário, resíduo sólido, drenagem e inundações. O que tem sido observado são legislações restritivas quanto à proteção de mananciais e ocupação de áreas ambientais. Cabe ressaltar que a legislação muito restritiva somente produz reações negativas e desobediência. Portanto, não atingem os objetivos de controle ambiental. Isto ocorre na forma de invasão das áreas, loteamentos irregulares, entre outros.

Ao introduzir restrições do uso do solo, é necessário que a legislação dê alternativa econômica ao proprietário da terra, ou então o município deve comprar a propriedade. Para Collischonn (2001), em uma sociedade democrática o impedimento do uso do espaço privado para o bem público deve ser compensado pelo público beneficiado, caso contrário torna-se um confisco. Atualmente as leis de uso do solo se apropriam do território privado e ainda exigem o pagamento de impostos pelo proprietário que não possui alternativa econômica. A consequência imediata, na maioria das situações, é a desobediência da lei.

c) Quanto ao gerenciamento de bacias urbanas compartilhadas:

Grande parte das cidades possuem bacia hidrográfica comum com outros municípios. Geralmente um município está à montante de outro, ou o rio divide os municípios. No controle institucional da drenagem que envolve mais de um município, o gerenciamento pode ser realizado através de legislação municipal adequada para cada município e de legislação estadual que estabeleça os padrões a serem mantidos nos municípios, de tal forma a não serem transferidos os impactos. Provavelmente o segundo procedimento deverá ocorrer a longo prazo. A curto prazo é mais viável a primeira opção, até que o Comitê da Bacia e os Planos Estaduais desenvolvam a regulamentação setorial. Portanto, quando forem desenvolvidos os Planos das bacias que envolvam mais de um município, deve-se buscar acordar ações conjuntas para se obter o planejamento de toda a bacia hidrográfica.

2.5.3 Medidas de Controle

Segundo Tucci (2001), as medidas para o controle da inundação podem ser classificadas como estrutural e não-estrutural. As medidas *estruturais* são aquelas que modificam o sistema fluvial, evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as medidas *não-estruturais* são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes. É ingenuidade do ser humano imaginar que poderá controlar totalmente as inundações, pois as medidas sempre visam minimizar as suas conseqüências. O controle da inundação é obtido por um conjunto de medidas estruturais e não-estruturais, permitindo à população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio. As ações incluem medidas de engenharia e de cunho social, econômico e administrativo. A pesquisa para a melhor combinação dessas ações constitui o planejamento da proteção contra a inundação e de seus efeitos.

Conforme Cormier (2006), na região do Noroeste Pacífico, principalmente nos estados de Washington e Oregon e na província de British Columbia, no Canadá, os profissionais arquitetos e urbanistas têm aprendido, através da natureza, a desenvolver espaços livres que sirvam às necessidades da infra-estrutura urbana de drenagem. Tipologias de paisagem, como jardins de chuva, biovaletas e grades verdes, fazem parte de uma abordagem ecológica de manejo das águas pluviais. Denominada “infra-estrutura verde”, essa estrutura pode ser integrada em quase todas as paisagens urbanas, porém precisa ser conectada às pessoas para expandir a sua atração e acelerar a sua aplicação numa dimensão que terá um impacto significativo na saúde ambiental (Figura 29). Segundo

este autor, arquitetos paisagistas são distintamente qualificados a fazer com que a infra-estrutura verde seja significativa para as pessoas, e a infra-estrutura verde, em troca, tem o potencial de aumentar a relevância de arquitetura da paisagem em ambientes urbanos.



Figura 29: Exemplo de área de contenção de cheias utilizada para o lazer da população (Cormier, 2006)

2.5.3.1 Medidas Estruturais

São obras de engenharia implementadas para reduzir o risco de enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. As medidas intensivas são aquelas que agem no rio e podem ser de três tipos (SIMONS, 1977): (a) aceleram o escoamento, como a construção de diques e polders, aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros; (b) retardam o escoamento, como os reservatórios e as bacias de amortecimento; (c) desviam do escoamento, as obras como canais de desvios.

Na Tabela 3 estão resumidas as principais características das medidas Estruturais, com a síntese das vantagens e desvantagens de sua utilização, com destaque para o caso de falha de funcionamento dos diques como situação verificada em Pelotas que será apresentado no Capítulo 4 - Estudo de Caso. Algumas dessas medidas são descritas sucintamente a seguir.

1. Controle da cobertura vegetal: A cobertura vegetal interfere no processo precipitação-vazão, reduzindo as vazões máximas, devido ao amortecimento do

escoamento, como foi demonstrado no Item 2.1.1 - Ciclo hidrológico. Além disso, reduz a erosão do solo que pode aumentar, gradualmente, o nível dos rios e agravar as inundações. O reflorestamento de bacias envolve um custo significativo, o que torna esta medida freqüentemente inviável;

2. Controle da erosão do solo: O aumento da erosão implica na redução da área de escoamento dos rios e conseqüente aumento de níveis. O controle da erosão do solo pode ser realizado pelo reflorestamento, pequenos reservatórios, estabilização das margens e utilização de práticas agrícolas corretas;

Tabela 3: Medidas estruturais (Adaptado de Simons, 1977)

Medida	Vantagem	Desvantagem	Aplicação
<i>Medidas extensivas:</i>			
Cobertura vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda	Reduz assoreamento	Idem ao anterior	Pequenas bacias
<i>Medidas intensivas:</i>			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios
<i>Melhoria do canal</i>			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
<i>Reservatório:</i>			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com mínimo de pedras	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
<i>Mudança de canal:</i>			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes Bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Idem ao anterior	Bacias médias e grandes

3. Reservatórios: O reservatório retém parte do volume da enchente, reduzindo a vazão natural, procurando manter no rio uma vazão inferior àquela que provocava extravasamento do leito. O volume retido no período de vazões altas é escoado após a redução da vazão natural (Figura 30). O reservatório pode ser utilizado quando existe relevo conveniente à montante da área atingida, mas exige altos custos de construção e desapropriações de terrenos.

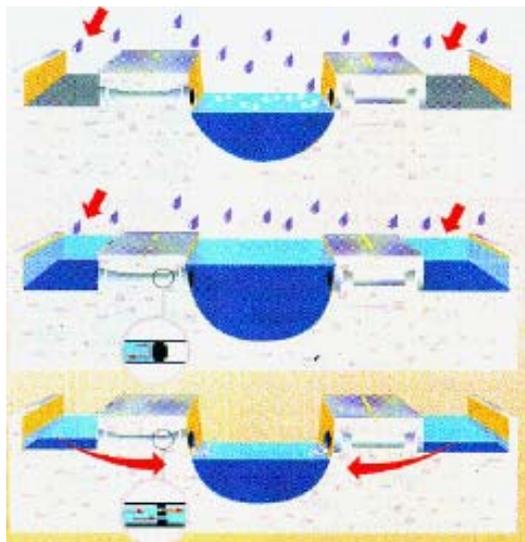


Figura 30: Esquema de funcionamento dos reservatórios de retenção (Adaptado de Tucci, 2001)

4. Barragens: As barragens existentes na América do Sul geralmente foram projetadas para as finalidades de produção de energia, abastecimento de água, irrigação e navegação. São raros os empreendimentos voltados apenas para o controle de enchentes na região. A bacia do rio Itajaí-Açu em Santa Catarina é um dos poucos exemplos de bacia de médio porte (cerca de 2.000 km²) onde existem três barragens construídas com o único objetivo de controle de enchentes. Na barragem para controle de inundação, o reservatório de controle de enchentes funciona retendo o volume do hidrograma durante as enchentes, reduzindo o pico e o impacto à jusante do barramento.

5. Diques ou polders: São muros laterais de terra ou concreto, inclinados ou retos, construídos a uma certa distância das margens, que protegem as áreas ribeirinhas contra o extravasamento. Os efeitos de redução da largura do escoamento, confinando o fluxo, são o aumento do nível de água na seção para a mesma vazão, aumento da velocidade e erosão das margens e da seção, e redução do tempo de viagem da onda de cheia, agravando a situação de outras seções a jusante. O maior risco existente na construção de um dique é a definição correta da enchente máxima provável, pois existirá sempre um risco de colapso, quando os danos serão piores se o mesmo não existisse, como verificaremos no Capítulo 4 - Estudo de Caso em Pelotas/RS. O dique permite proteção localizada para uma região ribeirinha. Deve-se evitar diques de grandes alturas, pois existe sempre o risco de rompimento para uma enchente maior do que a de projeto.

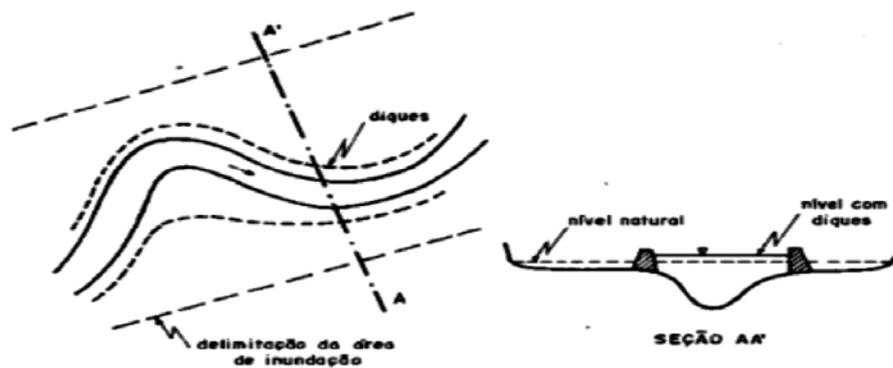


Figura 31: Impacto da construção de dique (Tucci e Bertoni, 2003)

Hidraulicamente o dique reduz a seção de escoamento e pode provocar aumento da velocidade e dos níveis de inundação (figura 31). Para que isso não ocorra, as condições de fluxo não devem-se alterar após a construção do dique. Os diques normalmente são construídos de terra com enrocamento e de concreto, dependendo das condições locais (Figura 32).



Figura 32: Exemplo de dique em São José dos Pinhais/SP (Silveira, 1998)

Na construção de diques para a proteção de áreas agrícolas, o risco de colapso adotado pode ser mais alto que em áreas urbanas, sempre que os danos potenciais sejam somente econômicos. Quando o colapso pode produzir danos humanos o risco deve ser menor e a obra complementada por um sistema de previsão e alerta em tempo atual. Tanto em bacias rurais como urbanas é necessário planejar o bombeamento das áreas laterais contribuintes ao dique, caso contrário, chuvas sobre estas bacias laterais ficam represadas

pela maior cota do rio principal ou acumuladas no seu interior, se não existirem drenos com comportas (figura 33).

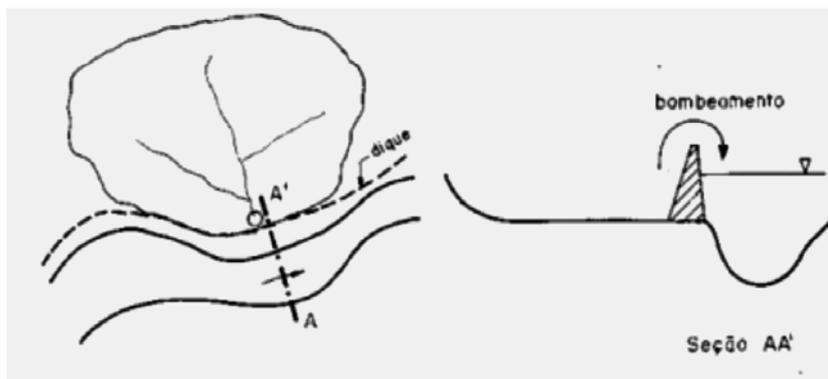


Figura 33.: Dique - Drenagem da bacia lateral (Tucci et al, 2003)

Como exemplo de medida estrutural, a Figura 34 mostra o esquema de funcionamento das obras do Sistema de Proteção contra Enchentes de Pelotas/RS (ROTARY, 2001). O sistema possui como características: i) diques de proteção, com custo elevado em obras de engenharia (as décadas de 1950/60 em Pelotas caracterizam-se pela realização de obras corretivas na drenagem); ii) dependência do funcionamento do sistema para evitar o risco de transbordamentos; iii) consumo energético das bombas.

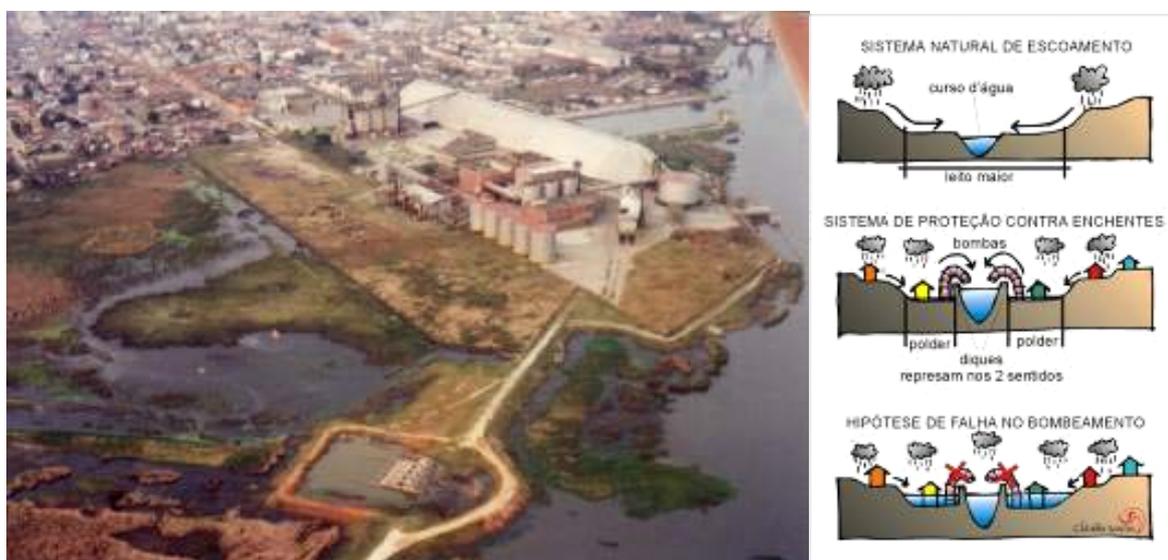


Figura 34: Dique de proteção contra inundações, na zona portuária de Pelotas/RS e esquema ilustrando a situação de falha (Elaborado pelo Autor)

Apesar dos altos custos de implementação e despesas com manutenção e consumo de energia, este sistema já falhou nas enchentes em 1984 e 2004, represando as águas nas

áreas que deveriam estar protegidas. Neste caso, demonstrou a fragilidade que as medidas estruturais podem apresentar, e por este motivo normalmente deixam de ser modelo de sustentabilidade a ser seguido.

6. Modificações do rio: As modificações na morfologia do rio visam aumentar a vazão para um mesmo nível, reduzindo a sua frequência de ocorrência. Isto pode ser obtido pelo aumento da seção transversal ou pelo aumento da velocidade. Para aumentar a velocidade é necessário reduzir a rugosidade, tirando obstruções ao escoamento, dragando o rio, aumentando a declividade pelo corte de meandros ou aprofundando o rio. Essas medidas, em geral, apresentam custos elevados. Aprofundando o canal, a linha de água é rebaixada evitando inundação, mas as obras poderão envolver um trecho muito extenso para ser efetiva, o que aumenta o custo. A ampliação da seção produz redução da declividade da linha de água e redução de níveis para montante. Estas obras devem ser examinadas quanto à alteração que podem provocar na energia do rio e na estabilidade do leito. Os trechos de montante e jusante das obras podem sofrer sedimentação ou erosão de acordo com a alteração produzida.

2.5.3.2 Medidas não-estruturais

As medidas estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa. Isto exigiria a proteção contra a maior cheia possível. Esta proteção é fisicamente e economicamente inviável, na maioria das situações. A medida estrutural pode criar uma falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, que futuramente podem resultar em danos significativos. As medidas não-estruturais, em conjunto com as estruturais, ou sem essas, podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. O custo de proteção de uma área inundável por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não-estruturais. Em Denver nos Estados Unidos, em 1972, o custo de proteção por medidas estruturais de 1/4 da área era equivalente ao de medidas não-estruturais para proteger os restantes 3/4 da área inundável (PORTO et al, 1993). As medidas não-estruturais de inundação podem ser agrupadas em: i) construções à prova de enchentes; ii) seguro de enchente; iii) previsão e alerta de inundação; iv) zoneamento de áreas de inundação através de regulamentação do uso do solo.

Johnson (1991) identificou outras diferentes medidas não-estruturais que podem ser inseridas nesta classificação, como instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das edificações, elevação das construções existentes, construção de novas

estruturas sob pilotis, construção de pequenas paredes ou diques circundando a edificação, relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro da estrutura existente, relocação de construções para fora da área de inundação, uso de material resistente à água, regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento, regulamentação de subdivisão e código de construção, compra de áreas de inundação, seguro de inundação, instalação de serviço de previsão e de alerta de enchente com plano de evacuação, adoção de incentivos fiscais para um uso prudente da área de inundação, instalação de avisos de alerta na área e adoção de políticas de desenvolvimento. A seguir é feita a descrição das medidas não-estruturais mais utilizadas.

1. Construção à prova de enchente: É definida como o conjunto de medidas projetadas para reduzir as perdas de prédios localizados nas várzeas de inundação durante a ocorrência das cheias.

2. Seguro: Permite aos indivíduos ou empresas a obtenção de uma proteção econômica para as perdas decorrentes dos eventos de inundação.

3. Previsão e alerta: É um sistema composto de aquisição de dados em tempo real, transmissão de informação para um centro de análise, previsão em tempo atual com modelo matemático, e Plano de Defesa Civil que envolve todas as ações individuais ou de comunidade para reduzir as perdas durante as enchentes. A combinação destas medidas permite reduzir os impactos das cheias e melhorar o planejamento da ocupação da várzea. Como o Zoneamento de Inundação pressupõe a ocupação com risco, torna-se necessário que exista um sistema de alerta para avisar a população sobre os riscos durante a enchente. O seguro e a proteção individual contra enchente são medidas complementares, necessárias para minimizar impactos sobre a economia da população.

4. Zoneamento de áreas de inundação : Trata da regulamentação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis. Portanto, envolve definição da ocupação das áreas de risco na várzea. No seu desenvolvimento, é necessário estabelecer o risco de inundação das diferentes cotas das áreas ribeirinhas. Nas áreas de maior risco não é permitida a habitação, e podem ser utilizadas para recreação, desde que o investimento seja baixo e não se danifique, como parques e campos de esportes. Para níveis com menores riscos são permitidas construções com precauções especiais. Além disso, são efetuadas recomendações quanto aos sistemas de esgoto cloacal, pluvial e viário. Esta regulamentação deve ficar contida no Plano Diretor do município (Figura 35).

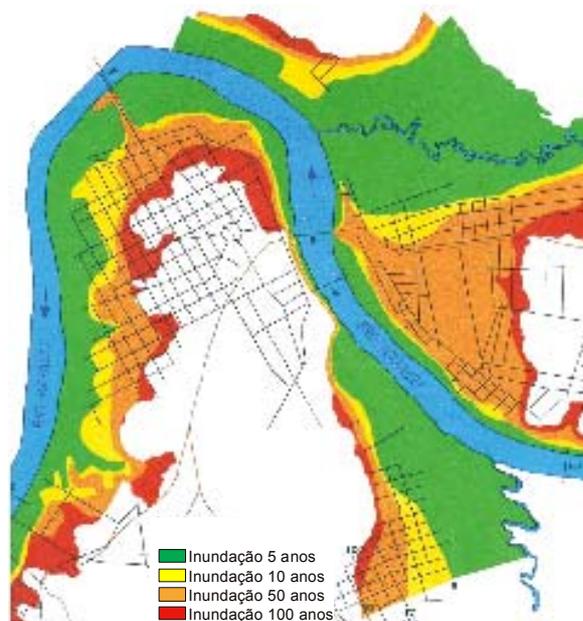


Figura 35: Áreas com risco de inundação de União da Vitória/PR (Silveira, 1998)

a) Condições técnicas do zoneamento : O risco de ocorrência de inundação varia com a respectiva cota da várzea. As áreas mais baixas obviamente estão sujeitas à maior frequência de ocorrência de cheias. A delimitação das áreas do zoneamento depende das cotas altimétricas das áreas urbanas. O rio possui normalmente um ou mais leitos, como foi mostrado no Item 2.1.1 - Ciclo Hidrológico. O leito menor corresponde à seção de escoamento em regime de estiagem, ou de níveis médios. O leito maior pode ter diferentes lances, de acordo com a seção transversal considerada e a topografia da várzea inundável. Esse leito o rio costuma ocupar durante as cheias. Quando o tempo de retorno de extravasamento do leito menor é superior a 2 anos, existe a tendência da população em ocupar a várzea nas mais diversas e significativas formas socioeconômicas (Figura 36).

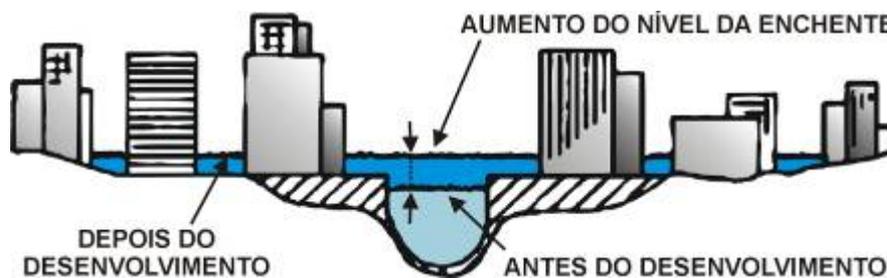


Figura 36. Conseqüências das invasões das várzeas (Adaptado de Tucci, 2002)

Essa ocupação gera, por ocasião das cheias, danos de grandes proporções aos ocupantes dessas áreas e, também, às populações à montante, que são afetadas pelas elevações de níveis decorrentes da obstrução ao escoamento natural causada pelos primeiros ocupantes. A seção de escoamento do rio pode ser dividida em três partes principais para efeito de zoneamento, descritas a seguir conforme mostra a Figura 37.

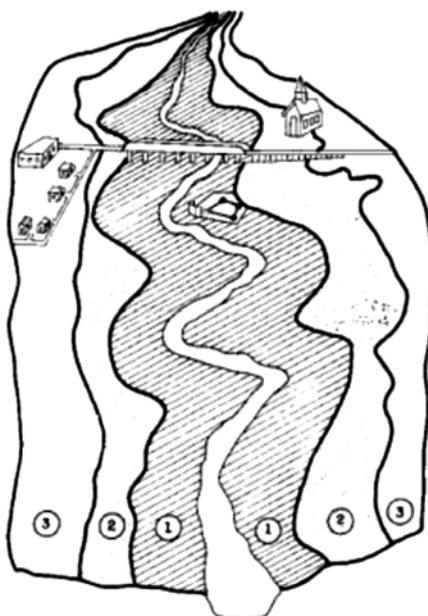


Figura 37. Regulamentação da zona inundável (U.S. Water Resources Council, 1971).

1. Zona de passagem da enchente (faixa 1) - Esta parte da seção deve ficar liberada para funcionar hidráulicamente, evitando gerar aumento de níveis para montante. Qualquer construção nessa área reduzirá a área de escoamento, elevando os níveis a montante desta seção. Portanto, em qualquer planejamento urbano, deve-se procurar manter esta zona desobstruída.

2. Zona com restrições (faixa 2) - Esta é a área restante da superfície inundável que deve ser regulamentada. Esta zona fica inundada mas, devido às pequenas profundidades e baixas velocidades, não contribuem muito para a drenagem da enchente. Esta zona pode ser subdividida em subáreas, mas essencialmente os seus usos podem ser:

i) parques e atividades recreativas ou esportivas cuja manutenção, após cada cheia, seja simples e de baixo custo. Normalmente uma simples limpeza a reporá em condições de utilização, em curto espaço de tempo;

ii) uso agrícola;

iii) habitação com mais de um piso, onde o piso superior ficará situado, no mínimo, no nível do limite da enchente e estruturalmente protegida das águas ;

iv) industrial, comercial, como áreas de carregamento, estacionamento, áreas de armazenamento de equipamentos ou maquinaria facilmente removível ou não sujeitos a danos de cheia. Neste caso, não deve ser permitido armazenamento de artigos perecíveis e principalmente tóxicos;

v) serviços básicos: linhas de transmissão, estradas e pontes, desde que corretamente projetados.

3. Zona de baixo risco (faixa 3) - Esta zona possui pequena probabilidade de ocorrência de inundações, sendo atingida em anos excepcionais por pequenas lâminas de água e baixas velocidades. A definição dessa área é útil para informar a população sobre a grandeza do risco a que está sujeita. Esta área não necessita regulamentação, quanto às cheias. Nesta área, delimitada por cheia de baixa frequência, pode-se dispensar medidas individuais de proteção para as habitações, mas deve-se orientar a população para a eventual possibilidade de enchente e dos meios de proteger-se das perdas decorrentes, recomendando o uso de obras com, pelo menos, dois pisos, onde o segundo pode ser usado nos períodos críticos.

2.5.4 Medidas de controle e escalas de intervenção

Segundo Silveira et al (2000), as medidas de controle do escoamento podem ser classificadas, de acordo com sua ação na bacia hidrográfica, em:

a) na fonte ou distribuído: é o tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios;

b) na microdrenagem: é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos;

c) na macrodrenagem: é o controle sobre os principais riachos urbanos.

As medidas de controle podem ser organizadas de acordo com a sua ação sobre o hidrograma, em cada uma das partes das bacias, em:

1. Infiltração e percolação: normalmente, cria espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial;

2. Armazenamento: através de reservatórios, que podem ser de tamanho adequado para uso residencial (1 a 3m³) ou também porte para a macrodrenagem urbana (alguns milhares de m³); o efeito do reservatório urbano é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo (Figura 38);

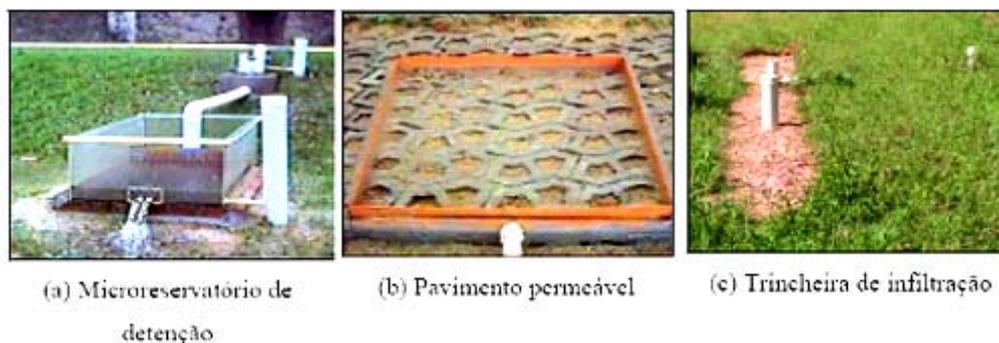


Figura 38: Exemplos de reservatórios de armazenamento e infiltração (IPH, 2000)

2.5.4.1 Medidas de controle na fonte ou distribuído

As principais medidas de controle localizado no lote, estacionamento, parques e passeios são denominadas, normalmente, de controle na fonte. As principais características do controle local do escoamento são as seguintes (URBONAS E STAHRÉ, 1993):

- a) aumento da eficiência do sistema de drenagem à jusante dos locais controlados;
- b) aumento da capacidade de controle de enchentes de cada sistema;
- c) dificuldade de controlar, projetar e fazer manutenção de um grande número de sistemas;
- d) o custo de operação e manutenção pode ser alto.

Esse sistema tem sido adotado em muitos países através de legislação apropriada, ou como programa global de controle de enchentes. As medidas mais utilizadas são o aumento de áreas de infiltração e percolação, e o armazenamento temporário em reservatórios residenciais ou telhados, como será apresentado a seguir. Instalações comerciais, industriais e esportivas que impermeabilizam o solo numa proporção significativa devem ser responsabilizadas pela distribuição de volume, evitando que aumente a vazão máxima a jusante. Caso contrário, reduz-se a capacidade dos condutos de transportar as águas, provocando inundação. Em geral, o agente causador do acréscimo da vazão fica a montante do local de sua consequência. Sendo assim, se não houver regulamentação e educação sobre o assunto, os impactos se multiplicarão, como já acontece em grande parte das cidades brasileiras.

1. Infiltração e percolação

Para reduzir os custos e minimizar os impactos a jusante provocados pela impermeabilização excessiva do solo nos ambientes urbanos, uma das ações é a de permitir maior infiltração da precipitação, criando condições mais próximas possíveis das condições naturais anteriores à urbanização.

A infiltração é o processo de transferência do fluxo da superfície para o interior do solo. Conforme Urbonas e Stahre (1993), as vantagens dos dispositivos que permitem maior infiltração e percolação são: aumento da recarga do aquífero, redução de ocupação em áreas com lençol freático baixo, preservação da vegetação natural, redução da poluição transportada para os rios, redução das vazões máximas à jusante e redução do tamanho dos condutos. Como desvantagens, os solos de algumas áreas podem se tornar saturados, os sistemas exigem manutenção e ocorre aumento do nível do lençol freático atingindo construções no subsolo.

A capacidade de infiltração depende das características do solo e do estado de umidade da camada superior do solo, denominada também de zona não-saturada. A velocidade do fluxo de água através da camada não-saturada do solo até o lençol freático (zona saturada) é denominada de percolação. A percolação também depende do estado de umidade da camada superior do solo e do tipo de solo. Determinados tipos de solos apresentam maiores dificuldades de percolação e pequeno volume de armazenamento, o que inviabiliza seu uso, já que poderão manter níveis de água altos por muito tempo na superfície e ter pouco efeito na redução do volume final do hidrograma.

Os principais dispositivos para criar maior infiltração são apresentados a seguir:

a) Planos de infiltração: Em geral, essas áreas são gramados que recebem a precipitação de uma área permeável, como residência ou edifícios (Figura 39);



Figura 39: Plano de infiltração no interior do lote. (Cormier, 2006)

Durante precipitações intensas, essas áreas podem ficar submersas se a sua capacidade for muito inferior à intensidade da precipitação. Caso a drenagem transporte muito material fino, a capacidade de infiltração pode ser reduzida, necessitando limpeza do plano para manter sua capacidade de funcionamento.

b) Valos de infiltração: Esses são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizados paralelos às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais, entre outros (Figura 40). Esses valos concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento.



Figura 40: Planos de infiltração com valo de infiltração (IPH, 2000)

Após uma precipitação intensa, o nível sobe e, como a infiltração é mais lenta, mantém-se com água durante algum tempo. Portanto, o seu volume deve ser o suficiente para não ocorrer transbordamento (Figura 41).



Figura 41: Dois tipos de valos de infiltração em bairro residencial em Bordeaux-França (IPH, 2000)

Esse dispositivo funciona como um reservatório de detenção, à medida que a drenagem que escoar para o valo é superior à capacidade de infiltração. Nos períodos com

pouca precipitação ou de estiagem, ele é mantido seco. Esse dispositivo permite, também, a redução da quantidade de poluição transportada a jusante (Figura 42).



Figura 42: Valos de infiltração com elementos para barrar poluição com resíduos (IPH, 2000)

c) Bacias de percolação: Dispositivos de percolação dentro de lotes também permitem aumentar a recarga e reduzir o escoamento superficial. O armazenamento é realizado na camada superior do solo e depende da porosidade e da percolação (Figura 43). Portanto, o lençol freático deve ser baixo, criando espaço para armazenamento. Para áreas de lençol freático alto, esse tipo de dispositivo não é recomendado. As bacias são construídas para recolher a água do telhado e criar condições de escoamento através do solo.



Figura 43: Jardim de chuva com pátio permeável (Cormier, 2006)

d) Dispositivos hidráulicos permeáveis: Existem diferentes tipos de dispositivos que drenam o escoamento e podem ser construídos de forma a permitir a infiltração. Alguns desses dispositivos são entradas permeáveis na rede de drenagem, trincheiras ou valas

permeáveis e meio-fio permeável; o dispositivo do meio-fio é utilizado fora do lote ou dentro de condomínios, indústrias ou áreas comerciais. (Figura 44)



Figura 44: Meio-fio permeável (acima) e canteiros permeáveis nos passeios (Cormier, 2006)

e) Pavimentos permeáveis: o pavimento permeável pode ser utilizado em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego. Em ruas de grande tráfego, esse pavimento pode ser deformado e entupido, tornando-se impermeável (Figura 45).



Figura 45: Passeios permeáveis com tratamento paisagístico (Cormier, 2006)

Como principais limitações destes dispositivos, haverá impacto sobre o lençol freático e o escoamento subterrâneo quando a água drenada for contaminada, e o entupimento dos dispositivos pela falta de controle na construção e manutenção torna-os ineficientes. Araújo et al (2001) realizaram experimentos com diferentes superfícies. Os resultados dos experimentos são apresentados na Tabela 4, onde se observa que os paralelepípedos absorvem parte da precipitação para uma intensidade muito alta e os pavimentos permeáveis praticamente não geram escoamento.

Tabela 4: Coeficiente de escoamento para simulação de chuva em diferentes superfícies para uma intensidade de 110 mm/h (Araújo et al, 2001)

Superfície	C
Solo compactado	0,66
Concreto	0,95
Bloco de concreto	0,78
Paralelepípedo	0,60
Bloco vazado	0,03
Concreto permeável	0,03

Deve-se considerar que o experimento foi realizado com simulador de chuva numa superfície de 1 m², onde o efeito de armazenamento na superfície e no reservatório dos pavimentos permeáveis tem mais efeito. O custo do pavimento permeável pode ser da ordem de 30% maior que o pavimento comum, devido à preparação da base necessária à sua implantação.

2. Armazenamento

O armazenamento pode ser efetuado em telhados, em pequenos reservatórios residenciais, em estacionamentos, em áreas esportivas, entre outros.

a) Telhados: o armazenamento em telhados apresenta algumas dificuldades que são a manutenção e o reforço das estruturas. Devido às características de clima brasileiro e o tipo de material usualmente utilizado nas coberturas, esse tipo de controle se torna mais difícil de ser aplicável à nossa realidade (Figura 46);



Figura 46: Coberturas permeáveis com retenção de águas no lote (Cormier, 2006)

b) Lotes urbanos: o armazenamento no lote pode ser utilizado para amortecer o escoamento, em conjunto com outros usos, como abastecimento de água, irrigação de grama e lavagem de superfícies ou de automóveis. Na figura 47, é apresentado um esquema de reservatório desse tipo.

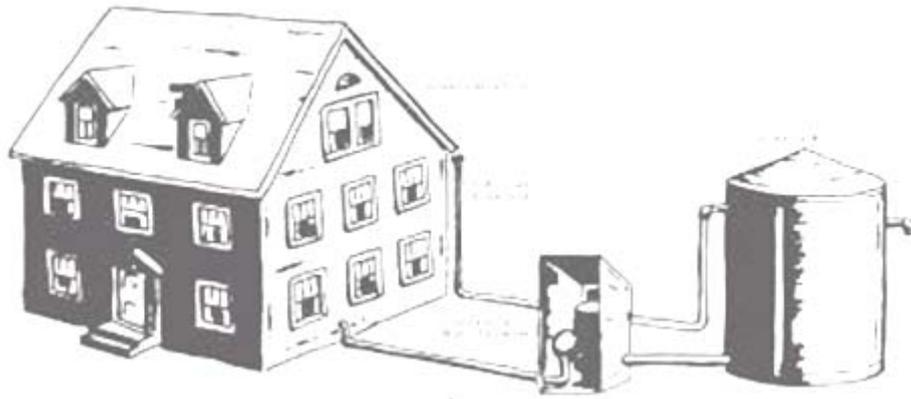


Figura 47: Esquema de reservatório de lote (Cormier, 2006)

Em regiões com pequena capacidade de distribuição de água, a precipitação nos telhados é escoada diretamente para um poço subterrâneo e, depois, clorada para uso doméstico. Porém, deve-se evitar este uso em área muito urbanizada, devido ao risco de materiais poluentes na atmosfera.

A água recolhida em telhados de centros esportivos pode ser coletada diretamente para uso de limpeza (Figura 48). Considerando-se uma superfície de 120m², com uma precipitação anual de 1500mm, é possível obter-se 360m³ por ano que, distribuídos, representam cerca de 15m³ por mês, o suficiente para abastecer uma residência. Evidentemente que, à medida em que o reservatório é mantido com água, reduz-se sua capacidade de amortecimento (TUCCI, 2002).



Figura 48: Reservatórios para armazenamento e utilização das águas (Cormier, 2006)

2.5.4.2 Medidas de controle no loteamento

Conforme Silveira (2001), os elementos principais da micro-drenagem são os meio-fios, as sarjetas, as bocas-de-lobo, os poços de visita, as galerias, os condutos forçados, as estações de bombeamento e os sarjetões. Suas características são:

- a) Meio-fio: são constituídos de blocos de concreto ou de pedra, situados entre a via pública e o passeio, com sua face superior nivelada com o passeio, formando uma faixa paralela ao eixo da via pública;
- b) Sarjeta: são as faixas formadas pelo limite da via pública com os meio-fios, formando uma calha que coleta as águas pluviais oriundas da rua;
- c) Bocas-de-lobo: são dispositivos de captação das águas das sarjetas;
- d) Poços de visita: são dispositivos colocados em pontos convenientes do sistema, para permitir sua manutenção;

e) Galerias: são as canalizações públicas destinadas a escoar as águas pluviais oriundas das ligações privadas e das bocas-de-lobo.

f) Conduitos forçados e estações de bombeamento: quando não há condições de escoamento por gravidade para a retirada da água de um canal de drenagem para um outro, recorre-se aos conduitos forçados e às estações de bombeamento.

g) Sarjetões: são formados pela própria pavimentação nos cruzamentos das vias públicas, formando calhas que servem para orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.

Através de seus componentes, a medida de controle de escoamento na microdrenagem tradicionalmente utilizada consiste em drenar a área desenvolvida através de conduitos pluviais até um coletor principal ou riacho urbano. Esse tipo de solução acaba transferindo para jusante o aumento do escoamento superficial com maior velocidade, já que o tempo de deslocamento do escoamento é menor que nas condições preexistentes. Dessa forma, acaba provocando inundações na macrodrenagem. Como a impermeabilização e a canalização produzem aumento na vazão máxima e no escoamento superficial, para que esse acréscimo de vazão máxima não seja transferido à jusante, utiliza-se o amortecimento do volume gerado, através de dispositivos como tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos ou enterrados. Essas medidas são denominadas de controle à jusante. O objetivo das bacias ou reservatórios de retenção é minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica (Figura 49).



Figura 49: Área de parque com tratamento paisagístico na França destinada à retenção das águas pluviais (Campana, 1995)

Esse controle tem sido utilizado quando existem restrições por parte da administração municipal ao aumento da vazão máxima devido ao desenvolvimento urbano, e assim, já foi implantado em muitas cidades de diferentes países. O critério normalmente utilizado é que a vazão máxima da área, com o desenvolvimento urbano, deve ser menor ou igual à vazão máxima das condições pré-existentes para um tempo de retorno escolhido.

Os reservatórios de retenção são utilizados de acordo com o objetivo do controle desejado. Esse dispositivo pode ser utilizado para:

a) Controle da vazão máxima: Este é o caso típico de controle dos efeitos de inundação sobre áreas urbanas. O reservatório é utilizado para amortecer o pico a jusante, reduzindo a seção hidráulica dos condutos e mantendo as condições de vazão preexistentes na área desenvolvida. (Figura 50)



Figura 50: Área destinada à retenção das águas pluviais com uso de lazer (Cormier, 2006)

b) Controle do volume: Normalmente, esse tipo de controle é utilizado quando o escoamento cloacal e pluvial são transportados por condutos combinados ou quando recebe a água de uma área sujeita a contaminação. Como a capacidade de uma estação de tratamento é limitada, é necessário armazenar o volume para que possa ser tratado. O reservatório também é utilizado para a deposição de sedimentos e depuração da qualidade da água, mantendo seu volume por mais tempo dentro do reservatório. O *tempo de retenção* é um dos indicadores utilizados para avaliar a capacidade de depuração do reservatório (Figura 51).



Figura 51: Área destinada à detenção das águas pluviais com tratamento de parque urbano (Cormier, 2006)

c) Controle de material sólido: quando a quantidade de sedimentos produzida é significativa, esse tipo de dispositivo pode reter parte dos sedimentos para que sejam retirados do sistema de drenagem. (Figura 52)



Figura 52: Área de detenção com barreira para resíduos sólidos (Campana et al, 2001)

Esses reservatórios podem ser dimensionados para manterem uma lâmina permanente de água (retenção), ou secarem após o seu uso, durante uma chuva intensa para serem utilizados em outras finalidades (detenção). A vantagem da manutenção da lâmina e do conseqüente volume de água é que não haverá crescimento de vegetação indesejável no fundo, sendo o reservatório mais eficiente para controle da qualidade da água. O seu uso integrado, junto a parques, pode permitir um bom ambiente recreacional com apropriado tratamento paisagístico da área (Figura 53).



Figura 53: Bacias de retenção em São Paulo/SP (Campana et al, 2001)

A vantagem de utilização desse dispositivo seco é que pode ser utilizado para outras finalidades. Uma prática comum consiste em dimensionar uma área com lâmina de água para escoar uma cheia freqüente, como a de 2 anos, e planejar a área de extravasamento com paisagismo e campos de esporte para as cheias acima da cota referente ao risco mencionado (Figura 54).



Figura 54: Reservatório de retenção usado para prática de esportes em Porto Alegre/RS (Tucci, 2001)

Após a cheia ocorrer, será necessário realizar apenas a limpeza da área atingida, sem maiores danos à montante ou à jusante. Os reservatórios ou bacias de retenção mantidas secas são os mais utilizados nos Estados Unidos, Canadá e Austrália. São

projetados, principalmente, para controle da vazão, com esvaziamento de até 6 horas e com pouco efeito sobre a remoção de poluentes. Aumentando-se a detenção para 24 a 60 horas, poderá haver melhora na remoção de poluentes (URBONAS E STAHR, 1993). Esse tipo de dispositivo retém uma parte importante do material sólido. Os reservatórios em concreto são mais caros, mas permitem paredes verticais, com aumento de volume. Isso é útil onde o espaço ocupado tem um custo alto (Figura 55).



Figura 55: Reservatório de concreto para detenção em São Paulo/SP (Campana et al, 2001)

ASCE (1992) menciona que as instalações de detenção que tiveram maior sucesso foram as que se integraram a outros usos, como a recreação, já que a comunidade, no seu cotidiano, usará esse espaço de lazer. Portanto, é desejável que o projeto desse sistema esteja integrado ao planejamento do uso da área, adequando assim ao conceito das conexões da “infraestrutura verde” defendido por Cormier (2006): “Uma das conexões é a do encontro. As pessoas gostam de passar tempo ao ar livre, ao redor das plantas, da água, e da terra. Os projetos de infraestrutura verde não deveriam ser isolados ou separados de outras atividades. Eles precisam fazer parte integral da paisagem social e recreacional para que as pessoas possam apreciá-los confortavelmente como paisagens atraentes.”

2.5.4.3 Medidas de controle na macrodrenagem

O controle de vazões na macrodrenagem urbana pode ser realizado por medidas estruturais ou não-estruturais. As principais medidas estruturais na macrodrenagem são: canalização, reservatório de amortecimento e diques em combinação com polders. As medidas não-estruturais envolvem o zoneamento de áreas de inundações, através da

regulamentação do uso do solo com risco de inundação, ocupação com áreas de lazer, seguros contra inundações e previsão em tempo atual. O controle do impacto do aumento do escoamento devido à urbanização na macrodrenagem, tem sido realizado na realidade brasileira, através da canalização (URBONAS E ROESNER, 1993). O canal é dimensionado para escoar uma vazão de projeto para tempos de retorno entre 25 e 100 anos (Figura 56).

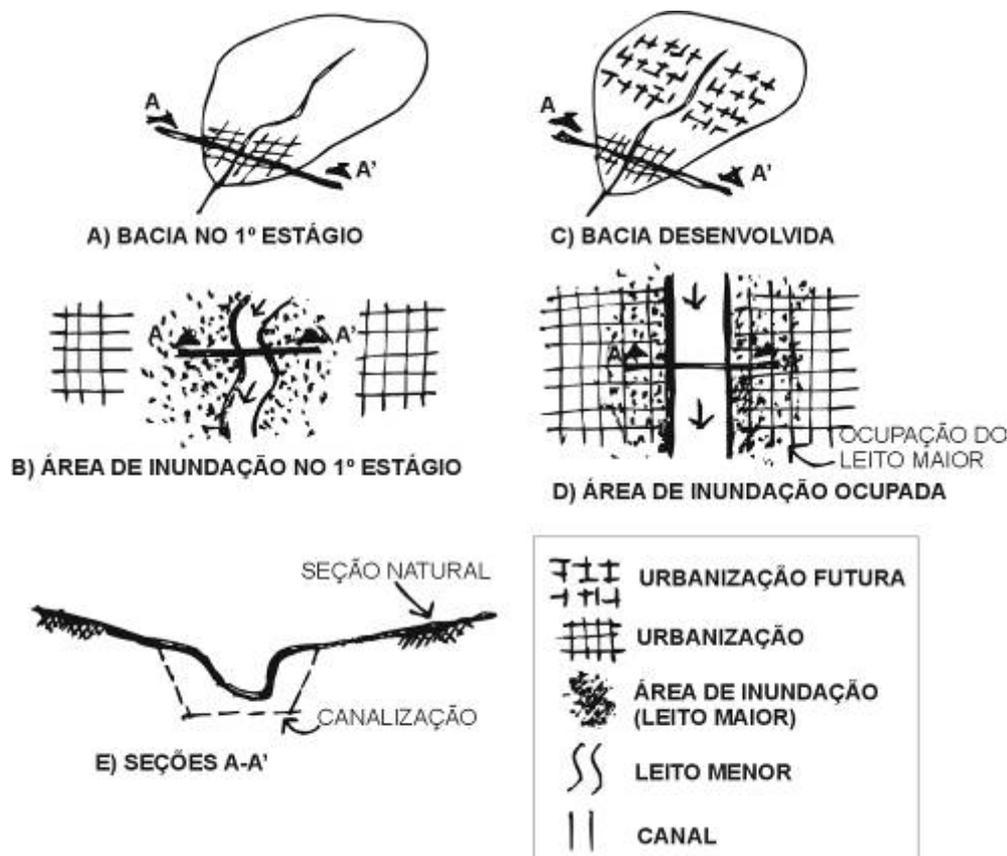


Figura 56: A ocupação da bacia hidrográfica e suas conseqüências (Modificado de Urbonas e Roesner, 1993)

No primeiro estágio a bacia não está totalmente urbanizada, e as inundações ocorrem no trecho urbanizado, onde algumas áreas não estão ocupadas, porque inundam com freqüência. Com a canalização desse trecho, as inundações deixam de ocorrer. Nas áreas que, antes, eram o leito maior do rio e sofriam freqüentes inundações, existiam *favelas*, ou eram desocupadas. Essas áreas tornam-se valorizadas, pela suposta segurança do controle de enchentes. O loteamento dessas áreas leva à uma ocupação nobre de alto investimento.

Com o desenvolvimento da bacia de montante e o respectivo aumento da vazão máxima, que não é controlada pelo poder público, voltam a ocorrer inundações no antigo leito maior. Nessa etapa, não existe mais espaço para ampliar lateralmente o canal, sendo

necessário aprofundá-lo, aumentando os custos em escala quase exponencial, já que é necessário estruturar as paredes do canal. Esses custos podem chegar a valores de US\$50 milhões/km (TUCCI, 2001). Esse processo, encontrado em muitas cidades brasileiras, pode ser evitado através do uso combinado das medidas de controle incorporadas ao planejamento urbano. Para o planejamento de controle da bacia, quando a mesma ainda está no primeiro estágio, pode-se utilizar o seguinte (Figura 57):



Figura 57: Planejamento de controle de bacia no primeiro estágio de urbanização
(Modificado de Urbonas e Roesner, 1993)

- a) regulamentação do uso do solo e ocupação, pelo poder público, das áreas naturalmente inundáveis;
- b) combinar essas áreas para atuarem com as bacias de retenção urbanas;
- c) regulamentar a microdrenagem para não ampliar a enchente natural, tratando cada distrito ou sub-bacia de acordo com sua capacidade e transferência a jusante. Nesse caso, é estudada cada sub-bacia e definido o risco de inundação que cada empreendedor deve manter nas condições naturais;
- d) utilizar parques para amortecer e preservar os hidrogramas entre diferentes sub-bacias ;
- e) prever subsídios de impostos para as áreas de inundações e a troca de solo criado por compra de áreas de inundações, pois nenhuma área desapropriada pelo poder público pode ficar sem implantação de infra-estrutura pública, parque ou área esportiva, caso contrário, será invadida.

Quando a bacia encontra-se num estágio avançado de desenvolvimento, a tendência é que as medidas estruturais predominem, com custos muito altos. No entanto, pode-se minimizar esses custos através do aumento da capacidade de amortecimento na bacia urbana, buscando recuperar, o máximo possível, o amortecimento natural pela exploração de todas as áreas possíveis.

2.5.5 Gestão do risco de inundações

O zoneamento do território, baseado na avaliação da susceptibilidade e do risco, é considerado um instrumento fundamental para a integração dos riscos no planejamento ambiental, distinguindo-se para o planejamento e ordenamento do território o zoneamento de caráter preventivo e o de caráter corretivo. Desta forma, na elaboração de um zoneamento, importa distinguir entre o conceito de susceptibilidade e o conceito de risco. De acordo com Cerri e Amaral (1998), susceptibilidade refere-se à probabilidade de um determinado processo natural afetar uma zona com uma determinada intensidade, independente se afetar a população. O conceito de risco é definido como uma condição potencial de ocorrência de um acidente, ou seja, é uma situação de perigo, perda ou dano, ao ser humano e à suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processos naturais.

Assim, no zoneamento de um território com relação ao risco, há que ter em conta não somente a susceptibilidade das áreas aos processos naturais, mas também a existência de uma população, infraestrutura e atividades, que possam ser atingidas. É portanto, diferente um zoneamento que expresse os diferentes graus de susceptibilidade, indicando atividades preventivas em áreas não ocupadas, de um zoneamento de níveis de risco, onde as ações devem ser de minimização, convivência ou reassentamentos da população.

Nesse sentido, o planejamento e o ordenamento do território deverão ser orientados para a identificação e delimitação das áreas susceptíveis de serem caracterizadas e avaliadas quanto às suas características naturais, de modo a que possam ser utilizadas na distribuição espacial dos aglomerados populacionais, otimizando a utilização e diminuindo o impacto sobre as mesmas. Nesta concepção, as zonas territoriais que estão sujeitas a processos naturais têm, logicamente, uma capacidade menor para uma série de usos (Figura 58).



Figura 58: Situações de risco associado a enchentes com alta energia de escoamento (IPT, 2006)

Em resumo, pode-se definir que um mapa final de susceptibilidade indica áreas não ocupadas que estão sujeitas a diferentes processos naturais, servindo como instrumento preventivo no planejamento e ordenamento da ocupação. Um mapa de risco serve para a definição de planos de ação e prioridades de ajuda que devem ser integradas na política de defesa civil, que sejam exeqüíveis e eficazes.

No entanto, Tucci (2002) destaca a problemática envolvida na gestão das inundações nas cidades brasileiras. Menciona que o gerenciamento atual das inundações urbanas não incentiva a prevenção, já que à medida que ocorre a inundação o município declara calamidade pública e recebe recursos a fundo perdido, sem necessitar realização de concorrência pública para gastar.

Como a maioria das soluções sustentáveis passam por medidas não-estruturais, como o zoneamento de usos que envolvem restrições à população, dificilmente um prefeito buscará este tipo de solução, porque geralmente a população espera por uma obra hidráulica. Enquanto que, para implementar as medidas não-estruturais, ele teria que interferir em interesses de proprietários de áreas de risco, que politicamente é complexo à nível local. Além disso, quando ocorre a inundação ele dispõe de recursos para gastar, sem restrições.

Para buscar modificar este cenário, torna-se necessário um programa à nível estadual voltado à educação da população, além de atuação junto aos bancos que financiam obras em áreas de risco. Portanto, junto às medidas de controle dos riscos, aspectos de ordem administrativa como esta citada, não devem ser desconsideradas, sob pena de ineficácia na implementação dos planos de prevenção às inundações elaborados.

2.5.6 Recomendações para adoção de medidas de controle das inundações

Em reuniões internacionais, sob comando da ONU e da Comunidade Européia, têm-se discutido intensamente as práticas sustentáveis de proteção, mitigação e prevenção de inundações. Dentre elas, destacam-se importantes observações:

Toda prevenção de inundação deve estar baseada no Princípio da Precaução.

Não se deve transferir os problemas de gerenciamento da água de uma região para outra. A estratégia mais adequada consiste em reter a água de chuva, localmente, armazenar o excesso e escoar evitando-se os transbordamentos de calha.

Deve abranger toda a área da bacia hidrográfica e promover o desenvolvimento integrado de ações relacionadas à água, solo e recursos naturais.

A prevenção de enchentes não deve ser limitada a eventos freqüentes, mas deve incluir a ocorrência de chuvas excepcionais ou raras.

Medidas preventivas devem ser realizadas para reduzir efeitos adversos de inundações em ecossistemas aquáticos e terrestres, tais como poluição da água e do solo.

As previsões e os alarmes de inundações são pré-requisitos para uma eficiente prevenção e mitigação dos danos das inundações. A eficácia depende de ações precisas e monitoradas.

A magnitude das enchentes costuma ser influenciada negativamente pelas atuações antrópicas desordenadas na bacia hidrográfica, como o desmatamento, a urbanização descontrolada, a erosão das encostas e a impermeabilização dos solos, havendo uma concentração de vazões nas áreas baixas da bacia, o que favorece os transbordamentos de calha. O impacto da inundação pode aumentar os prejuízos em termos de saúde humana e as perdas econômicas.

Considerando o fato de grande parte das bacias urbanas ainda possuírem áreas livres para ocupação futura, Campana e Tucci (2001) considera oportuno apresentar algumas sugestões específicas para serem tomadas medidas de caráter não-estruturais, tais como:

a) revisão da legislação municipal quanto às taxas de ocupação para as áreas que serão ocupadas pela urbanização;

b) para os novos loteamentos e condomínios a serem aprovados, sugere-se que as áreas de circulação e passeios sejam mais permeáveis, através da adoção de calçamento das ruas com “blokrete” ou pavimentação porosa, bem como o uso de calçadas com trechos em áreas verdes;

c) para os novos grandes empreendimentos, a exemplo dos shoppings, pátios de estacionamento, áreas industriais, quando da aprovação dos projetos, sugere-se a exigência de projeto de sistemas de captação e armazenamento das águas pluviais como forma de retenção do excesso de vazão proporcionado pelo aumento das áreas impermeabilizadas;

d) o estudo de implantação de lagoas de retenção, em pontos estratégicos com dupla função de retenção das águas pluviais nos picos de vazão e utilização ainda como áreas de lazer e prática de esportes nos períodos de ausência das chuvas;

e) implantação de "taxa de impermeabilização" máxima na aprovação dos projetos, e a adoção de medidas de contenção do aumento das vazões nas propriedades, o que tornará possível, efetivamente, controlar os reflexos da urbanização sobre a macrodrenagem.

As ações mitigadoras frente aos problemas das inundações devem estar contidas necessariamente no Plano Diretor Urbano, com base numa legislação calcada nos princípios de sustentabilidade e, conseqüentemente, respaldada por um programa de educação ambiental. Atualmente a ação do Estado tem dado ênfase à adoção apenas de medidas estruturais, buscando tratar apenas os efeitos, ao invés das causas do problema.

As propostas de ordenamento territorial dos perímetros urbanos devem ser conduzidas com base nos conceitos funcionais de bacia hidrográfica, pois as mesmas têm sido eleitas como unidades básicas de planejamento, pelo fato de que a resultante de toda ação antrópica irá refletir na sua própria área de abrangência.

As ações estruturais, quando aprovadas, não devem ter o enfoque de ações imediatistas, devendo ser analisadas de forma a evitar a transferência do problema das inundações para jusante da bacia hidrográfica. A tomada de decisão deverá ser contemplada por uma análise mais ampla, procurando avaliar as características físicas da bacia hidrográfica e principalmente a densificação das áreas urbanas e das futuras áreas a serem urbanizadas.

Segundo Tucci (2001), o melhor projeto de drenagem é o que *mantém as vazões máximas iguais ou menores às das condições naturais*. Estas condições são preservadas através da manutenção de áreas de infiltração naturais ou artificiais como pavimentos permeáveis, regulação de volumes por áreas de percolação, detenção em lotes e loteamentos com projetos paisagísticos adequados. Verifica-se que no Brasil este tipo de concepção ainda é rara, sendo percebida em apenas alguns projetos de engenheiros e arquitetos estrangeiros e de poucos profissionais brasileiros, pois não existe regulamentação municipal que obrigue a este tipo de controle. Há, portanto, necessidade de atualização de projetistas para este tipo de solução. Esta regulamentação pode ser obtida por ações isoladas na lei municipal ou através de um Plano Diretor de Drenagem Urbana, desenvolvido em conjunto com os demais Planos Urbanos, como será apresentado ao final deste capítulo.

Aspecto importante a ser considerado é que o custo de controle da vazão das águas pluviais em nível de planejamento é de responsabilidade do empreendedor, enquanto que

depois da urbanização aprovada e construída de maneira inadequada, os custos de controle das inundações são transferidas para o poder público, que necessita de grande endividamento para minimizar estes impactos, pagos por toda a sociedade. Os lucros são privados e os prejuízos socializados, ou seja, o projeto e a execução são realizados com baixos investimentos objetivando maior lucro, enquanto no momento em que surgem os riscos e problemas, o compromisso já foi repassado à sociedade que deverá se desdobrar para resolvê-los, às vezes com risco de vidas (Afonso, 1999).

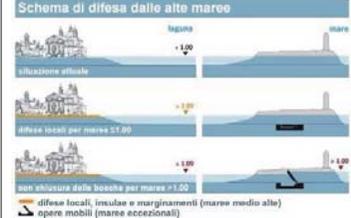


Figura 59: Exemplo de risco e prejuízos sociais provocados pelas inundações (Cerri e Amaral, 1998)

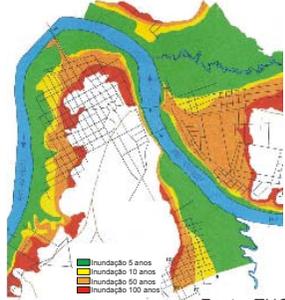
2.5.7 Quadro referencial de projetos

Os exemplos reunidos no quadro montado foram selecionados em virtude da busca de referenciais de soluções viáveis tecnicamente, adotadas como medidas para controle das inundações nas cidades, tanto estruturais como não-estruturais, conforme classificação apresentada, para ampliar o conhecimento das alternativas e possibilidades de intervenções que podem minimizar os impactos da urbanização na drenagem.

QUADRO REFERENCIAL - PROJETOS ESTRUTURAIS CONVENCIONAIS

 <p>Sistema de defesa das águas do mar Veneza</p>	Local	País	Tipo de solução	Classificação	<p>Reservatório de detenção no Córrego Pirajussara, em São Paulo-SP</p>  <p>Fonte: MORETTI, 2006.</p>
Medidas adotadas para controle das inundações					
 <p>Fonte: AMBIENTE, 2005</p>	VENEZA	ITÁLIA	PLACAS MOVEIS	ESTRUTURAL	<p>As detenções são reservatórios urbanos mantidos secos a maior parte do tempo, com uso do espaço integrado à paisagem urbana. Este sistema é usado para controle do pico e volume do escoamento, armazenando temporariamente as águas em fortes precipitações. Faz parte das medidas de controle para macrodrenagem urbana.</p>
Medidas adotadas para controle das inundações					
<p>Reservatório detenção São paulo</p>  <p>Fonte: CAMPANA, 2004.</p>	SP	BRASIL	DETENÇÃO	ESTRUTURAL	<p>Os reservatórios de detenção podem sofrer obstrução devido à poluição das águas drenadas por resíduos sólidos, comprometendo seu funcionamento. Este exemplo demonstra o uso de soluções necessárias para reter resíduos que se misturam às águas pluviais.</p>
Medidas adotadas para controle das inundações					
<p>Dique São José dos Pinhais/SP</p>  <p>Fonte: TUCCI, 2004.</p>	SP	BRASIL	DIQUE	ESTRUTURAL	<p>Consiste na construção de barreira (dique) para impedir o avanço das águas em eventos de transbordamento do rio. A área ou região protegida é denominada 'polder'. Este sistema de proteção normalmente está associado a bombas de recalque, para dar vazão às águas acumuladas no polder oriundas do escoamento natural da bacia.</p>

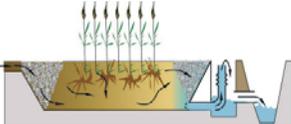
PROJETOS NÃO-ESTRUTURAIS

<p>Regulamentação da zona inundável U.S. Water Resources Council</p> 	Local	País	Tipo de solução	Classificação	<p>Áreas com risco de inundação União da Vitória - PR</p>  <p>Fonte: TUCCI, 2002.</p>
Medidas adotadas para controle das inundações					
---	EUA	ZONEAMENTO	NAO-ESTRUT.		<p>Zoneamento elaborado para definição das áreas a serem atingidas pelas águas a partir do tempo de retorno calculado. O mapeamento se caracteriza, essencialmente, pela disponibilidade de base cartográfica para que os gestores públicos atentem ao risco de inundações no planejamento do espaço urbano do município.</p>
Medidas adotadas para controle das inundações					
PR	BRASIL	ZONEAMENTO	NÃO-ESTRUT.		

QUADRO REFERENCIAL - PROJETOS DE INFRA-ESTRUTURA VERDE

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Detenção no lote -uso como estacionamento / Curitiba-PR</th> <th style="width: 10%;">Local</th> <th style="width: 10%;">País</th> <th style="width: 15%;">Tipo de solução</th> <th style="width: 15%;">Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Medidas adotadas para controle das inundações</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">PR BRASIL DETENÇÃO-LOTE ESTRUTURAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td colspan="4"> <p>A utilização das áreas de detenção com atividades temporárias, no período em que são mantidos secos, garante a possibilidade de desocupação do espaço quando este for alagado. Este exemplo mostra a associação do uso do espaço de detenção como estacionamento, onde neste caso encontra-se com água armazenada.</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Fonte: TUCCI, 2004.</td> </tr> </tbody> </table>	Detenção no lote -uso como estacionamento / Curitiba-PR	Local	País	Tipo de solução	Classificação	Medidas adotadas para controle das inundações					PR BRASIL DETENÇÃO-LOTE ESTRUTURAL						<p>A utilização das áreas de detenção com atividades temporárias, no período em que são mantidos secos, garante a possibilidade de desocupação do espaço quando este for alagado. Este exemplo mostra a associação do uso do espaço de detenção como estacionamento, onde neste caso encontra-se com água armazenada.</p>				Fonte: TUCCI, 2004.					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Detenção em Curitiba/PR</th> <th style="width: 10%;">Local</th> <th style="width: 10%;">País</th> <th style="width: 15%;">Tipo de solução</th> <th style="width: 15%;">Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Medidas adotadas para controle das inundações</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">PR BRASIL DETENÇÃO ESTRUTURAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td colspan="4"> <p>Este exemplo demonstra como alternativa de uso do espaço do reservatório incorporado ao ambiente urbano, a utilização da área para prática de esportes, em períodos que o reservatório é mantido seco, servindo para minimizar a carência de espaços públicos de lazer nas cidades.</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Fonte: TUCCI, 2004.</td> </tr> </tbody> </table>	Detenção em Curitiba/PR	Local	País	Tipo de solução	Classificação	Medidas adotadas para controle das inundações					PR BRASIL DETENÇÃO ESTRUTURAL						<p>Este exemplo demonstra como alternativa de uso do espaço do reservatório incorporado ao ambiente urbano, a utilização da área para prática de esportes, em períodos que o reservatório é mantido seco, servindo para minimizar a carência de espaços públicos de lazer nas cidades.</p>				Fonte: TUCCI, 2004.				
Detenção no lote -uso como estacionamento / Curitiba-PR	Local	País	Tipo de solução	Classificação																																															
Medidas adotadas para controle das inundações																																																			
PR BRASIL DETENÇÃO-LOTE ESTRUTURAL																																																			
	<p>A utilização das áreas de detenção com atividades temporárias, no período em que são mantidos secos, garante a possibilidade de desocupação do espaço quando este for alagado. Este exemplo mostra a associação do uso do espaço de detenção como estacionamento, onde neste caso encontra-se com água armazenada.</p>																																																		
Fonte: TUCCI, 2004.																																																			
Detenção em Curitiba/PR	Local	País	Tipo de solução	Classificação																																															
Medidas adotadas para controle das inundações																																																			
PR BRASIL DETENÇÃO ESTRUTURAL																																																			
	<p>Este exemplo demonstra como alternativa de uso do espaço do reservatório incorporado ao ambiente urbano, a utilização da área para prática de esportes, em períodos que o reservatório é mantido seco, servindo para minimizar a carência de espaços públicos de lazer nas cidades.</p>																																																		
Fonte: TUCCI, 2004.																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Infiltração, Armazenamento e reuso da água</th> <th style="width: 10%;">Local</th> <th style="width: 10%;">País</th> <th style="width: 15%;">Tipo de solução</th> <th style="width: 15%;">Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Medidas adotadas para controle das inundações</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">SP BRASIL INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td colspan="4"> <p>Consiste na construção de áreas permeáveis no lote, neste caso cobertura vegetal, que facilitem a infiltração das águas pluviais, reduzindo o volume da água que chegam aos dutos de escoamento da rede pública. Este tipo de solução contribui, ainda, com a evapotranspiração e regulação do clima urbano.</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Fonte: TUCCI, 2004.</td> </tr> </tbody> </table>	Infiltração, Armazenamento e reuso da água	Local	País	Tipo de solução	Classificação	Medidas adotadas para controle das inundações					SP BRASIL INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL						<p>Consiste na construção de áreas permeáveis no lote, neste caso cobertura vegetal, que facilitem a infiltração das águas pluviais, reduzindo o volume da água que chegam aos dutos de escoamento da rede pública. Este tipo de solução contribui, ainda, com a evapotranspiração e regulação do clima urbano.</p>				Fonte: TUCCI, 2004.					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Sistema de Infiltração no lote- Estado Unidos</th> <th style="width: 10%;">Local</th> <th style="width: 10%;">País</th> <th style="width: 15%;">Tipo de solução</th> <th style="width: 15%;">Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Medidas adotadas para controle das inundações</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">- EUA INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td colspan="4"> <p>Consiste na construção de áreas permeáveis no lote, que facilitem a infiltração das águas pluviais no solo, reduzindo o volume da água que chegam aos dutos de escoamento da rede pública. Este tipo de solução faz parte do controle a nível de lote. Nota-se que a via não possui meio-fio, facilitando o escoamento para área gramada que é permeável.</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Fonte: TUCCI, 2004.</td> </tr> </tbody> </table>	Sistema de Infiltração no lote- Estado Unidos	Local	País	Tipo de solução	Classificação	Medidas adotadas para controle das inundações					- EUA INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL						<p>Consiste na construção de áreas permeáveis no lote, que facilitem a infiltração das águas pluviais no solo, reduzindo o volume da água que chegam aos dutos de escoamento da rede pública. Este tipo de solução faz parte do controle a nível de lote. Nota-se que a via não possui meio-fio, facilitando o escoamento para área gramada que é permeável.</p>				Fonte: TUCCI, 2004.				
Infiltração, Armazenamento e reuso da água	Local	País	Tipo de solução	Classificação																																															
Medidas adotadas para controle das inundações																																																			
SP BRASIL INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL																																																			
	<p>Consiste na construção de áreas permeáveis no lote, neste caso cobertura vegetal, que facilitem a infiltração das águas pluviais, reduzindo o volume da água que chegam aos dutos de escoamento da rede pública. Este tipo de solução contribui, ainda, com a evapotranspiração e regulação do clima urbano.</p>																																																		
Fonte: TUCCI, 2004.																																																			
Sistema de Infiltração no lote- Estado Unidos	Local	País	Tipo de solução	Classificação																																															
Medidas adotadas para controle das inundações																																																			
- EUA INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL																																																			
	<p>Consiste na construção de áreas permeáveis no lote, que facilitem a infiltração das águas pluviais no solo, reduzindo o volume da água que chegam aos dutos de escoamento da rede pública. Este tipo de solução faz parte do controle a nível de lote. Nota-se que a via não possui meio-fio, facilitando o escoamento para área gramada que é permeável.</p>																																																		
Fonte: TUCCI, 2004.																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Sistema de Infiltração no lote Residência em Porto Alegre / RS</th> <th style="width: 10%;">Local</th> <th style="width: 10%;">País</th> <th style="width: 15%;">Tipo de solução</th> <th style="width: 15%;">Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Medidas adotadas para controle das inundações</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">RS BRASIL INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td colspan="4"> <p>O controle a nível de lote inclui a adoção de áreas permeáveis nos pátios residenciais. Isto contribui para infiltração da água no próprio lote, e conseqüente diminuição do volume nos condutos da rede. Nota-se que junto à área gramada, há uma calha de pedras para facilitar a infiltração da água no subsolo.</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Fonte: TUCCI, 2004.</td> </tr> </tbody> </table>	Sistema de Infiltração no lote Residência em Porto Alegre / RS	Local	País	Tipo de solução	Classificação	Medidas adotadas para controle das inundações					RS BRASIL INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL						<p>O controle a nível de lote inclui a adoção de áreas permeáveis nos pátios residenciais. Isto contribui para infiltração da água no próprio lote, e conseqüente diminuição do volume nos condutos da rede. Nota-se que junto à área gramada, há uma calha de pedras para facilitar a infiltração da água no subsolo.</p>				Fonte: TUCCI, 2004.					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Sistema de detenção no lote</th> <th style="width: 10%;">Local</th> <th style="width: 10%;">País</th> <th style="width: 15%;">Tipo de solução</th> <th style="width: 15%;">Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Medidas adotadas para controle das inundações</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">SP BRASIL DETENÇÃO-LOTE ESTRUTURAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td colspan="4"> <p>Utiliza o mesmo princípio dos reservatórios de detenção usados na macrodrenagem, porém armazena a água em reservatório no lote, contribuindo para reduzir o pico e o volume no escoamento da rede pública de drenagem. Este sistema permite também o reuso das águas pluviais no próprio lote, como irrigação.</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Fonte: TUCCI, 2004.</td> </tr> </tbody> </table>	Sistema de detenção no lote	Local	País	Tipo de solução	Classificação	Medidas adotadas para controle das inundações					SP BRASIL DETENÇÃO-LOTE ESTRUTURAL						<p>Utiliza o mesmo princípio dos reservatórios de detenção usados na macrodrenagem, porém armazena a água em reservatório no lote, contribuindo para reduzir o pico e o volume no escoamento da rede pública de drenagem. Este sistema permite também o reuso das águas pluviais no próprio lote, como irrigação.</p>				Fonte: TUCCI, 2004.				
Sistema de Infiltração no lote Residência em Porto Alegre / RS	Local	País	Tipo de solução	Classificação																																															
Medidas adotadas para controle das inundações																																																			
RS BRASIL INFILTRA-LOTE ESTRUTURAL																																																			
	<p>O controle a nível de lote inclui a adoção de áreas permeáveis nos pátios residenciais. Isto contribui para infiltração da água no próprio lote, e conseqüente diminuição do volume nos condutos da rede. Nota-se que junto à área gramada, há uma calha de pedras para facilitar a infiltração da água no subsolo.</p>																																																		
Fonte: TUCCI, 2004.																																																			
Sistema de detenção no lote	Local	País	Tipo de solução	Classificação																																															
Medidas adotadas para controle das inundações																																																			
SP BRASIL DETENÇÃO-LOTE ESTRUTURAL																																																			
	<p>Utiliza o mesmo princípio dos reservatórios de detenção usados na macrodrenagem, porém armazena a água em reservatório no lote, contribuindo para reduzir o pico e o volume no escoamento da rede pública de drenagem. Este sistema permite também o reuso das águas pluviais no próprio lote, como irrigação.</p>																																																		
Fonte: TUCCI, 2004.																																																			

QUADRO REFERENCIAL - PROJETOS DE INFRA-ESTRUTURA VERDE

<p>Ruas sem meio-fio: infiltração e redução do escoamento</p>	Local	País	Tipo de solução	Classificação	<p>Sistema de Retenção-Banhado artificial</p>	Local	País	Tipo de solução	Classificação
Medidas adotadas para controle das inundações					Medidas adotadas para controle das inundações				
	-	EUA	INFILTRA-MICRO	ESTRUTURAL	 	-	EUA	RETENÇÃO-MICRO	ESTRUT.
<p>Consiste na eliminação do meio-fio das vias e troca por áreas de infiltração, que reduzem o escoamento superficial na rede de drenagem. Esta solução é adotada como medida de controle da microdrenagem.</p>	<p>As retenções são reservatórios com lâmina de água utilizados não somente para controle do pico e volume do escoamento, como também da qualidade da água. Neste exemplo, a medida adotada foi ao nível de microdrenagem urbana.</p>								
Fonte: TUCCI, 2004.					Fonte: TUCCI, 2004.				
<p>Passeios públicos com revestimentos permeáveis</p>	Local	País	Tipo de solução	Classificação	<p>Estacionamento com revestimentos permeáveis</p>	Local	País	Tipo de solução	Classificação
Medidas adotadas para controle das inundações					Medidas adotadas para controle das inundações				
	RS	BRASIL	INFILTRA-MICRO	ESTRUTURAL		RS	BRASIL	INFILTRA-MICRO	ESTRUTURAL
<p>Consiste na adoção de revestimentos com maior permeabilidade em áreas de passeio público.. Esta solução é adotada como medida de controle da microdrenagem urbana.</p>	<p>Consiste na adoção de revestimentos com maior permeabilidade em áreas de estacionamento público.. Esta solução é adotada como medida de controle da microdrenagem urbana.</p>								
Fonte: TUCCI, 2004.					Fonte: TUCCI, 2004.				

2.6 PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA

As inundações nas cidades brasileiras são um processo gerado principalmente pela falta de disciplinamento das ocupações urbanas. O custo do controle desse processo é muito alto quando o desenvolvimento já está implantado. A medida preventiva de controle, onde os custos são reduzidos, é o Plano Diretor de Drenagem Urbana - PDDU. Devido à interferência que a ocupação do solo tem sobre a drenagem, existem elementos do Plano de Drenagem que são introduzidos no Plano Diretor Urbano ou na legislação de ocupação do solo. Portanto, o Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU deve ser um componente do Plano Diretor Urbano de uma cidade (TUCCI, 1997).

2.6.1 Elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana

Segundo Neto (2001), uma estratégia essencial para a obtenção de soluções eficientes na drenagem, é a elaboração de planos diretores. É altamente recomendável que um PDDU evite medidas locais de caráter restritivo, que freqüentemente deslocam o problema para outros locais, chegando mesmo a agravar as inundações à jusante, através da priorização de um estudo da bacia hidrográfica como um todo. O PDDU deve possibilitar a identificação das áreas a serem preservadas, e a seleção das que possam ser adquiridas pelo poder público antes que sejam ocupadas, loteadas ou que seus preços se elevem e tornem a aquisição proibitiva. É também fundamental a elaboração do zoneamento da várzea de inundação e o estabelecimento de um escalonamento cronológico e espacial da implantação das medidas necessárias, de forma tecnicamente correta e de acordo com os recursos disponíveis.

O PDDU deve ser articulado com as outras atividades urbanas, como abastecimento de água e de esgoto, transporte público, planos viários, instalações elétricas, de forma a possibilitar o desenvolvimento da maneira mais harmonizada possível. Do plano deve também constar a elaboração de campanhas educativas que visem informar a população sobre a natureza e a origem do problema das enchentes, sua magnitude e conseqüências.

É importante o esclarecimento da comunidade sobre as formas de solução existentes e os motivos da escolha das soluções propostas. A solicitação de recursos deve ser respaldada técnica e politicamente, dando sempre preferência à adoção de medidas preventivas de maior alcance social e menor custo.

2.6.2 Composição do Plano Diretor de Drenagem Urbana

O PDDU tem o objetivo de criar os mecanismos de gestão da infra-estrutura urbana relacionado com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana da cidade. Este planejamento visa evitar perdas econômicas, melhoria das condições de saúde e meio ambiente da cidade dentro de princípios econômicos, sociais e ambientais definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano.

O PDDU tem como metas: (a) planejar a distribuição da água pluvial no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana, compatibilizando o desenvolvimento e a infra-estrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais; (b) controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições na áreas de alto risco; (c) estabelecer uma convivência harmônica com as enchentes nas áreas de baixo risco (BARROS, 2005).

2.6.3 Estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana

A estrutura sugerida por Tucci (1997) é apresentada na Figura 60. Pode-se observar que existem um grupo de entradas ao Plano que são as informações básicas para o seu desenvolvimento que são: cadastro da rede pluvial, rede cloacal, coleta e disposição dos materiais sólidos, caracterização da ocupação urbana, características físicas da bacias hidrográficas e características sócio-econômicas.

Além disso, existe o grupo de Planos associados que são: o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, os Planos Setoriais de Saneamento e de Limpeza Urbana. Este conjunto de dados é base para a elaboração do Plano que possui como componentes a Concepção, Desenvolvimento, Produtos, os Planos de Ação e Programas.

Os produtos do Plano são legislação, regulamentação ou outras medidas não-estruturais, o plano de controle de cada macrobacia urbana da cidade e o manual de drenagem urbana, para orientar os profissionais quanto aos projetos de drenagem na cidade. No Plano de Ação é definida a gestão da implementação do plano, que envolve a definição das entidades que complementarão as ações previstas, a viabilidade econômica, o mecanismo de funcionamento das implementações das ações do plano e o gerenciamento de ações relacionadas com o plano de cada sub-bacia.

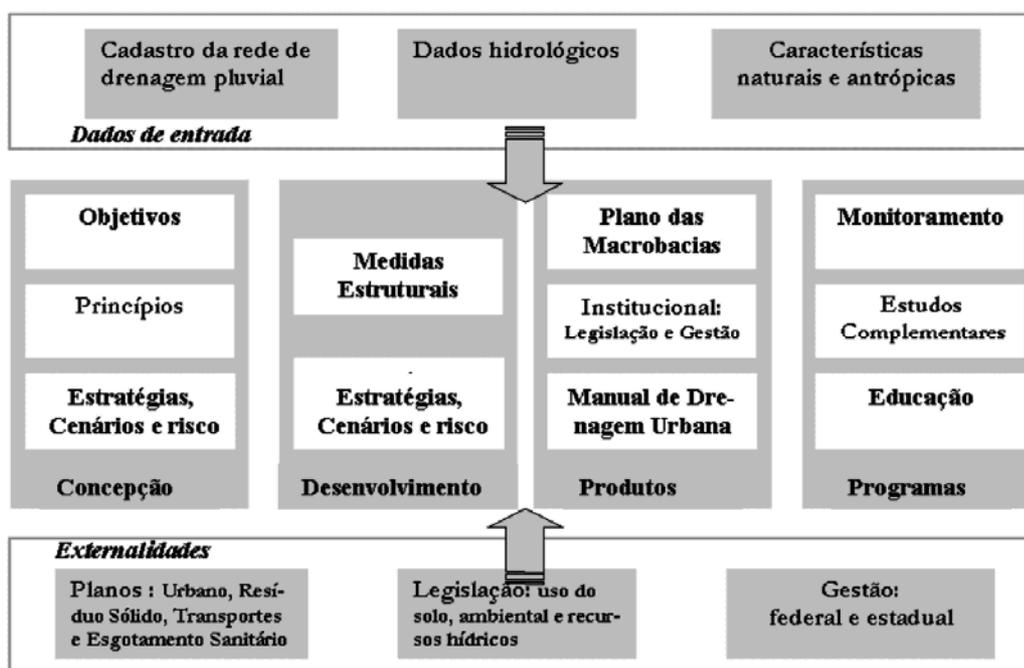


Figura 60: Desenvolvimento do Plano Diretor de Drenagem Urbana (Adaptado de Tucci, 1997)

2.7 PLANEJAMENTO TERRITORIAL

Em relação às atividades de planejamento e gestão do território urbano, são destacados os aspectos relevantes quanto aos critérios que devem ser considerados para definição de políticas públicas para gestão da drenagem e controle das inundações.

2.7.1 Planejamento territorial e demanda de informação ambiental

Conforme apresenta Karnaukhova (2003), o planejamento territorial surge no início do Século XX e se estrutura como parte do sistema da gestão econômica em função das limitações impostas para o crescimento econômico, da escassez de recursos naturais e as restrições territoriais, assim como em função da necessidade de considerar as características territoriais específicas no âmbito do desenvolvimento industrial.

Apesar de ser definido como um processo contínuo, na prática da gestão territorial o planejamento é realizado com certa periodicidade, o que frequentemente compromete os seus resultados. A teoria propõe que o planejamento territorial constitua um processo contínuo de ações de projeção, implantação e monitoramento das atividades socioeconômicas. Para isso, deve contar com uma série de instrumentos legais, políticos e administrativos que visem garantir a sua efetividade em função dos principais objetivos e estratégias de desenvolvimento.

Face à multiplicidade de fenômenos espaciais, o planejamento territorial não se restringe à elaboração de um plano único, mas a um conjunto de planos com distintos enfoques social, econômico, ambiental, conteúdos (nacional, regional, local) e períodos de curto, médio e longo prazo de realização. Este tipo de planejamento atualmente é titulado como planejamento ambiental, ou ecológico. Por meio dele definem-se as políticas, leis e normas de exploração do território, considerando as políticas globais e nacionais, as propriedades ambientais e problemas ecológicos existentes no território, e os impactos dos eventos planejados sobre a qualidade do ambiente, de vida e saúde humana.

A prática do planejamento territorial visa a simulação de efeitos espaciais e temporais (impactos) das ações antrópicas sobre o território, baseando-se em conhecimentos profundos sobre a paisagem e suas propriedades geoecológicas. No caso específico desta pesquisa, pode-se considerar o planejamento territorial sob enfoque paisagístico e ambiental como prática apropriada para minimizar a ocorrência dos fenômenos de inundação, bem como os seus efeitos sobre a população.

2.7.2 Informação geoambiental e cartografia no planejamento territorial

Karnaukhova (2003) menciona que os planos e projetos de desenvolvimento local e regional requerem, na sua fundamentação, informações geoambientais complexas que, na sua essência, constituem um sistema de conhecimentos sobre os fatores naturais de gênese da paisagem e suas manifestações regionais, propriedades das estruturas naturais, controle dos fatores de antropização, sobre a função econômica de geossistemas e a tecnologia de exploração da paisagem.

Durante o processo de planejamento, os dados de inventários ambientais sofrem transformações substanciais através da análise ambiental complexa e tornam-se parte indivisível do projeto técnico, representados na sua documentação. A principal componente desta documentação, e por vezes a crucial, corresponde aos materiais cartográficos, que configuram o principal instrumento de representação e análise dos fenômenos ambientais complexos.

A cartografia temática, neste caso na qualidade de geoecológica e ambiental, faz parte integrante e obrigatória de qualquer estudo ambiental ou das suas etapas distintas, pois representa o meio adequado de estudo integrado dos variados fenômenos espaciais (Loch, 2006).

2.7.3 Modelos hidrológicos

O modelo hidrológico é uma das ferramentas desenvolvidas para entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. A simulação hidrológica é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos e o modelo por si só não é um objetivo, mas uma ferramenta para atingir um objetivo. O modelo deve ser usado para se antecipar aos eventos, para verificar os impactos da urbanização de uma bacia antes que ela ocorra e para que medidas preventivas possam ser tomadas (TUCCI, 2002).

De acordo com Campana e Tucci (2001) há uma grande diferença entre controlar os impactos antes do desenvolvimento da bacia e após a sua urbanização, pois a maioria dos municípios não têm condições econômicas para fazer controle neste último estágio. Ressaltam que um dos principais desafios do planejador é o de antecipar-se e prevenir ou minimizar os impactos antes que eles se tornem realidade. O uso de modelos hidrológicos para o gerenciamento dos recursos hídricos é ferramenta indispensável, quando o planejador necessita reunir processos quantitativos em diferentes fases. Devido à existência de várias alternativas para se compor cenários de planejamento, é necessário estabelecer metodologias que auxiliem os tomadores de decisão (OHNUMA JR, 2005).

2.7.4 Uso de modelos hidrológicos no planejamento urbano

Segundo Villanueva e Tucci (2001), o desenvolvimento da infra-estrutura urbana tem sido realizada de forma inadequada, o que tem provocado impactos significativos na qualidade de vida da população. A drenagem urbana tem sido um dos principais veículos de deterioração deste ambiente, devido à própria concepção do sistema de drenagem pluvial e a ações externas, como a produção de resíduos sólidos e os padrões de ocupação urbana. Além disso, as soluções adotadas no âmbito de engenharia para a drenagem urbana, às vezes têm produzido mais danos do que benefícios ao ambiente.

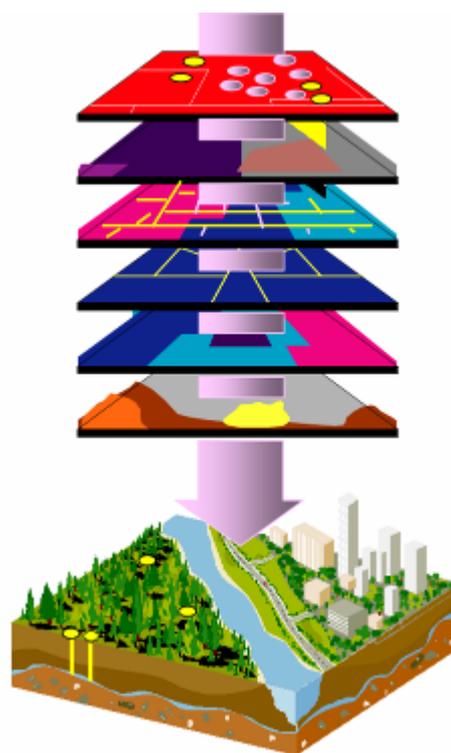
Para a tomada de decisões é necessário que os resultados das potenciais alternativas sejam avaliadas. As mesmas são estabelecidas dentro de cenários definidos pela ocupação do espaço urbano e pelo risco de projeto. Os cenários de ocupação do espaço urbano são definidos à partir de padrões de uso do solo e da projeção de tendência futura dentro de horizontes de 10, 20 ou 30 anos. O risco é escolhido com base na capacidade de investimento e dos prejuízos potenciais.

A simulação de alternativas é, então, uma das principais etapas no planejamento da drenagem urbana. As simulações a serem realizadas abrangem diferentes cenários de ocupação da bacia, referidos à urbanização presente e futura, ou a diferentes padrões de ocupação.

2.8 GEOTECNOLOGIAS

Segundo Forman (1995), um dos maiores desafios do planejamento do uso da terra é o que se refere ao uso sustentável do ambiente, que baseia-se em uma dinâmica de transformação com igual ênfase, nas dimensões ambientais e humanas da paisagem e na consideração de intervalo temporal que abranja diferentes gerações humanas. Assim, a utilização de produtos de sensoriamento remoto, tais como, imagens e fotografias aéreas, associadas aos Sistemas de Informação Geográfica - SIG's, tornam-se de fundamental importância, pois contribuem com a análise da dinâmica temporal da transformação de determinadas áreas tais como as bacias hidrográficas. O monitoramento e a aquisição de dados contínuos, proporcionam um controle sobre o comportamento das bacias.

Desta forma, o conjunto de dados adquiridos requer ajustes constantes, e neste sentido os SIG's são importantes ferramentas nas análises e no auxílio do armazenamento, utilização e atualização de dados espaciais. Desta forma, as Geotecnologias, através dos SIG's e do Sensoriamento Remoto vêm sendo utilizadas como importantes ferramentas, a fim de subsidiar o planejamento, as análises e as ações em diversas áreas de aplicação do conhecimento.



2.8.1 Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico (MOURA, 2003). Assim as atividades que envolvem o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos para cada aplicação. Estes sistemas são normalmente tratados como Sistemas

de Informação Geográfica - SIG. Um sistema de geoprocessamento pode ser tratado como tal, destinado ao processamento de dados referenciados geograficamente, ou georreferenciados, desde a sua coleta até a geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, devendo prever recursos para sua estocagem, gerenciamento, manipulação e análise.

Com a evolução da tecnologia de geoprocessamento e de programas gráficos vários termos surgiram para as várias especialidades. O termo Sistemas de Informação Geográfica, ou Geographic Information System – GIS, é muito utilizado e em muitos casos é confundido com geoprocessamento. O geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto um SIG processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies.

Segundo Moura (2003), os processos de análise espacial tratam dados geográficos ou que possuem uma localização geográfica, expressa como coordenadas em um mapa, e atributos descritivos que podem ser representados num banco de dados convencional, assim como os seus relacionamentos. Dados geográficos não existem sozinhos no espaço: tão importante quanto localizá-los é descobrir e representar as relações entre os diversos dados.

2.8.2 Sistema de Informações Geográficas - SIG

Devido à dificuldade de articular a diversidade de informações necessárias à gestão de recursos hídricos de forma manual, é crescente a busca por sistemas computacionais que possuam a capacidade de integrar as informações e articulá-las com as ferramentas existentes, proporcionado pelo desenvolvimento tecnológico.

Existem, pelo menos, três maneiras de utilizar o SIG (INPE, 2005):

- a) Como ferramenta para produção de mapas;
- b) Como suporte para análise espacial de fenômenos;
- c) Como um banco de dados geográfico, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

A análise geográfica por meio de técnicas e ferramentas disponibilizadas pelo Geoprocessamento tem se mostrado eficiente para a identificação das áreas onde estão

ocorrendo incompatibilidades de uso em relação aos condicionantes ambientais (MOURA, 2003).

2.8.3 Modelagem Digital de Terreno - MDT

Segundo Burrough (1994), é uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real. A superfície é, em geral, contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dentre alguns usos do MDT pode-se citar:

- a) Armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos;
- b) Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- c) Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- d) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- e) Apresentação tridimensional em combinação com outras variáveis.

Para a representação de uma superfície real no computador, é indispensável a criação de um modelo digital, podendo ser por equações analíticas ou por uma rede de pontos, na forma de uma grade de pontos regulares ou irregulares. O processo de modelagem numérica de terreno pode ser dividido em três fases distintas: aquisição dos dados, geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas. A partir dos modelos gerados, pode-se calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

2.8.4 Aplicações do SIG

Aronoff (1989) descreve aplicações representativas para as quais um SIG pode ser utilizado com sucesso. Os exemplos se fazem presentes em várias disciplinas, incluindo aplicações amplamente aceitas tais como: i) agricultura e planejamento do uso da terra; ii) silvicultura e gerenciamento da vida silvestre; iii) arqueologia; iv) geologia; v) aplicações municipais.

Aplicações municipais constituem um dos tipos de aplicações de SIG. A maioria da informação necessária para operar um município é georreferenciada, ou seja, é referenciada a uma específica localização geográfica. As informações sobre zoneamento, propriedades,

estradas, escolas e parques, todas se relacionam a localizações geográficas. Embora o uso do computador seja comum, a adoção de SIG's pelos municípios tem sido lenta. Em parte, isso tem sido um resultado de altos custos iniciais de criação da base de dados para o SIG. Talvez mais fundamentais sejam os custos de mudança da organização administrativa da municipalidade, tal que o SIG possa ser efetivamente implementado.

Os SIG's municipais são usados para a tomada de decisão legal, administrativa e econômica, assim como para as atividades de planejamento. Os municípios começaram a reconhecer os benefícios potenciais de uma abordagem mais integrada aos seus dados computadorizados em geral, e à organização da informação georreferenciada em particular.

Durante os anos 1980, muitos municípios norte americanos fizeram grandes investimentos em SIG's e estes estão sendo usados para dar suporte às funções municipais, tais como gerenciamento e avaliação de propriedades, emissão de licenças e de permissões, planejamento de subdivisões, análise e planejamento de transportes, roteamento e remessa de veículos, projetos de engenharia, inventário de serviços públicos tais como sistema de água e esgoto e cabeamento elétrico, além de planejamento do uso da terra.

Em conjunto à introdução da tecnologia SIG, são feitas propostas para ajustar o fluxo de informação. Essas mudanças reduzem a duplicação de esforços, pois os dados são inseridos uma só vez em uma base de dados centralizada, ao invés de ter a mesma informação inserida em várias bases de dados; tornam os dados amplamente disponíveis, pois um usuário pode ser autorizado a acessar diretamente os conjuntos de dados de que necessitar; e permitem que a informação seja integrada de uma maneira virtualmente ilimitada, já que qualquer conjunto de dados dentro da base geral pode ser usado em conjunto.

Uma base de dados municipal bem concebida pode aprimorar a eficácia da organização e manutenção da base de informações da qual a municipalidade depende, e em fazer o melhor uso de seu investimento em informação sobre o território.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo foram montadas as estratégias para sistematização da pesquisa de maneira geral, e para as investigações realizadas no estudo de caso de maneira específica. As técnicas de análise utilizadas, fundamentadas nas teorias e conceitos tratados no Capítulo 2 - Fundamentação Teórica, serão aplicadas no Capítulo 4 - Estudo de Caso, para o município de Pelotas/RS. A organização estrutural do método proposto buscou aplicar as teorias verificadas na bibliografia selecionada às condições reais do município escolhido, ou seja, no problema central da pesquisa que é a ocorrência de inundações nas cidades.

3.1 ETAPAS DO PROJETO DE PESQUISA CIENTÍFICA

Na etapa inicial dos estudos, o esquema da Figura 61 foi elaborado para facilitar a orientação quanto à estruturação do plano de pesquisa, proporcionando maior clareza para que as idéias referentes ao tema escolhido fossem organizadas em suas devidas etapas, correspondentes ao desenvolvimento da proposta apresentada. Baseou-se em leituras referentes a métodos de elaboração de projetos científicos.

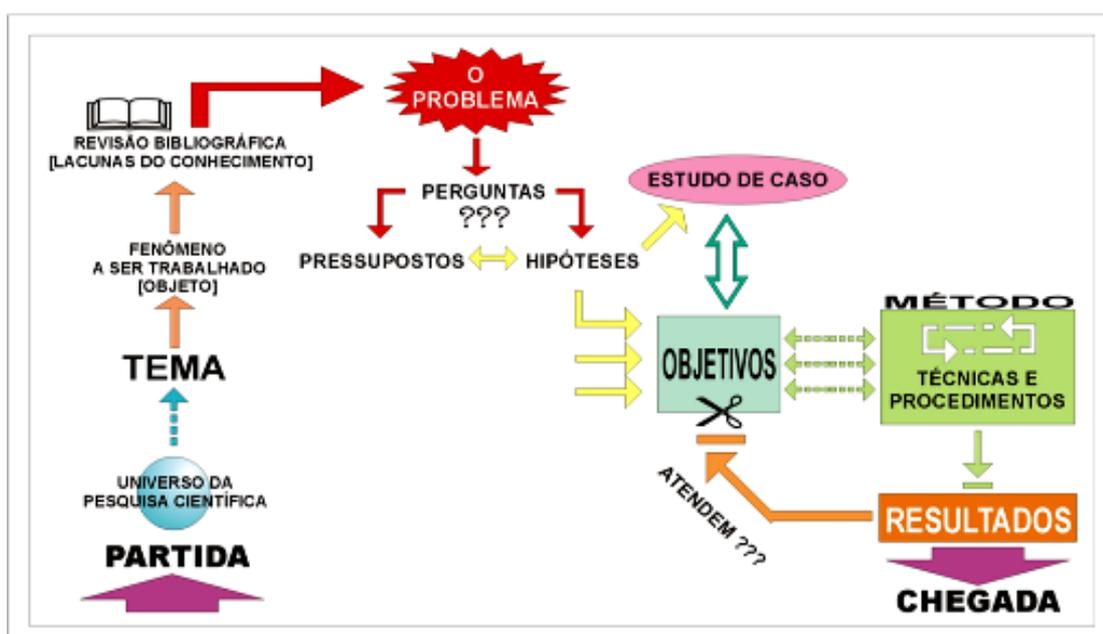


Figura 61: Quadro Síntese das etapas de pesquisa elaborado a partir de Lakatos e Marconi (2003) e Booth (2000) (Elaborado pelo Autor)

A estruturação das etapas de pesquisa, da maneira sintética como está colocada, tornou mais nítida as etapas que seriam percorridas durante o período de elaboração da dissertação, facilitando a compreensão da inter-relação entre etapas distintas do processo, mas que necessariamente devem estar vinculadas para garantir a coerência e a consistência do conjunto dos estudos que foram aprofundados para elaboração da pesquisa.

3.2 FUNDAMENTAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE

As etapas de **fundamentação teórica** consistem em:

1. Revisão bibliográfica considerando os temas abordados da hidrologia, urbanização e geoprocessamento;
2. Elaboração de quadro referencial de projetos, com adequação das ocupações ao meio físico que possam servir de subsídios às análises pretendidas;

As etapas de **construção do processo de análise de Pelotas** consistem em:

1. Coleta de dados e documentação dos registros de projetos implementados na zona urbana da área em estudo;
2. Sistematização dos dados de projetos hidráulicos (drenagem, abastecimento, esgoto) que interferem direta ou indiretamente no território urbano;
3. Sistematização dos dados de projetos urbanísticos (Plano Diretor, Lei Orgânica Municipal, Código de Obras, Código de Posturas);
4. Montagem de banco de dados e espacialização em ambiente SIG, com utilização de técnicas de modelagem de dados e simulação 3D apoiado por programas computacionais;
5. Realização de mapeamento com representação espacial das variáveis analisadas;
6. Realização do cruzamento das variáveis para identificar pontos de conflitos;
7. Identificação das diretrizes que atendam à solução dos conflitos detectados e sejam pertinentes à composição de planos de ação;
8. Realização de zoneamento para expansão urbana e classificação dos usos recomendados, condizentes com as variáveis hídricas analisadas;
9. Aplicação de recursos para elaboração de simulações digitais de cenários para a cidade, incorporando as variáveis analisadas neste estudo;
10. Elaboração de elenco de medidas de controle dos impactos identificados, para compor planos integrados de drenagem e urbanização, que possam minimizar conflitos, constituindo instrumento referencial de apoio à tomada de decisão em planos de gestão urbana.

As etapas do método escolhido podem ser sintetizadas como esquema da Figura 62.

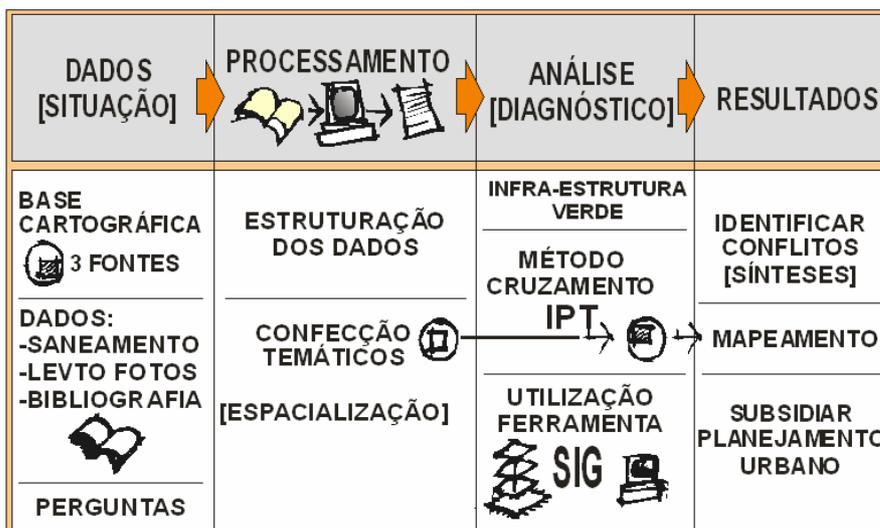


Figura 62: Quadro síntese dos procedimentos propostos (Elaborado pelo Autor)

Do ponto de vista metodológico, o problema enfrentado é o da dificuldade instrumental para trabalhar com as ocupações da cidade incluindo variáveis urbanas e hidrológicas, tradicionalmente tratadas separadamente. Para assumir os compromissos registrados aqui, é preciso dispor de meios não só para caracterizar o território das bacias hidrográficas, como também para explorar alternativas de ocupação e expansão urbana a partir dos conflitos verificados. Sendo assim, o recurso escolhido é o da aplicação de ferramentas de mapeamento e simulação digital.

Para realizarmos as análises como estabelecemos no método adotado, tornou-se fundamental a elaboração de mapeamentos para interpretar o território urbano em estudo. A falta de informações sobre temas que julgamos relevantes para análise nos levou a mesclar fontes de dados de diferentes origens. A busca de diferentes fontes é justificada pela necessidade de representação do território urbano e municipal de maneira completa e integral, sem a existência de áreas com falta de informações, como curvas de nível, por exemplo. A utilização desses dados foi realizada através da composição dos variados planos de informação que estas fontes permitem gerar, onde os dados podem ser combinados, inter-relacionados e arranjados e, desta maneira, se complementam. As 3 fontes de dados são as seguintes:

- (a) Cartas topográficas, 8 ao todo, compreendendo o território do Município de Pelotas, ano 1964, escala 1:50.000 – Fonte: DSG/Divisão de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - Mosaico do território municipal (Figuras 63 e 64);

(b) Levantamento Aerofotogramétrico da Zona Urbana de Pelotas, ano 1995, escala 1:8.000 – Restituição vetorial - Fonte: Prefeitura Municipal de Pelotas (Figuras 65 e 66);

(c) Levantamento da SRTM - Shuttle Radar Topography Mission, base topográfica digital de alta-resolução da Região de Pelotas, ano 2000, escala 1:50.000 – Fonte: NASA/National Aeronautics and Space Administration – Território municipal (Figura 67).

A seguir, a título de ilustração, segue a apresentação das telas de visualização dos dados que estes mapas proporcionam.

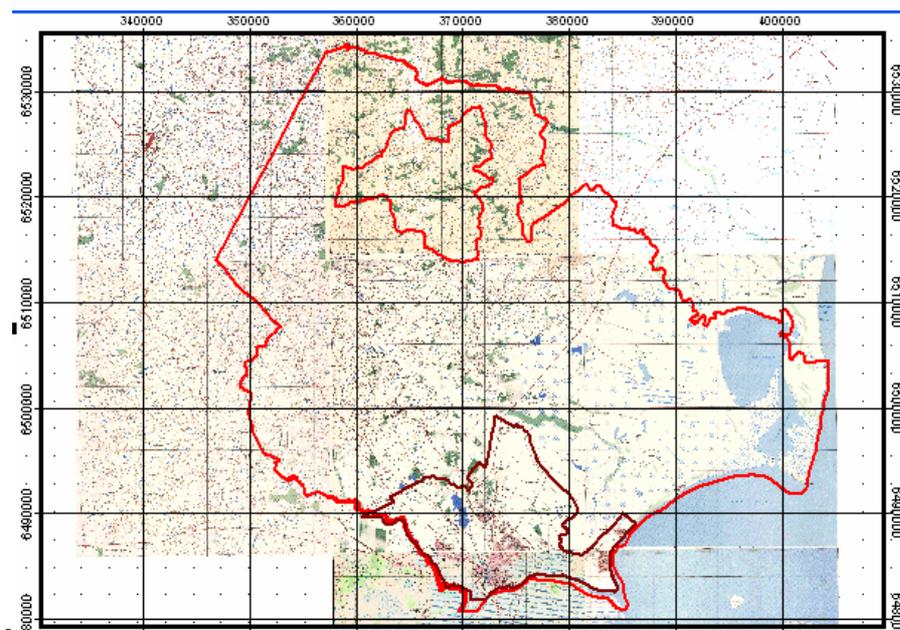


Figura 63: Mosaico das 8 cartas topográficas que compõem o território municipal destacando o município e o perímetro urbano de Pelotas (DSG, 1964)

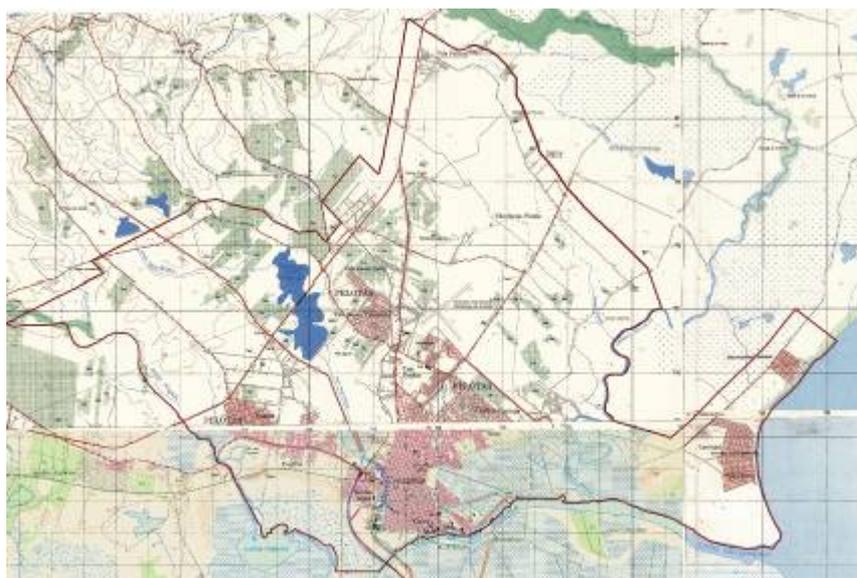


Figura 64: Detalhe do perímetro urbano a partir das cartas topográficas que compõem o território urbano (DSG, 1964)

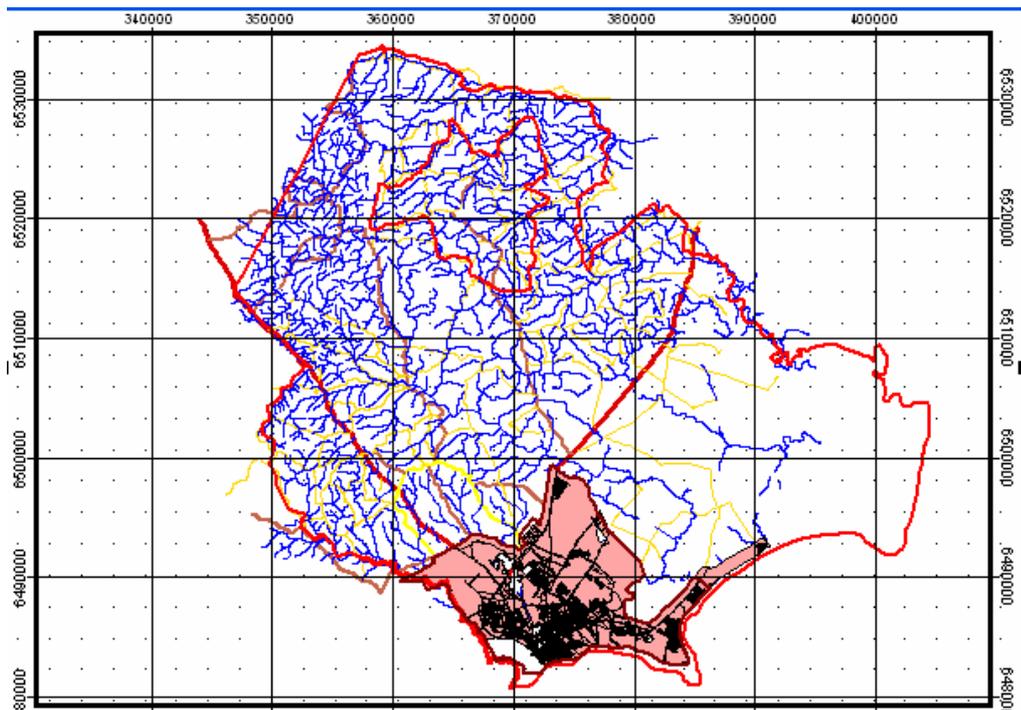


Figura 65: Representação do território municipal através dos dados restituídos do aerolevanteamento, com destaque para a hidrografia e sistema viário secundário e principal (PMP, 1995)

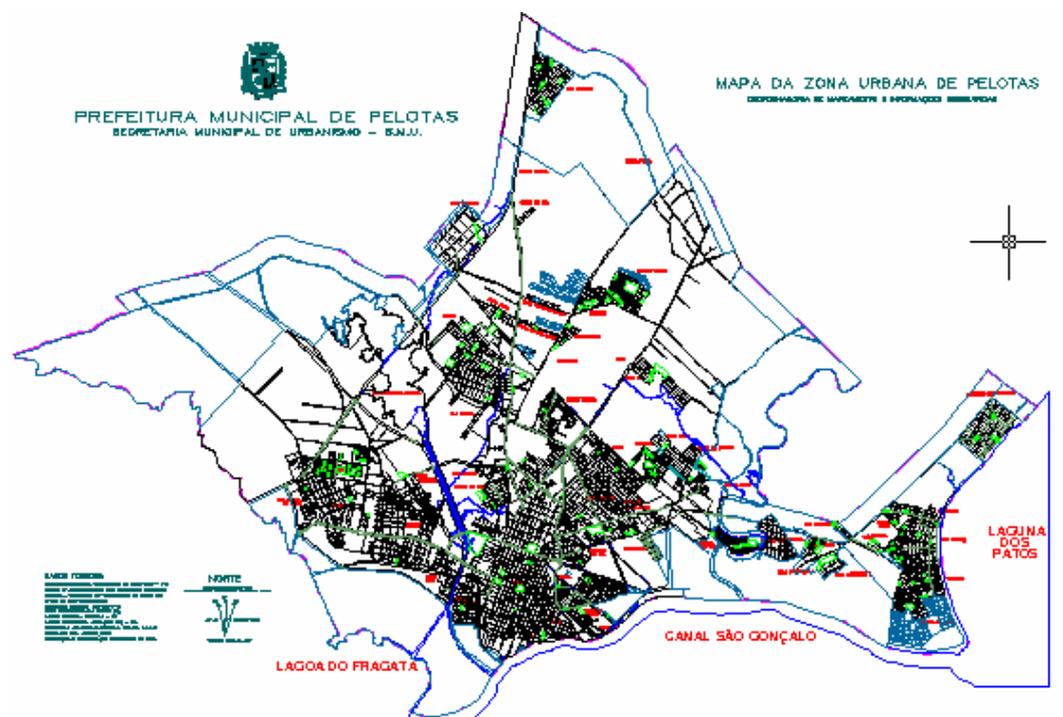


Figura 66: Território urbano com dados restituídos de variados planos (layers) de informação: sistema viário, nome das localidades e rios (PMP, 1995)

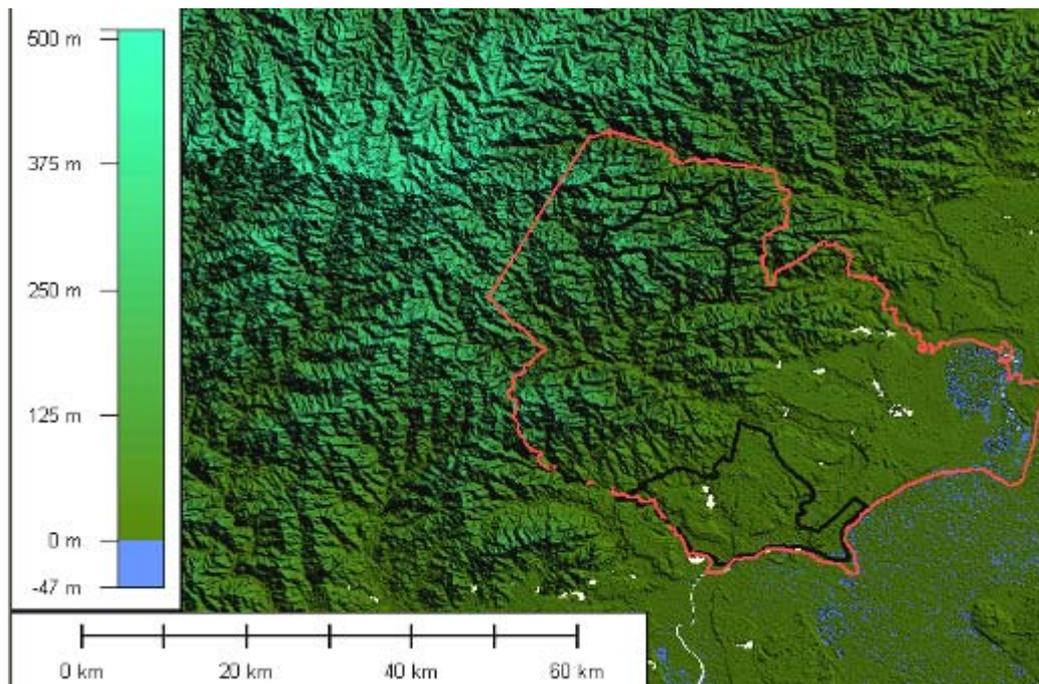


Figura 67: Representação do relevo do território municipal com dados obtidos através de radar (NASA, 2000)

O roteiro metodológico proposto para a aplicação de simulações na análise espacial urbana, com o objetivo do planejamento territorial urbano, adotou as seguintes etapas de trabalho:

1. Definição dos objetivos e aplicações no uso do sistema de análise apoiado por simulações computacionais;

2. Organização da base de dados cartográfica para montagem do SIG - Sistema de Informações Geográficas:

- a) organização da base cartográfica;
- b) realização de levantamentos de campo;
- c) organização dos dados coletados para ambiente digital;
- d) conversão de dados para ambiente SIG;
- e) definição dos modos de representação espacial dos dados.

3. Uso do SIG nas análises ambientais urbanas:

a) construção das análises urbanas utilizando método do Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT;

b) verificações frente à realidade do local de estudo;

- c) identificação de situações que caracterizam a cidade, como conflitos de usos e riscos ambientais;
- d) zoneamento de áreas de expansão segundo os conflitos identificados;
- e) elaboração de alternativas para intervenção.

Portanto, o método está constituído por duas etapas bem definidas, de fundamentação teórica e conceitual, e da realização de análise de uma situação real em um município.

3.2.1 Método para confecção dos mapas temáticos que apoiaram as análises

Para construção dos mapas de análise, adotamos como referência os procedimentos utilizados nos estudos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT para construção da Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente (IPT, 1980).

Os procedimentos adotados consistem, resumidamente, na construção de cartografias temáticas. A elaboração de cartas básicas para posterior análise e elaboração da síntese através de uma Carta Geotécnica demonstra ser um procedimento extremamente apropriado aos estudos pretendidos para Pelotas, por constituir uma fundamentação consistente dos conhecimentos necessários para detecção dos riscos inerentes ao meio físico e também para proposição de alternativas de ocupação menos impactantes nas áreas analisadas (AFONSO, 1999).

São trabalhados temas como geologia, geomorfologia, estruturas do solo, clinometria (declividades), vegetação e ocupação urbana. A partir destes levantamentos, a área em estudo é compartimentada por unidades de análise, no qual são posteriormente definidas restrições e critérios para urbanização de cada tipo de unidade, gerando como produto final uma Carta Geotécnica acompanhada de uma tabela contendo os critérios para ocupação de cada unidade definida.

Julgamos de extrema validade as técnicas adotadas pelo IPT para a utilização no método desta pesquisa. Com os devidos ajustes das escalas e das unidades de análise relacionadas ao tema que abordamos, utilizamos como método a construção de cartografias temáticas de maneira semelhante. O processo de confecção dos mapas e um esquema geral dos produtos gerados para possibilitar a realização das análises pretendidas é demonstrado na Figura 68.

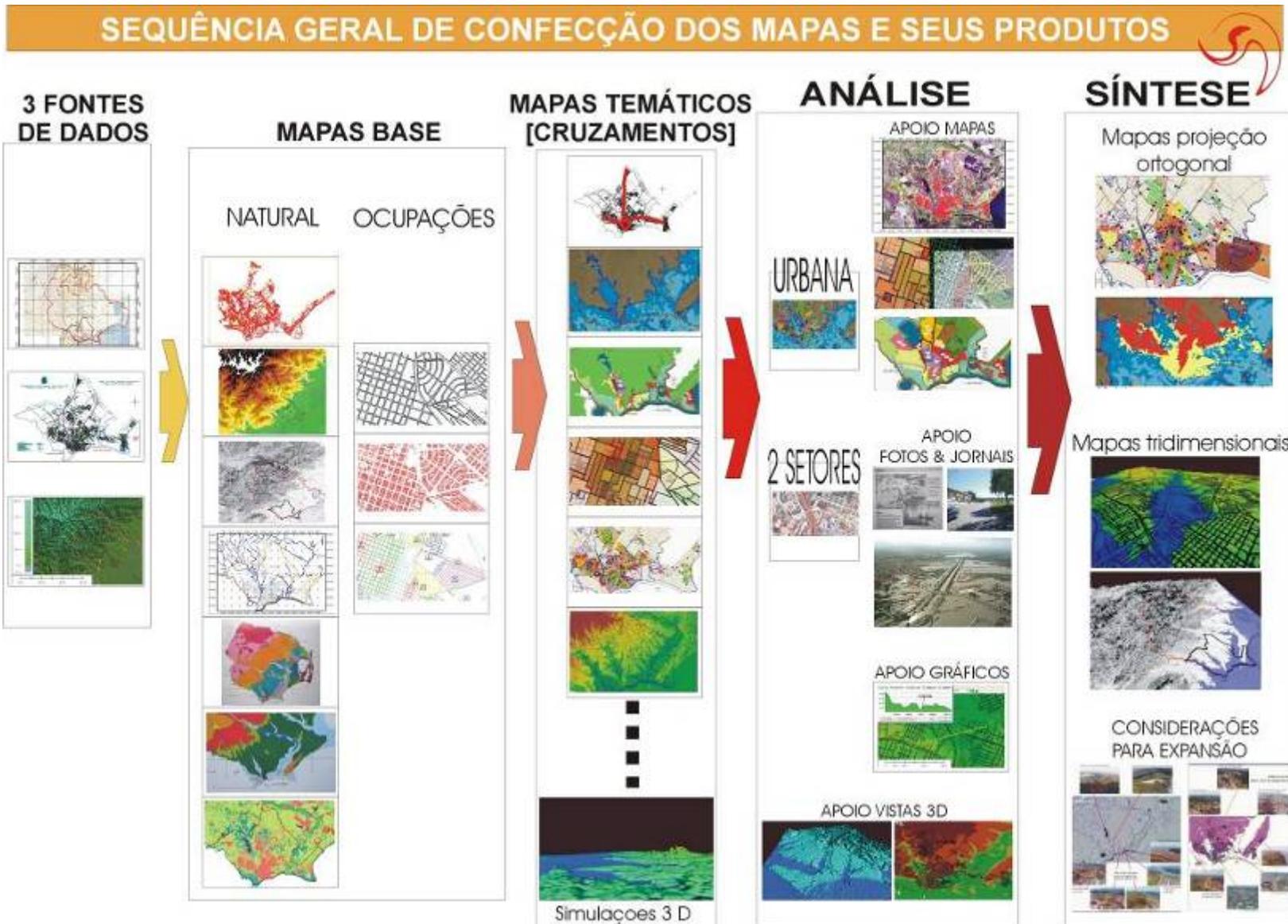


Figura 68: Seqüência geral de confecção dos mapas temáticos e produtos gerados. Elaborado pelo Autor.

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE PELOTAS/RS

Neste capítulo são apresentadas as análises da área escolhida para estudo de caso. O conteúdo a seguir está disposto de maneira a apresentar uma caracterização do Município em questão, seguido da apresentação da cartografia elaborada e a realização das etapas de análise e síntese. O processo de construção dos conteúdos deste capítulo está demonstrado esquematicamente na Figura 69, sendo que a seqüência de apresentação adotada aqui também segue a estrutura deste roteiro.

Pelotas está situada ao sul do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, como mostra a Figura 70.

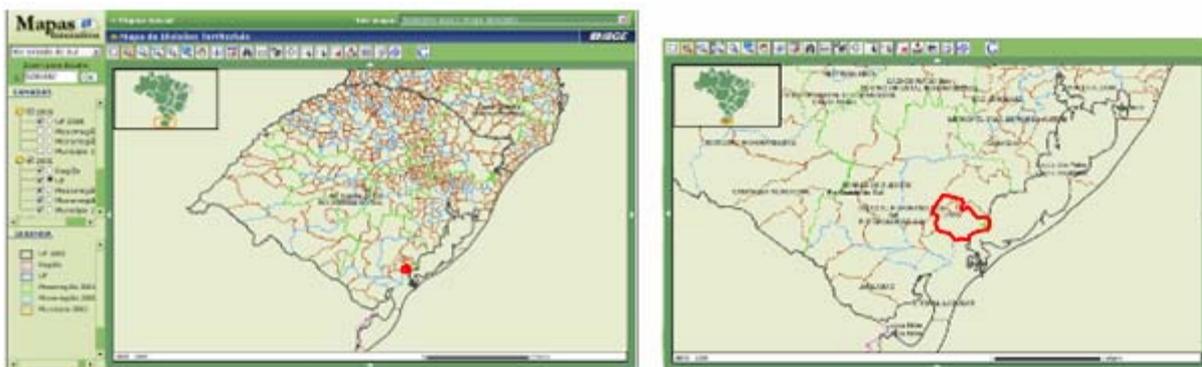


Figura 70: a) localização do município de Pelotas no Brasil e no Estado do Rio Grande do Sul (ponto vermelho); b) limites municipais de Pelotas (traço vermelho) e traçado dos municípios vizinhos (IBGE, 2006)

A área de estudo compreende a zona urbana do município, considerada o Distrito Sede entre os 8 Distritos do Município (Figura 71).

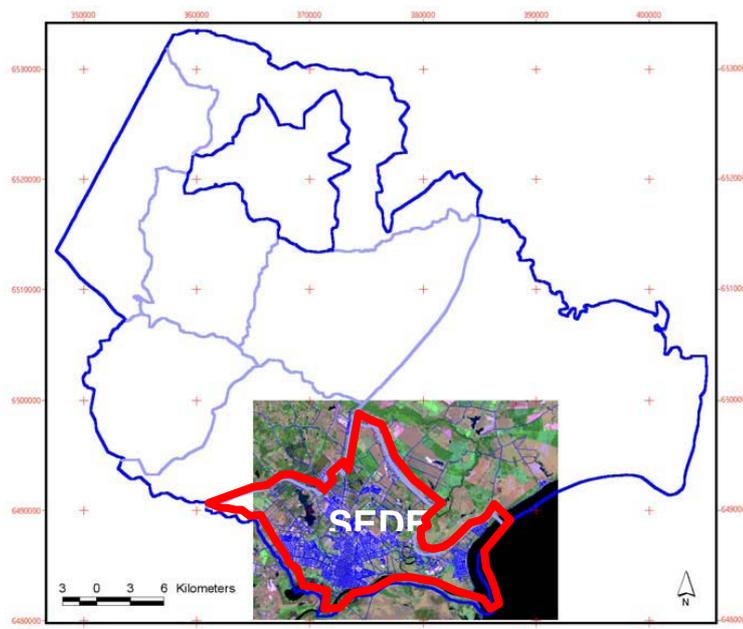


Figura 71: Área de estudo (traço vermelho) localizada no Município de Pelotas (Adaptado de Polidori, 2005)

Esquema do CAPÍTULO 4 ESTUDO CASO PELOTAS

Zona Urbana

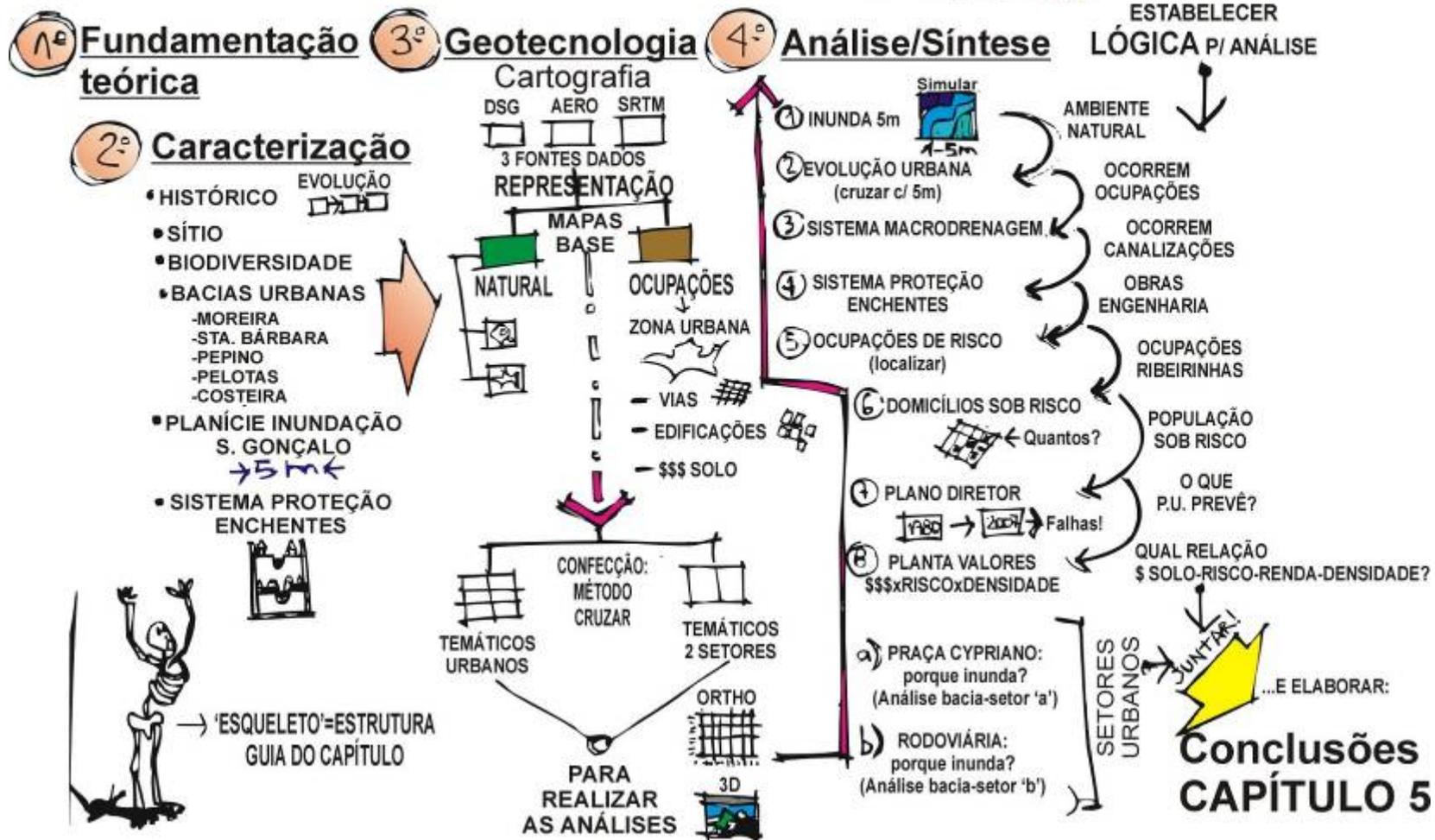


Figura 69: Estrutura esquemática do Estudo de Caso: Município de Pelotas/RS (Elaborado pelo autor)

Pelotas é o município mais populoso da Zona Sul e a terceira cidade mais populosa do Estado. São 338.544 habitantes, mais de 30% de toda a região. Conforme IBGE (2006), a densidade demográfica da Zona Urbana é de 10.576,13 hab/Km² e Zona Rural de 13,46 hab/Km². Na Tabela 5, a demonstração da evolução e taxa de crescimento populacional de 1970 até 2004, onde a população rural teve um decréscimo significativo a partir da década de 1990 até o ano de 2004, ampliando a concentração populacional na zona urbana.

Tabela 5: Evolução da população e indicadores (IBGE, 2006)

	1970	1980	1990	2000	2004
RURAL	53.042	55.147	53.942	22.082	21.328
URBANA	154.827	204.803	230.009	300.952	317.216
TOTAL	207.869	259.950	283.951	323.034	338.544

	1970/1980	1980/1990	1990/2000	2000/2004
TAXA DE CRESCIMENTO				
População Urbana	32,27%	12,30%	30,84%	5,73%
População Rural	3,96%	-2,18%	-40,93%*	-3,41%
GRAU DE URBANIZAÇÃO	76,63%	79,89%	87,08%	93,43%

4.1 LOCALIZAÇÃO DA SEDE MUNICIPAL

A área de estudo está delimitada pelo perímetro urbano, definido pelo II Plano Diretor de Pelotas/1980, resultando nas seguintes coordenadas geográficas, em UTM, para o fuso 22 sul: a) limite norte: 6.500.000; b) limite sul: 6.480.000; c) limite leste: 392.000; d) limite oeste: 365.000. A zona urbana está dividida em sete regiões administrativas, como mostra a Figura 71.

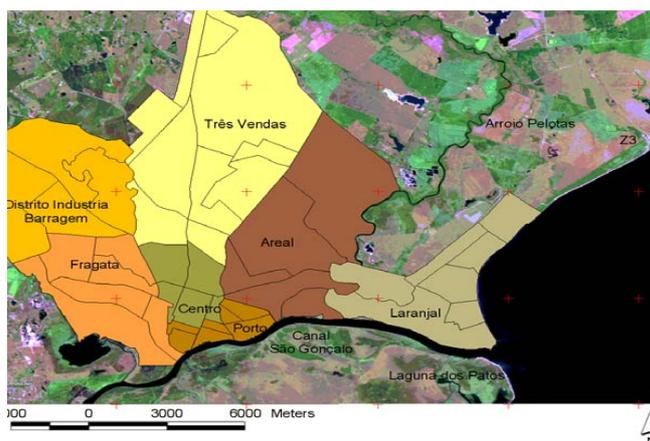


Figura 71: Divisão das regiões administrativas da zona urbana de Pelotas (Polidori, 2005)

Por sua formação cultural, é considerada a cidade mais européia do extremo meridional do Rio Grande do Sul. Com cerca de 28 etnias, sua população caracteriza-se pela forte presença de portugueses, espanhóis e africanos. É considerada a maior cidade

negra do Estado, aos quais somaram-se as correntes migratórias de alemães, italianos, franceses, irlandeses e poloneses, que marcaram a caracterização física e cultural do povo pelotense, fruto de grande miscigenação. Há, ainda, a presença de imigrantes sírios, libaneses, judeus, japoneses e imigrantes oriundos dos países do Prata, em especial uruguaios.

4.2 SÍNTESE HISTÓRICA DA FORMAÇÃO DA CIDADE

A seguir é apresentado o processo de formação da cidade, de maneira a caracterizar o território onde foi implantada e demonstrar os motivos pelo qual se enquadra nos padrões de conflitos entre usos urbanos e as águas, para as análises pretendidas.

4.2.1 O surgimento da Freguesia

Segundo Arriada (1994), o povoamento da região sul do Rio Grande do Sul, incluindo o atual território pelotense, foi inicialmente produto de uma ocupação militar das áreas adjacentes. Essa ocupação, ocorrida a partir de 1737, encontrou parte dessa região desbravada e com vários locais de pouso, sendo conhecidos por: rincões, currais e invernadas. Grande parte dessa população era formada por elementos luso-brasileiros, representados por comerciantes portugueses, tropeiros paulistas, mascates mineiros, soldados, pequenos agricultores açorianos e, finalmente, pela chegada do elemento negro, que efetivamente construíram a cidade.

Estando relativamente consolidado o domínio do litoral e da zona fronteiriça, alastrou-se o povoamento pelos imensos campos, pois uma riqueza propiciava esta expansão: o gado. Surgem então as estâncias, marco inicial do apossamento e fixação do ser humano à terra. Como a estância representava uma estrutura econômica que não oferecia as condições materiais que possibilitassem o nascimento das zonas urbanas, surgem as primeiras charqueadas, que acabam criando as condições ideais para um crescimento demográfico. Nestas charqueadas era realizada a salga da carne bovina.

Quando em 1780 José Pinto Martins instalou sua fábrica à margem direita do pequeno Arroio de Pelotas, nem ele tinha idéia do grande desenvolvimento que essa páleo-indústria iria trazer para esta região. A prosperidade gerada pela charqueada, justificada pela sua ótima localização perto do Porto de Rio Grande e pela facilidade de adquirir matéria-prima, logo levou outros comerciantes a estabelecerem charqueadas por grande parte do curso do Arroio Pelotas, assim como pelo Canal São Gonçalo (Figura 72) e Arroio Santa Bárbara. É importante salientar que a grande vantagem das charqueadas pelotenses foi a facilidade de exportar a sua produção, devido à proximidade destes cursos d'água e

vários historiadores concluem que essa foi a razão fundamental para a prosperidade das charqueadas de Pelotas em relação às outras do Estado, já que o transporte de mercadorias no Rio Grande do Sul, no final do século XVIII e início do século XIX, encontrava extremas dificuldades pelos caminhos terrestres.



Figura 72: Planta de 1838 do Canal São Gonçalo utilizado como meio de transporte (Arriada, 1994)

Não sendo possível o transporte de grande quantidade de mercadorias por via terrestre, não apenas pela morosidade, mas também pela limitada capacidade de carga das carretas, era feita na maior parte por via fluvial, razão para o enorme crescimento e florescimento das charqueadas de Pelotas (ARRIADA, 1994).

A criação de povoados no Rio Grande do Sul, na maior parte das vezes, foi fruto de fortificações ou acampamentos militares. Florêncio de Abreu, em seu trabalho "O gado bovino e sua influência na antropogeografia do Rio Grande do Sul" conclui, ao contrário do que muitos escritores afirmam, que Pelotas foi produto de um processo econômico, decorrente da enorme riqueza gerada pela indústria do charque.

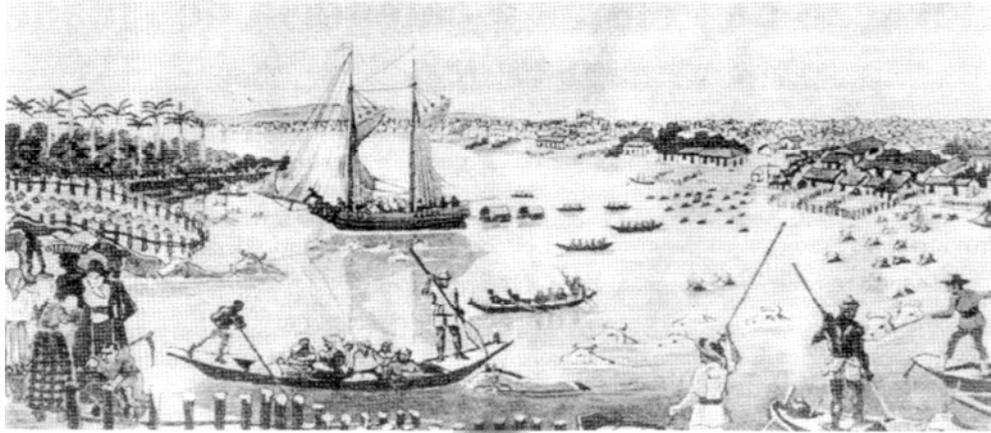
O surgimento da Freguesia de São Francisco de Paula esteve vinculado ao crescimento demográfico da população disseminada pelas margens do Arroio Pelotas e Canal São Gonçalo. Entendiam os moradores que, por não existir ainda uma povoação ou casas reunidas, e apenas charqueadas disseminadas, algumas olarias e fazendas de criação de cultura de trigo, deveria ser tomada uma decisão para a escolha do local. Alberto Coelho Cunha relatou como ocorreu essa questão: "A hypothese de situar a à margem do arroio Pelotas ou do Canal do S. Gonçalo, apesar de muito apreciável vantagem da posse de um porto ao lado, foi desde logo afastada de temor das contrariedades, dam-nos,

transtornos e prejuízos que seriam, de tempos, em tempos, ocasionados pelas enchentes que, galgando barrancas de rios, sobre os campos marginaes se espraiam, e todas as baixadas do littoral inundam e afogam, sob o peso das suas águas”. Depois de longas e demoradas reuniões, três eram as opiniões sobre onde deveria ser erguida a Igreja. Um grupo era de parecer que a sede fosse localizada na estância de D. Isabel Francisca da Silveira, hoje Laranjal, apontando a grande vantagem de ter o estabelecimento um porto, solo elevado e seco, local distante do movimento das tropas. Um segundo grupo dava preferência ao declive da lomba fronteira à várzea que vai ao encontro do Canal São Gonçalo, onde hoje encontra-se o Asilo de Órfãos. Um último grupo era de parecer que a Igreja fosse construída nas terras do capitão-mór Antônio Francisco dos Anjos, local onde hoje está localizada a catedral. Nessas discussões, grande tempo decorreu, desde outubro de 1812 até fevereiro de 1813, não sendo tomada nenhuma decisão que demarcasse o local.

Então, arbitrariamente, o Padre Felício e o capitão-mór Antônio Francisco dos Anjos resolvem começar a construção da Capela em terrenos de sua propriedade. Finalmente, não existindo opiniões divergentes, era construída a pequena capela, onde hoje está assentada a catedral. “Este local veio a ser o melhor: alto, seco, longe o bastante para não sofrer com as enchentes, distante das charqueadas, evitando assim o máximo possível as tropelias de gado bravo, o ‘incômodo da população escrava’, e do mau cheiro das carnificinas, mesmo assim, bastante próximo do canal de São Gonçalo, local futuramente destinado a Logradouro Público (Porto). Estava criada a freguesia, a riqueza do charque impulsionando o nascente Povoado, possibilitando seu crescimento e expansão. As primeiras casas sendo construídas ao redor da Capela, o primeiro esboço de ruas, normas de convívio surgindo dessa nova realidade, as primeiras regras disciplinando esse incipiente mundo quase urbano” (ARRIADA, 1994).

4.2.2 O sítio urbano

Com a exploração da indústria saladeiril, principalmente depois da segunda década do século XIX, houve um crescimento demográfico, seja por pessoas que anteriormente encontravam-se estabelecidas (estancieiros e antigos posseiros), ou por pequenos agricultores, ou ainda, por escravos vindos para o trabalho rude nas charqueadas. O caso é que, pela riqueza da região, essa população foi crescendo. Os locais onde se implantaram a maioria das charqueadas foram: Costa, Dunas, Retiro e zona do São Gonçalo (Figura 73).



Aspecto do Passo das Neves, depois Rico e atualmente Passo dos Negros

Figura 73: Representação do Passo dos Negros no Arroio São Gonçalo, Pelotas (Magalhães, 2000)

A incipiente estrutura que ali se formava começava a apresentar problemas: as tropas de gado selvagem seguidamente causavam perigo à população; as enchentes, pois a maior parte das charqueadas estavam localizadas nas várzeas; a enorme população escrava que, mesmo numa época escravagista, não era bem vista pela sociedade dominante. Havia também a preocupação com o problema de saúde, como o mau cheiro, umidade e moscas, resultante da atividade das charqueadas.

Como relata Arriada (1994), “(...) aliada às razões de ordem econômica e social, podemos agregar uma de ordem geográfica, a de ser a zona onde foi erguido o sítio urbano um terraço amplo e seco, permitindo uma melhor fixação de moradias. Quando ocorria uma ocupação efetiva, como o surgimento de povoações, a Coroa de Portugal logo tomava medidas para disciplinar a urbanização (...). O sítio urbano, que deu origem à cidade Pelotas, foi erguido na parte alta da última ondulação da planície do São Gonçalo, onde hoje está localizada a Catedral e a Praça José Bonifácio.” Pela Planta da freguesia de São Francisco de Paula, de 1815 (Figura 74), podemos ver as primeiras ruas traçadas, distantes das margens do rio, onde comparecem seus primitivos nomes.

Deste modo, todo o terreno mais alto e seco passa a constituir o sítio urbano, permitindo que a partir do primeiro arruamento executado fossem ampliados em direção aos terrenos de Mariana Eufrazia da Silveira, incorporados à nova Freguesia. Seguindo o mesmo traçado em forma de xadrez, foram riscadas novas ruas paralelas às transversais existentes.



Figura 74: Planta do primeiro loteamento de 1815 (Arriada, 1994)

Estavam, assim, criadas as condições materiais e físicas para que a povoação de São Francisco de Paula atingisse uma situação de fato para pleitear a instalação da Vila. “Ainda existia um mundo rural pulsando, mas já se notava que outro mundo surgia: ruas eram traçadas, olarias despontavam por vários lados, denotando uma utilização maior de tijolos na construção; medidas eram tomadas para resguardar os Logradouros Públicos, os Poços d’água; praças surgiam, espaços eram demarcados para futuras construções com hospitais, quartéis e locais para as atividades administrativas. O povoamento e a urbanização tendiam, pela nova organização social e tipos de atividade, a tornar-se urbano” (ARRIADA, 1994).

4.2.3 De Freguesia à Cidade

O período conhecido como ciclo do charque criou as condições materiais para que o Rincão das Pelotas, outrora apenas local de criação de gado e pequenas lavouras, pudesse consolidar as charqueadas como grandes fábricas de beneficiamento de carne. Dessa nova estrutura sócio-econômica, Pelotas logo colheu os frutos, resultando rapidamente em crescimento populacional. Em 1816, Antônio Gonçalves Chaves descreve uma importante notícia sobre a Freguesia:

Comprimento 15 léguas, largura 7. Lançaram-se os fundamentos da pequena igreja matriz dessa freguesia em 1814. O primeiro e digno pároco, o Padre Felício Joaquim da Costa Pereira lhe deu princípio em um terreno pertencente ao Capitão-mór Antônio Francisco dos Anjos, situado entre o pequeno rio de Santa Bárbara e o S. Gonçalo (a 600 braças da confluência daquele), em terreno bastantemente levantado para se poderem esgotar e assear

as ruas, quando haja Polícia: atualmente quase todas são pantanosas. Não há pessoa nenhuma que visite esta povoação sem surpresa, quando sabe que só 8 anos desde sua fundação em um ermo. Sua posição geográfica é das mais vantajosas da província: não distando mais de três léguas da confluência do S. Gonçalo, que comunica as duas lagoas dos Patos e Mirim, vem a ser o centro de todo o comércio deste grande espaço que elas circundam, e à proporção que as povoações do interior cresçam, ela crescerá sobre todas até ser uma grande cidade. Na sua circunvizinhança estão situadas 22 fábricas de carne-seca (charqueadas) e é destes estabelecimentos que esta freguesia deriva por ora a sua maior riqueza, estabilidade e população. (ARRIADA, 1994)

Pode-se perceber que todos os relatos apontam a riqueza produzida pelas charqueadas como fator de crescimento, estabilidade e opulência da Freguesia. Outro aspecto salientado é quanto à sua localização, da grande vantagem de estar localizada próximo ao São Gonçalo e das facilidades decorrentes deste fato. O crescimento urbano, nessa época, tendia a aproximar-se mais do São Gonçalo e do Arroio Santa Bárbara (Figura75), expandindo-se pelos terrenos que pertenceram a Mariana Eufrázia da Silveira.



Figura 75: Planta de 1835, indicando o crescimento urbano. Vê-se à esquerda o Arroio Santa Bárbara e na extremidade inferior o Rio São Gonçalo. À direita estão as áreas pantanosas (Arriada, 1994)

Em direção ao Norte, sua expansão era pouca ou quase nula, conforme relata Alberto Coelho Cunha:

O povoamento da freguesia, começando pelas alturas da igreja matriz, para o norte não alcançava; tendia a tomar a sua expansão para o sul, em busca de se aproximar dos cursos d'água do Santa Bárbara e do S. Gonçalo. Da larga rua do Passeio Público que sem contar ainda edificações, estava apenas traçada na planta da povoação, em terras do Capitão-mór, para os rumos que para o norte se arqueam estendia-se vasta região deserta. (ARRIADA, 1994)

Assim, a Freguesia já possuía sua Capela, tinha traçado e demarcado o perímetro urbano, contendo dentro deste sítio várias casas de material, muitas delas com requintes de luxo. Sua população, que o primeiro censo de 1814 acusou 2.419 habitantes, em 1822 atingia 3.400 habitantes, para, em 1830, chegar aproximadamente a 4.300 habitantes no seu perímetro urbano, e com mais de 500 casas, criava condições para a implantação da aspiração de toda comunidade: a Vila. Transcorrido apenas 3 anos da criação da Vila, foram enviados à Assembléia Legislativa dados sobre sua população e seus prédios, com intuito de pleitear a elevação à cidade. Finalmente, por Lei de 27 de junho de 1835, São Francisco de Paula foi elevada à condição de cidade com o nome de Pelotas.

Quanto à origem do nome, historiadores relatam que os indígenas rio-grandenses, usando uma canoa de couro para a travessia dos rios, batizaram-na de pelota. Por esse motivo, o arroio Pelotas recebeu o nome das embarcações freqüentemente utilizadas na sua travessia. A partir da proliferação das charqueadas nas terras marginais da costa do arroio Pelotas, esse nome passou a designar, genericamente, a movimentada região. Quando a Vila de São Francisco de Paula foi elevada à categoria de cidade, foi aprovado o nome de Cidade de Pelotas, em homenagem "ao fato histórico (estabelecimento das charqueadas) que aglomerara com a rapidez do raio a gente e a riqueza da localidade", na expressão de Domingos José de Almeida (ARRIADA, 1994).



Em seu brasão, está ilustrada a cena de um índio sendo puxado numa pelota, embarcação que originou o nome da cidade, destacando a forte relação das ocupações com a presença das águas desde sua formação. Neste relato histórico, os destaques demonstram a importância que a situação geográfica, em relação aos rios, teve para o desenvolvimento econômico da região do sul do Estado, para a criação e formação da identidade da cidade de Pelotas. Na sequência, é feita a caracterização da região onde está implantada a cidade, ressaltando aspectos do meio físico relevantes para melhor compreensão da área estudada.

4.2.4 Expansão urbana e rural

A ligação radial que se estabeleceu entre a área ocupada pelas charqueadas e o sítio escolhido para implantação da vila, foi tendo as margens deste percurso gradativamente ocupadas, região esta inicialmente denominada Dunas, atual bairro Areal. A ocupação mais intensa desta área remete ao período de 1926 e 1932, onde constatou-se uma média de 5 aprovações de loteamentos anuais (Figura 76).

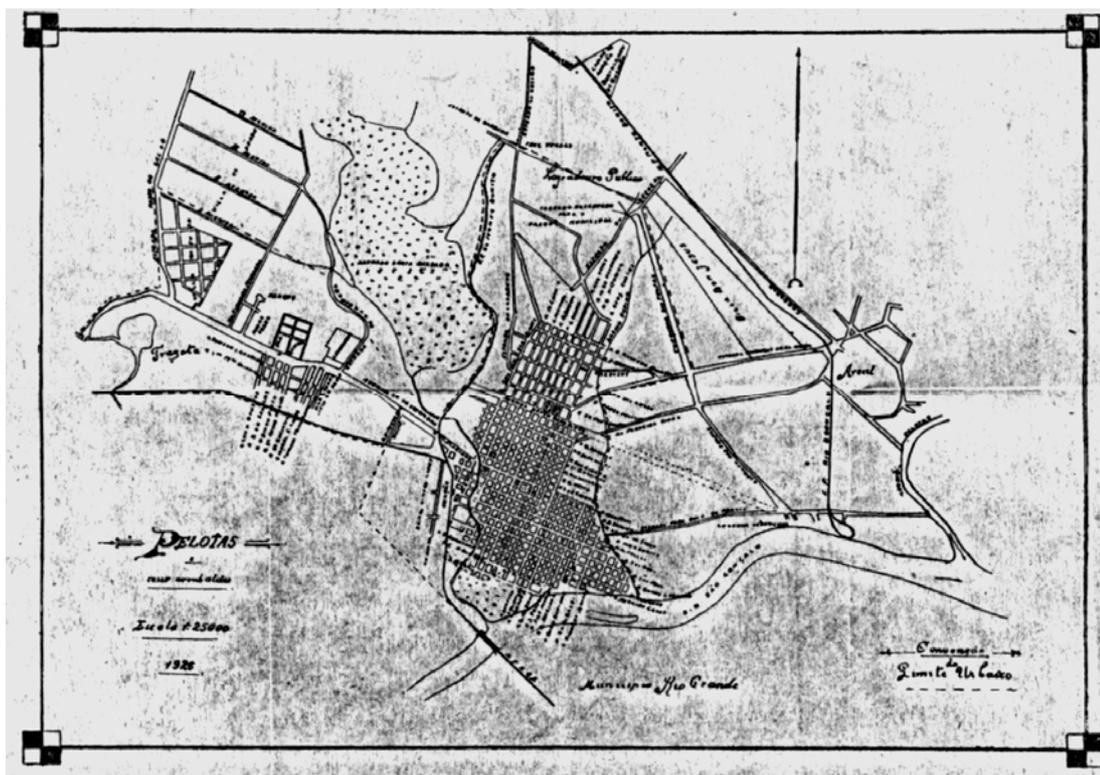


Figura 76: Mapa confeccionado em 1926 ilustra a ocupação do território na época (BMP, 1998)

Com a importância adquirida pelas ligações terrestres e a conseqüente substituição dos meios originais de transportes fluviais pelo transporte rodoviário, as ligações entre o núcleo urbano/fronteira e o núcleo urbano/porto Alegre se impuseram como radiais de grande importância para a vida e o desenvolvimento do assentamento inicial. A legitimação da importância destas radiais se dá pela própria composição física da cidade com o bairro Fragata, consolidando-se ao longo do eixo núcleo/colonial/fronteira e Três Vendas, ao longo do eixo núcleo/Porto Alegre. As etapas de ocupação do território urbano são demonstradas através do esquema da Figura 77.

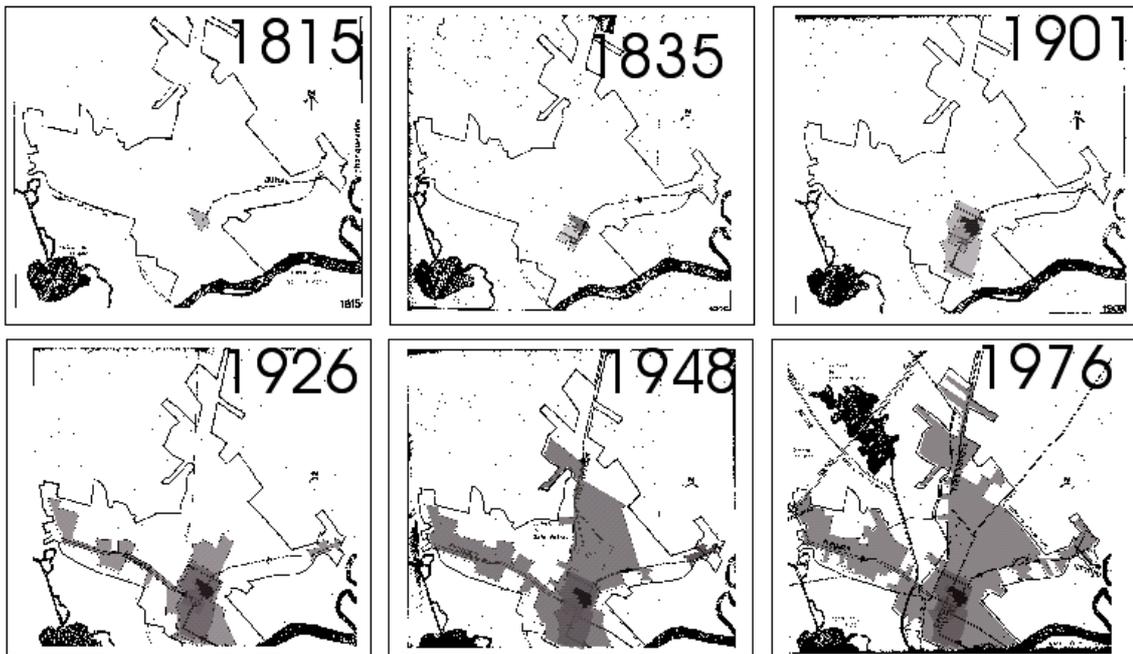


Figura 77: Evolução urbana de 1815 a 1976 (Elaborado sobre PMP, 2001)

Um exame do modelo espacial de crescimento de Pelotas não deve desconsiderar que a sua área central e as áreas imediatas foram constituídas no passado através de um processo de ocupação menos desordenado, orientado por critérios culturais mais estáveis, do qual resultou um espaço urbano relativamente homogêneo, que merece além de ser preservado, conduzir sua ocupação territorial com adequação ao sítio físico. Na Figura 78, uma síntese da evolução urbana, construída pelos registros do parcelamento do solo, desde a data de fundação da cidade em 1815, até o ano 2000.

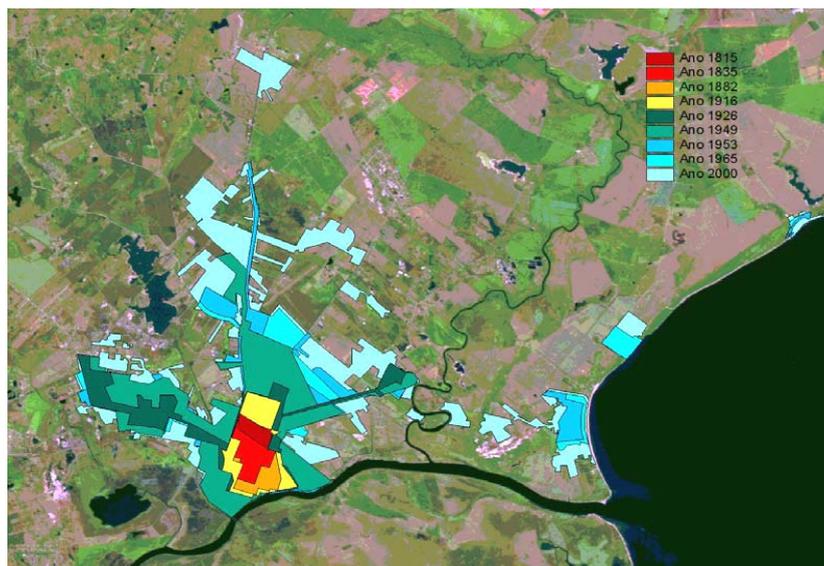


Figura 78: Evolução urbana de 1815 à 2000 representada sobre LANDSAT-7 de 2000 (Polidori, 2005)

Todos os aspectos até agora descritos, são considerados relevantes porque incidem, direta ou indiretamente, no agravamento dos problemas decorrentes da inadequação da urbanização ao regime hídrico de Pelotas. Os aspectos relacionados ao meio físico e aos ecossistemas são apresentados na etapa seguinte.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DO MUNICÍPIO

O município de Pelotas situa-se na Região fisiográfica denominada Encosta do Sudeste, uma das 11 regiões em que está dividido o Rio Grande do Sul, localizando-se desde as ondulações mais baixas da encosta oriental da Serra dos Tapes até a planície sedimentar da margem ocidental do Canal São Gonçalo. Com uma área de 2.205km², Pelotas é também um dos maiores municípios do Rio Grande do Sul em extensão territorial (Figura 79). Pela sua localização em encosta, apresenta duas regiões distintas, a região serrana, elevada e ondulada onde se localiza a zona da colonização de imigrantes, e a região de planície, extremamente baixa e plana correspondendo ao território urbano. O município tem altitude média de 7 metros em relação ao nível do mar e o ponto culminante é o Cerro do Gerivá, no 5º Distrito, com 360 metros.

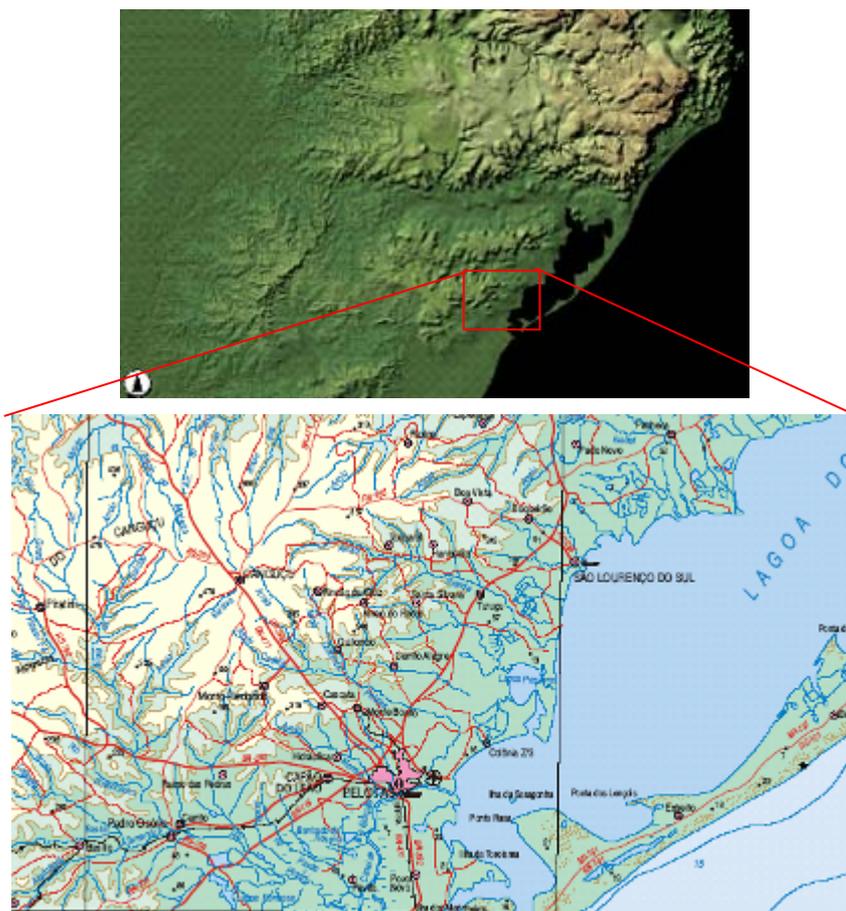


Figura 79: Representação do relevo da região Encosta do Sudeste (IBGE, 2006)

4.3.1 Biodiversidade

Segundo Schlee et al (2004), um dos conceitos importantes a ser destacado é o termo biorregião, que denota um espaço geográfico que abriga integralmente um ou vários ecossistemas. Caracteriza-se por uma análise ecossistêmica, cultural e econômica na relação de determinada sociedade com o ambiente natural no qual está inserida. O manejo biorregional procura englobar ecossistemas inteiros, de modo a proteger e garantir o equilíbrio de sua comunidade residente e o potencial dos recursos naturais em suas biorregiões, através de uma análise ecológica, social e econômica interagindo de forma conjunta e complementar. O biorregionalismo refere-se à terra natal como um espaço geográfico que abarca suas fontes de fornecimento de água e outras características ecológicas-chave, a produção de alimento, florestas e áreas naturais, os espaços urbanos e sua infra-estrutura.

A Biorregião de Pelotas está inserida em duas regiões geomorfológicas e fitoecológicas bem distintas e com características próprias, onde o ambiente natural apresenta íntima relação e evolução de seus ecossistemas ao longo do espaço e do tempo, associados a características estruturais, tectônicas e estratigráficas do meio físico.

A área urbana do município está estabelecida na província geomorfológica da Planície Costeira, que caracteriza-se por apresentar uma extensa planície litorânea com sedimentação de origem Quaternária, que constitui a parte emersa da bacia sedimentar de Pelotas associada a um vasto complexo lagunar, onde evoluiu o ecossistema/bioma de Restinga ou da formação denominada Áreas de Formações Pioneira (Figura 80).



Figura 80: Visualização das características da planície onde está implantada a zona urbana de Pelotas, com o banhado natural em primeiro plano (Schlee et al, 2004)

A área rural está inserida dentro da formação geológica do Embasamento Cristalino ou Escudo Cristalino Sul-Riograndense, que corresponde à Serra do Sudeste. Esta região pertence ao domínio Morfoestrutural dos Embasamentos em estilos complexos, o qual se

refere aos grandes maciços de rochas cristalinas, pertencentes ao período pré- cambriano (Figura 81).



Figura 81: Vista da zona rural de Pelotas, ao fundo a planície onde está implantada a zona urbana (Schlee et al, 2004)

O Bioma de Restinga é constituído por um conjunto vegetação heterogênea formado por complexos mosaicos de comunidades vegetais, quer herbáceas, arbustivas, arbóreas e epifíticas, que compõem os principais ecossistemas formadores da Restinga Litorânea: Matas de Restinga Arenosa, Matas de Restinga Paludosa, Banhados, Campos arenosos secos e Campos arenosos Úmidos. (Figuras 82 e 83)



Figura 82: Aspecto das matas de restinga: (a) paludosa; (b) arenosa (Schlee et al, 2004)



Figura 83: Mata de restinga e banhado (Schlee et al, 2004)

Dentro da análise sobre a Biodiversidade da biorregião de Pelotas, contextualizada na realidade de fragmentação e contínua perda de diversidade, os ecossistemas florestais estão em íntima relação com centros ou núcleos de Alta Diversidade, que extrapolam as fronteiras do município e criam uma relação direta com áreas florestais Primárias maiores, localizadas em municípios vizinhos e que ainda mantêm as últimas populações de algumas espécies de fauna e flora que somente se manterão viáveis se consideradas sua Inserção Regional, dentro de Ecossistemas Florestais que mantenham assegurados e mantidos seus fluxos populacionais contínuos de indivíduos e espécies (Figuras 84 e 85).



Figura 84: Exemplos dos ecossistemas florestais (Schlee et al, 2004)



Figura 85: Exemplos das espécies características da biorregião descrita (Schlee et al, 2004)

4.3.2 Geologia

Pelotas apresenta as duas principais formações geológicas, a chamada de Escudo Rio-Grandense, parte integrante do Escudo Brasilidas-Guiana-Patagônia da América do Sul, com a formação de *gneiss* em Monte Bonito. A outra formação é derivada dos sedimentos das rochas magmáticas, granitos e *gneiss* associados, ou em mistura com sedimentos de origem marinha (Figura 86).

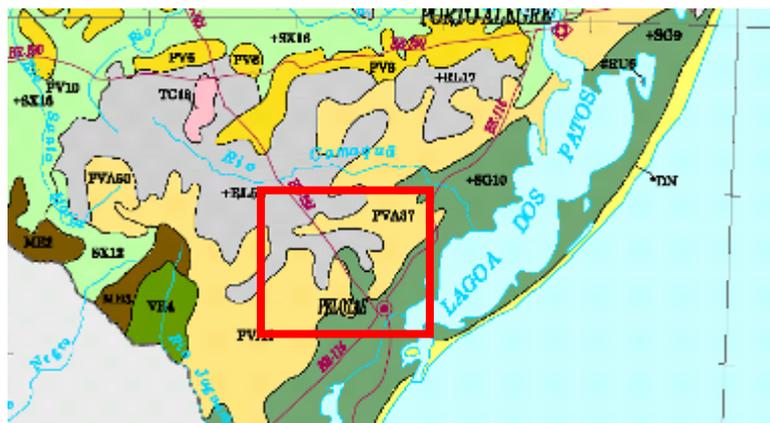


Figura 86: Formações geológicas do município de Pelotas (IBGE, 2005)

4.3.3 Solos

As unidades de grandes grupos de solos encontrados no território do município são: Litossolo, Castanho Acinzentado Podzólico com duas fases, Vermelho-Amarelo Podzolizado, Planossolo, Aluvião Bem Drenado, Aluvião Mal drenado, Podzol Hidromórfico no bairro Laranjal e as Dunas na orla da Lagoa dos Patos (Figura 87).

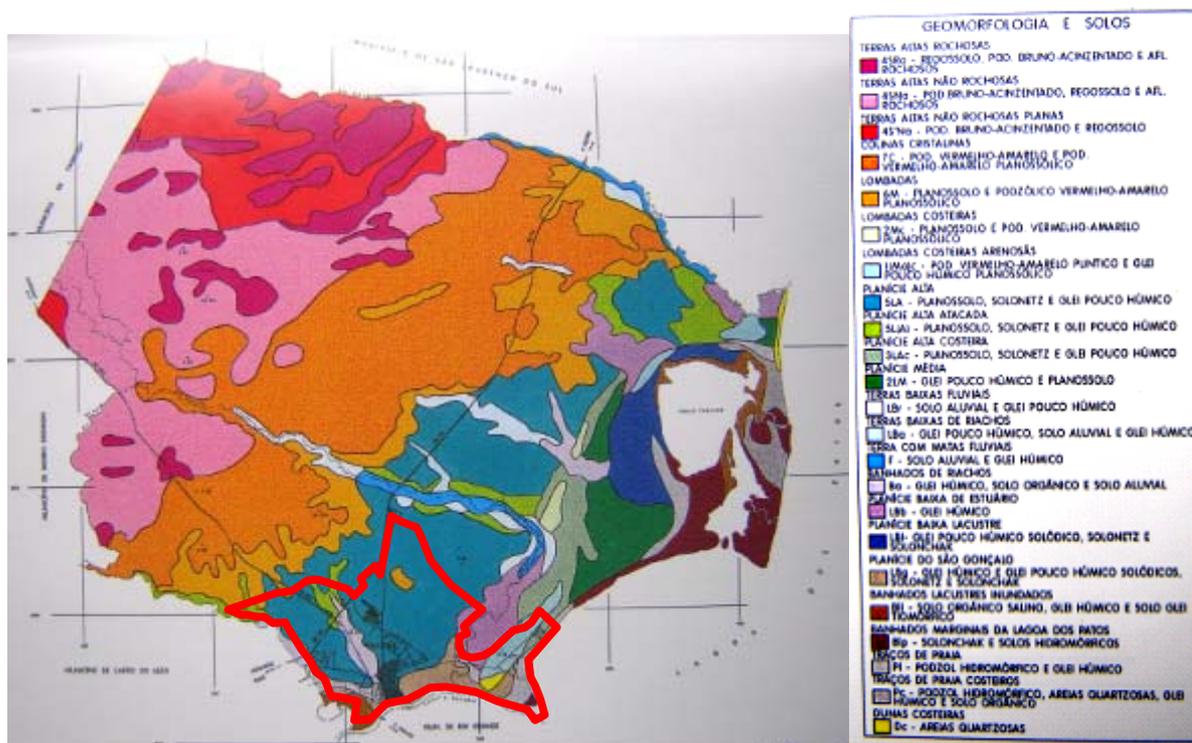


Figura 87: Geomorfologia do município de Pelotas e delimitação da zona urbana (EMBRAPA, 1998)

Compreendem ao território urbano:

- a) Planossolo: unidade de solos localizado no primeiro platô, entre as cotas 8 a 15m de altitude, caracterizada por apresentar horizonte A de textura franco-arenosa, estrutura

granular fina e um subsolo ou horizonte B impermeável, com camada adensada de argila que impede o movimento vertical da água no solo. Presta-se para culturas irrigadas.

b) Aluvião Bem drenado: unidade de solo com horizonte A de textura arenosa, estrutura esmiuçada fina, com lençol freático a 1,40 metros da superfície, caracteriza-se por ter fertilidade muito baixa. Esta unidade estende-se ao longo do curso dos arroios, rios e lagoas, atravessando pequenas, médias e grandes propriedades rurais.

c) Aluvião Mal Drenado: unidade de solo que apresenta lençol freático em nível com a superfície das águas do Canal São Gonçalo, Lagoa Pequena e Lagoa dos Patos, passando submersa de junho a agosto, denominada de campos de meia vida, pois só podem ser utilizadas de outubro a maio a cada ano, especialmente quando não há enchentes de primavera-verão. A vegetação predominante é de banhado, não se prestando para agricultura. Está localizada nas grandes propriedades, especialmente na orla do São Gonçalo, Lagoa dos Patos e Pequena.

d) Podzol Hidromórfico: Unidade de solo situada entre o Arroio Pelotas, a Lagoa dos Patos e o Arroio Contagem, especialmente no Laranjal, antigo 2º Distrito de Pelotas. Está na cota de 8 metros, com textura de areia fina com húmus, estrutura esmiuçada fina, sendo muito permeável.

e) Dunas: na orla da Lagoa dos Patos, junto aos balneários Valverde, Santo Antônio, Prazeres, Camping Municipal, Ilha da Feitoria e ponta da Feitoria, estão localizadas as dunas, unidade de solo árida, constituída especialmente de areia solta que é arrastada pelos ventos, imprópria para a agricultura.

4.3.4 Condições climáticas

Como na maior parte do Rio Grande do Sul, o clima de Pelotas é subtropical úmido, sem estação seca. Localizada na região litorânea a cerca de 60 Km do Oceano Atlântico, tendo um relevo de planície e recebendo ventos principalmente de quadrante leste, Pelotas apresenta no seu clima forte influência marítima, que se manifesta na elevada umidade atmosférica e na amenização da temperatura, tanto no inverno quanto no verão. Essa elevada umidade atmosférica se evidencia no alto índice de umidade relativa do ar (80%), na freqüente formação de nuvens que encobrem o sol em quase metade dos dias do ano e ainda na ocorrência de densos nevoeiros de maio a agosto.

Devido também à influência do mar, o inverno não é rigoroso, assim como o verão não é muito quente. A média das mínimas é 13,4°C e das máximas 22,9°C, o que dá uma noção das temperaturas que ocorrem com mais freqüência no inverno e verão, respectivamente. Situado entre 31º e 32º de Latitude Sul, o município se encontra na faixa

de altas pressões de latitudes médias, apresentando por isso, principalmente no outono, um estado atmosférico anticiclônico, caracterizado por ar descendente e estável, do qual resultam dias luminosos sem nuvens e noites frias.

a) Pluviometria

A média anual de precipitação em Pelotas, medida entre 2000 e 2004 é de 1.703,94 milímetros. No município, a quantidade de chuva aumenta para o interior e para o norte. As precipitações mais reduzidas na área costeira do que no interior devem-se às influências estabilizadoras das baixas temperaturas marítimas. No interior, o acréscimo de chuvas resulta da influência do relevo, que é mais elevado e, por isso, retém ventos úmidos do oceano e provoca turbulência no ar.

Em Pelotas chove 101 dias, em média, por ano. A distribuição da chuva durante o ano é uniforme, não ocorrendo estação seca. A distribuição por estação é: no verão 305 mm, no outono 365 mm, no inverno 361 mm e na primavera 315mm. De maneira geral, observa-se que chove menos em Janeiro e o mês mais chuvoso é Abril. Destaca-se o valor de 491,4mm em maio de 2004, índice pluviométrico que ocasionou a inundação com maiores prejuízos na cidade. Portanto, para o monitoramento e controle da drenagem das áreas com risco de cheias, estes dados tornam-se importantes para alertar quanto à possibilidade de ocorrências nesses períodos do ano (Tabela 6).

Tabela 6: valores pluviométricos mensais, com indicação de 491,4mm em maio/2004, quando ocorreu inundação na cidade (ITEPA , 2006)

MÊS/ANO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MÉDIA
Janeiro	42,8	143,4	178,9	28,0	67,2	70,0	88,38
Fevereiro	67,1	173,1	137,1	295,8	71,0	96,4	140,08
Março	129,0	170,1	349,4	143,8	47,2	77,8	152,88
Abril	54,5	261,0	247,4	151,0	132,0	196,6	173,08
Maio	241,2	96,0	128,8	59,2	491,4	99,0	166,60
Junho	199,2	208,5	144,6	246,2	57,7	28,2	147,40
Julho	144,8	146,2	109,4	97,4	95,6	42,2	105,93
Agosto	133,3	51,4	187,2	93,4	94,4	ND	111,94
Setembro	171,0	229,4	179,0	115,5	89,3	ND	157,00
Outubro	118,4	66,6	196,9	48,8	112,0	ND	108,54
Novembro	137,4	205,8	114,2	103,2	91,5	ND	130,42
Dezembro	52,6	124,5	340,6	76,3	28,6	ND	124,52
TOTAL	1.491,3	1.876,0	2.314,3	1.460,2	1.377,9	441,2	

b) Ventos Predominantes

Predominam durante o ano os ventos de Nordeste e de maio a agosto os ventos de Sudoeste. Em todas as estações, a área de Pelotas sofre influência da massa de ar Tropical Atlântica, de características marinhas e cujos níveis inferiores se umidificam rapidamente. No verão, o município sofre influência da massa de ar Equatorial Continental que,

ascendendo sobre as cunhas frias do ar Polar, produz chuvas frontais e trovoadas. Tais massas de ar determinam uma elevada umidade atmosférica e distribuição equilibrada de chuvas em todas as estações do ano. A velocidade média anual dos ventos é 11 Km/hora, sendo maior de setembro a dezembro (13 a 14 Km/hora) e menor de abril a julho (9 a 10 Km/hora). Os valores mais altos ocorrem ao longo da costa, no Laranjal e Centro. Em outros períodos, além do fim do inverno e primavera, podem ocorrer vendavais, associados com atividades convectivas em massas de ar tropical, dando origem a tempestades de maior intensidade.

4.3.5 Hidrografia do Município

Segundo definição da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM - do Ministério das Minas e Energia (RODRIGUES FILHO, 1998), a bacia Mirim - São Gonçalo está inserida na área de drenagem do Atlântico Sudeste, tratada como Bacia 8 no Atlas Hidrológico, ANEEL/SRH, ilustrada na Figura 88. Esta bacia estende-se ao longo do litoral desde a divisa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro entrando em território Uruguaio.



Figura 88: Divisão das bacias brasileiras e sub-bacias do Sul (Rodrigues Filho, 1998)

Um dos principais aspectos da hidrografia de Pelotas é que o município está situado às margens do Canal São Gonçalo, que liga as Lagoas dos Patos e Mirim, com 10.144 km² e 2.966 km², respectivamente, as duas maiores do Brasil, e cujas bacias contribuintes recebem 70% do volume de águas fluviais do Rio Grande do Sul. A bacia do Atlântico sudeste (bacia 8) é uma das menores em extensão, com 224 mil km², dos quais 183 mil km² são referentes às áreas de drenagem do Complexo Lagunar Patos-Mirim. Pode-se

distinguir, no município, 7 bacias fluviais: Arroio Turuçu, Corrientes, Contagem, Pelotas, Moreira/Fragata, Santa Bárbara e Costeira/Laranjal. (Figura 89).

A hidrografia de Pelotas associa-se às condições geológicas, topográficas, climáticas e botânicas. A geologia de rochas permeáveis possibilita a formação de muitos lençóis de água subterrânea, o declive do relevo determina a direção geral oeste-leste dos principais arroios, enquanto que o clima com chuvas moderadas e bem distribuídas explica, em parte, o regime regular das águas correntes.

Essa situação hidrográfica de Pelotas tem importantes reflexos sobre os aspectos físicos e humanos do município, devido às possibilidades de contatos externos que cria, e pela existência de dois grandes mananciais de água doce em suas extremidades. A devastação das matas ciliares tem sido responsável pela formação de bancos de areia que estão assoreando vários arroios. O atual Distrito Industrial está situado nas proximidades do lago da Barragem Santa Bárbara e a colônia de pescadores situada à margem da Lagoa dos Patos. Logo, é urgente a necessidade de fiscalização e monitoramento da utilização destes recursos hídricos, para evitar a destruição dos mesmos.

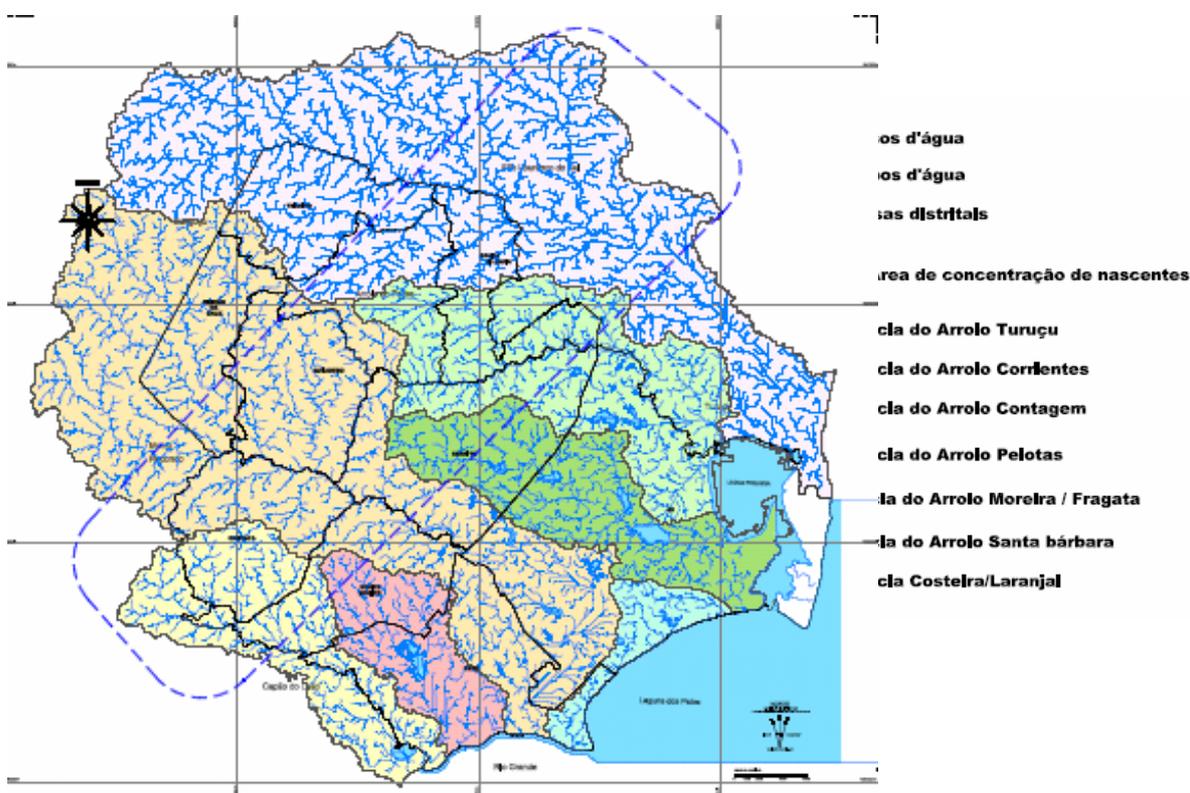


Figura 89: Esquema de divisão das bacias hidrográficas do município de Pelotas (PMP, 2006)

4.3.6 Bacias Hidrográficas Urbanas

A cidade de Pelotas está localizada na Planície Costeira do RS, às margens da Lagoa dos Patos. O sítio da zona urbana compreende as várzeas do arroio Fragata (a oeste), o arroio Pelotas (a leste) e o canal São Gonçalo (ao sul), constituindo uma exceção a zona norte da cidade que é uma superfície de terraço. A área ocupada pelo perímetro urbano é de 192,65 km², o que representa apenas 8,73% da área total de 2.205 km² do Município, mas onde a zona urbana concentra 93,43% da população total. As bacias que compõem o território urbano são Pelotas, Santa Bárbara, Pepino e Moreira (Figura 90).

a) Bacia do Arroio Pelotas

Destaca-se das demais pela extensão, pois ocupa mais de 1/3 da área do município. Situada no centro-norte, estende-se desde o extremo oeste na fronteira com Canguçu onde até o limite oriental representado pelo Canal São Gonçalo. Drena as terras dos Distritos de Quilombo, Cascata e Laranjal. O Arroio Pelotas, principal rio da bacia com cerca de 60km de extensão, é o maior curso d'água de Pelotas. Suas nascentes localizam-se no Distrito da Cascata, nas proximidades dos limites com Canguçu, a 200 metros de altitude.

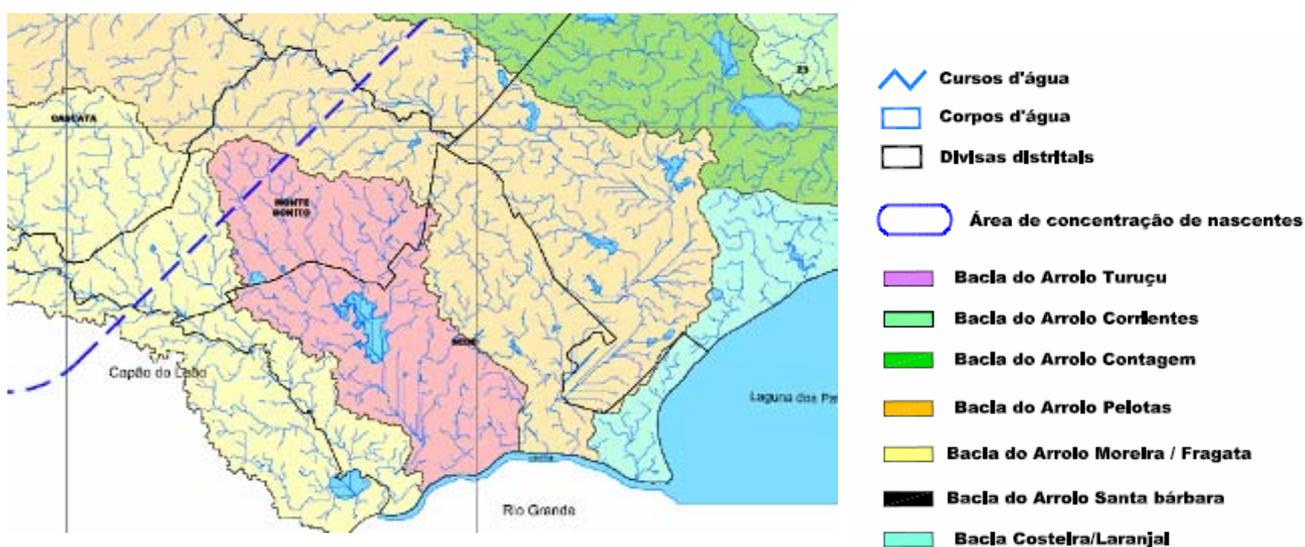


Figura 90: Bacias hidrográficas urbanas (PMP, 2005)

Tem a direção geral oeste-leste bem definida até que, no Laranjal já nas proximidades da lagoa dos Patos, muda bruscamente o rumo, formando um “cotovelo”, e passa a correr de norte para sul, até desaguar no canal São Gonçalo. Possui no baixo curso uma hidráulica destinada a abastecer a cidade. Os maiores afluentes do Arroio Pelotas localizam-se no seu curso superior, destacando-se o Arroio Quilombo, na margem esquerda com 25 km de extensão, que nasce na área mais elevada do Município (noroeste) a 300 metros de altitude. Localiza-se totalmente no Distrito de Quilombo, drena as águas de

uma expressiva bacia e possui uma importante represa destinada ao abastecimento de água da cidade.

b) Bacia do Arroio Santa Bárbara

Localiza-se ao sul da bacia do Pelotas, é uma das menores bacias do município com 83 km², porém muito importante para a cidade devido à barragem que represa suas águas. A parte superior da bacia situa-se no Distrito de Monte Bonito e o restante no Distrito Sede de Pelotas, a zona urbana. Destaca-se, na porção central da bacia, o grande lago artificial de 400 hectares formado pela construção da barragem, em 1968, com duplo objetivo de evitar inundações na zona urbana e abastecimento de água à cidade. O Arroio Santa Bárbara, com 15 km de extensão, encontra-se todo canalizado a partir da referida barragem, desaguando no canal São Gonçalo, ao sul da zona urbana, nas proximidades da ponte rodoviária de acesso à Rio Grande. A porção da bacia situada logo após a barragem, entre os bairros Fragata e Três Vendas, é muito baixa e alagadiça. Vários cursos d'água, alguns intermitentes, alimentam o Lago Santa Bárbara, para onde se dirige a Sanga da Barbuda. A área alagável da bacia do Santa Bárbara que tem superfície plana, raramente ultrapassa a cota de 2,5 metros. Essa característica topográfica, facilmente alagável, se estende por toda esta área, o que em parte explica a necessidade de adaptação das construções ali implantadas, como no caso da Vila Farroupilha, bem como a existência de alguns vazios urbanos neste setor da cidade.

c) Bacia do Arroio Pepino

Na porção oriental da área urbana, inclusive definindo o limite entre o bairro Areal e o restante da cidade, corre o Arroio Pepino, totalmente canalizado e que nasce no ponto de convergência das avenidas República do Líbano e Salgado Filho, e deságua no Canal São Gonçalo. Tem a extensão de 5km, aproximadamente.

d) Bacia do Arroio Moreira

No extremo sul do município encontra-se a Bacia do Arroio Moreira, cuja maior parte do território se localiza nos Distritos da cascata e Monte Bonito. Uma pequena parte dessa bacia, à margem direita incluindo a Lagoa do Fragata, pertence ao Município de Capão do Leão. O trecho final da bacia do Moreira possui uma área com extensos banhados e importantes areais. O Arroio Moreira nasce a 200 m de altitude, na Serra da Buena no Distrito da Cascata, e desemboca no Canal São Gonçalo após percorrer cerca de 25 km. Constitui um dos 3 mananciais de abastecimento de água da cidade. Os maiores afluentes

situam-se na margem esquerda: arroios Pestana, Michaela (com represa para abastecer a cidade) e Moinho; na margem direita destaca-se o arroio Taquara, situado no curso superior do Moreira. Na Figura 91, o perfil representando o relevo e o curso dos arroios urbanos.

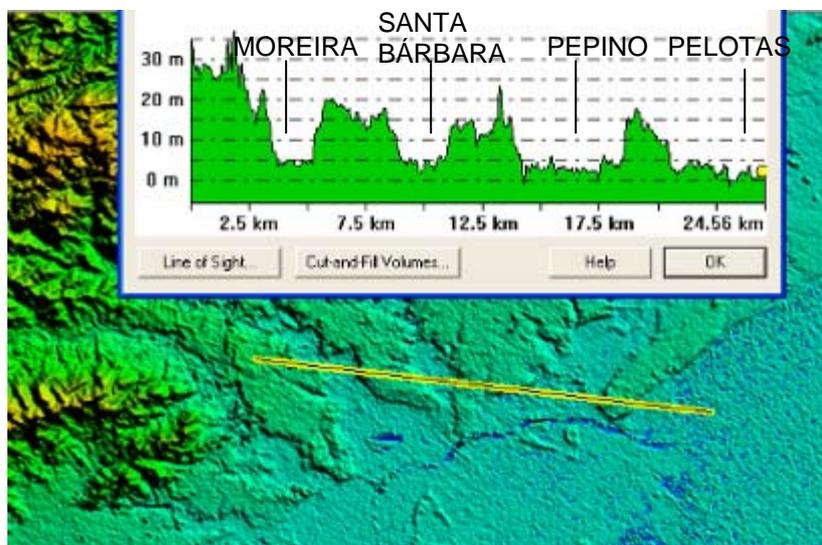


Figura 91: Perfil gerado no MDT do território municipal, com indicação da variação dos relevos que compõem as bacias hidrográficas urbanas (Elaborado pelo autor)

4.3.7 O Canal São Gonçalo

O Canal São Gonçalo é o escoadouro natural das águas da Lagoa Mirim, que através do canal e da Lagoa dos Patos atingem o Oceano Atlântico. Pelo São Gonçalo, portanto, escoam-se as águas drenadas pela Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim, cuja superfície é de cerca de 61.500 km², dos quais 29.500 km² no Brasil e 32.000 km² no Uruguai. Como consequência de suas características, ligando duas massas líquidas de grandes volumes, o São Gonçalo apresenta um regime de escoamento extremamente complexo, invertendo periodicamente o sentido de sua corrente, o que lhe vale a designação de canal. Estendendo-se através de uma planície sedimentar de formação recente, com um curso particularmente sinuoso (Figura 92), o São Gonçalo possui uma extensão de 75km, com larguras variáveis em torno de 200m, e profundidade também variáveis, oscilando em torno de 6 metros.



Figura 92: Mapa hipsométrico da bacia da Lagoa Mirim, que destaca em amarelo a várzea inundável do Canal São Gonçalo (CLM, 1970)

A descarga média do São Gonçalo é de 700 m³/seg o que, considerando uma seção de escoamento média de aproximadamente 1.200 m², corresponde a uma velocidade de fluxo da ordem de 0,6 m/s em regime normal. Em função de um regime pluviométrico de alta irregularidade, o canal São Gonçalo tem apresentado descargas máximas da ordem de 3.000 m³/s durante a ocorrência de inundações, onde há estimativa de cheia máxima até o nível 5,0m / NMM - Datum Torres (CLM, 1970).

Por outro lado, nas estiagens prolongadas, chega até mesmo a reduzir tal descarga a zero, quando aliado ao efeito dos ventos, geralmente se verifica a inversão de sentido em sua corrente, causando a intrusão de água salgada na Lagoa Mirim. Um barragem para conter essa intrusão prejudicial à irrigação de lavouras e abastecimento da população (Figura 93), foi construída em 1977, com custo aproximado de US\$ 6 milhões, sob coordenação do extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (ALM, 2001).



Figura 93: Indicação no mapa e vista aérea da barragem Eclusa, responsável por evitar a salinização das águas do São Gonçalo usadas para irrigação e abastecimento (ALM, 2001)

4.3.8 Sistema de drenagem e proteção contra enchentes de Pelotas

A área urbana de Pelotas abrangida pelo Sistema de Proteção contra Enchentes encontra-se numa altitude média de 7 metros sobre o nível médio do mar, estando limitada ao sul pelo Canal São Gonçalo, ao norte pelas superfícies do terraço da formação Graxaim, a oeste pela planície de inundação do Arroio Fragata e a leste com a Laguna dos Patos. Os arroios Santa Bárbara, Pepino e Pelotas constituem seus principais drenos naturais, todos afluentes do Canal São Gonçalo. Estes cursos d'água compõem a rede de macrodrenagem da cidade. Com topografia predominantemente plana e poucos declives, mesmo nas regiões mais altas ocorrem freqüentes alagamentos por ocasião de chuvas intensas, causando prejuízos e desconforto à população.

A vazão do Canal São Gonçalo já alcançou valores da ordem de 4.000 m³/s nas grandes cheias registradas em 1941, 1977 e 1984 (SANEP, 2000), quando extravasou ocupando sua própria planície de inundação sobre a qual está assentada grande parte da área urbana de Pelotas. No período de 1940 à 1990, o extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS projetou e executou, parcialmente, um conjunto de obras que integram o Sistema de Proteção contra Inundações da Cidade de Pelotas, visando a proteção das cheias do Canal São Gonçalo. A Prefeitura Municipal contratou uma empresa de Engenharia para realizar estudos e projetos de obras que constituem o Sistema de Drenagem e Proteção contra Enchentes de Pelotas. Na Tabela 7 pode-se verificar que a maior parte destas não foi realizada completamente.

Tabela 7: Obras previstas no Sistema de Drenagem e Proteção contra Enchentes de Pelotas (Rotary, 2001)

Drenagem e Proteção Contra Inundações: Planos e Projetos Existentes			
ZONA	ORGAO	ÁREA ATENDIDA	SITUAÇÃO ATUAL
Zona Leste Cura-Areal (Baroneza)	PMP	Bairro Areal.	Total – Necessita ampliar Capacidade das bombas.
Zona Sul	DNOS	Várzea, B. Simões Lopes, partes do Porto e Centro .	Faltam Casa de Bomba e obras complementares.
Arroio Pepino Cura-Areal (Baroneza)	DNOS	Centro e parte do Porto.	Total
Santa Bárbara Cura-Fragata	PMP	Bairro Fragata	Total.
Laranjal e outros Plano Dren. Urbana.	PMP	Aproximadamente 70% da área urbana.	Ainda nenhuma obra foi implantada.

A Figura 93 mostra os mapas que compõem o documento oficial sobre o sistema de proteção, indicando os pontos onde estão localizadas as principais obras de drenagem (canais) e defesa (diques) que visam resguardar a cidade dos efeitos causados pelos alagamentos das áreas baixas e das invasões de água devido às cheias do Canal São Gonçalo. Fica evidente que este mapeamento é esquemático e portanto, a localização da

área de inundação e das obras a serem executadas não correspondem à topografia local como deveriam.



Figura 93: Mapas meramente ilustrativos do funcionamento do Sistema de Drenagem e Proteção contra Enchentes de Pelotas (SANEP, 2000)

O Sistema é constituído por um conjunto de projetos individuais, mas que guardam uma certa integração apenas, pois Pelotas ainda carece de um Plano Geral de Drenagem Urbana, que certamente deve iniciar pela análise dos estudos existentes e grau de adequação às condições atuais de ocupação e de expansões futuras da área urbana.

Está composto pelos Subsistemas Santa Bárbara (Projetos Santa Bárbara e Cura-Fragata), Zona Leste (Projeto Cura-Areal e Projeto Baronesa), Zona Sul (Projeto do Arroio Pepino) e Subsistema Laranjal. Os três primeiros, em termos de macrodrenagem, caracterizam-se pela criação de polders, na forma de áreas baixas protegidas por diques, localizados nas margens dos cursos d'água. Os diques possuem uma altura de 4,5 m, dos quais 0,5 m corresponde a um quebra ondas, e os 4,0 m representam o limite de proteção da população localizada nas áreas baixas da cidade e resguardando apenas parte das ocupações urbanas. A drenagem pluvial, proveniente dos sistemas de microdrenagem, como rede primária e galerias, é feita através de estações de recalque nas áreas baixas e, nas áreas altas, por gravidade através de canais de refluxo, para os principais drenos de macrodrenagem. Sempre que o nível da água, externo à área protegida, se apresenta mais elevado, as comportas são fechadas e o sistema de bombeamento é acionado, impedindo o escoamento por gravidade.

4.4 ETAPA DE ANÁLISE

Com o crescimento da população urbana de Pelotas e decorrente ampliação dos limites das ocupações do território, podem ser verificadas algumas incompatibilidades quanto aos condicionantes ambientais característicos do meio físico da região. Nesta etapa de análise, os esforços foram direcionados para indicar os conflitos provenientes do uso do solo inadequado da área urbana de Pelotas. Para tornar isto possível, conforme descrito no Capítulo 3 - Procedimentos Metodológicos, são apresentados primeiramente os mapas temáticos com cruzamento das informações que tornam possível visualizar os dados espacialmente, para posterior análise da inter-relação das variáveis que evidenciam os problemas criados no processo de urbanização da área em estudo. Na sequência, serão apresentadas as etapas de análise, que compreende o estudo de caso de Pelotas/RS.

4.4.1. Características do Ambiente Natural

A seguir, são apresentadas as representações que demonstram as características naturais do território municipal com aproximação para a escala urbana, através dos mapas topográfico, hipsométrico (altimetria), clinométrico (declividades), hidrografia, geomorfologia e solos, capacidade de uso das terras e vegetação, acompanhados das principais considerações a respeito das informações que constituem.

a) MAPA TOPOGRÁFICO

Os mapas topográficos permitem a representação do território Municipal com curvas de nível distanciadas 20m e Zona Urbana com curvas de 1m de distanciamento. A partir da representação das curvas de nível na escala do município 1:50.000, podemos perceber que a zona urbana, ao contrário da área noroeste do município, encontra-se em região com baixa variação de altitudes, caracterizando a área de Planície onde está implantada, conforme demonstra a Figura 94. Na escala da zona urbana 1:10.000 podemos verificar que existem setores bem delimitados, com maior variação de altitudes em forma de terraços, que definem a diferenciação entre zonas altas e baixas no relevo urbano (Figura 95).

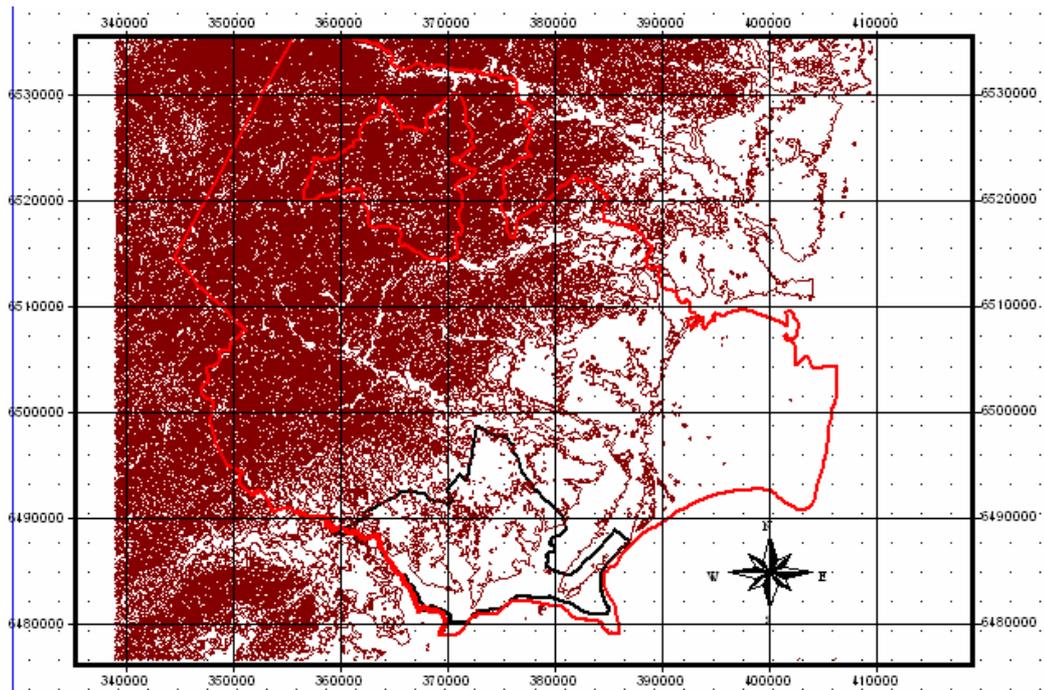


Figura 94: Território municipal com curvas de nível restituídas a cada 20m (PMP, 1995)

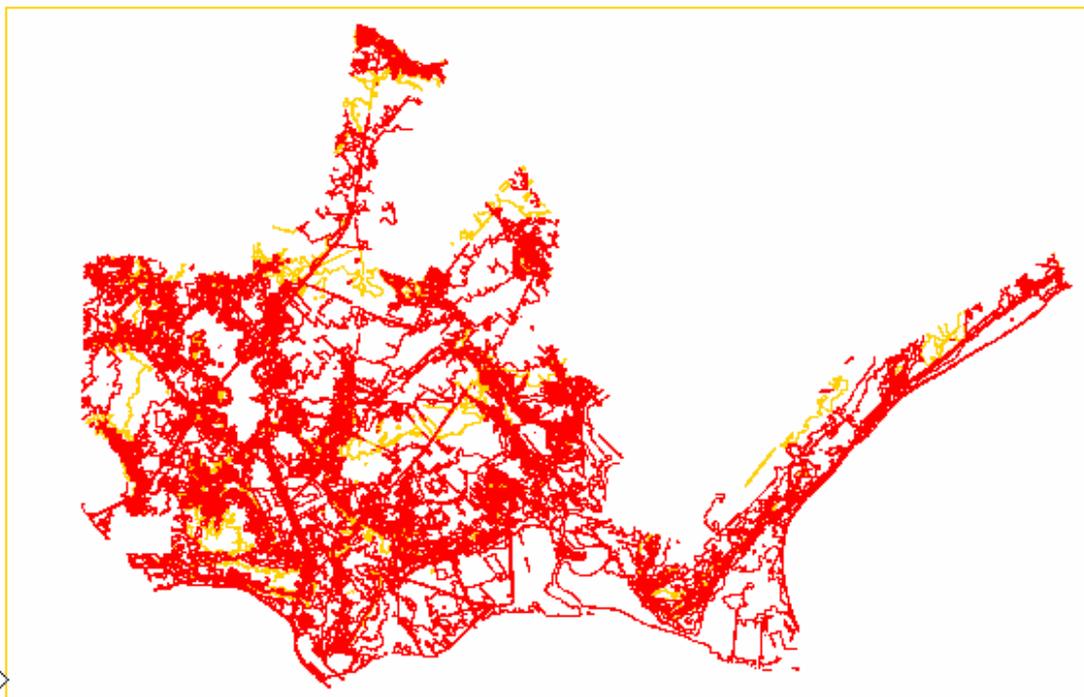
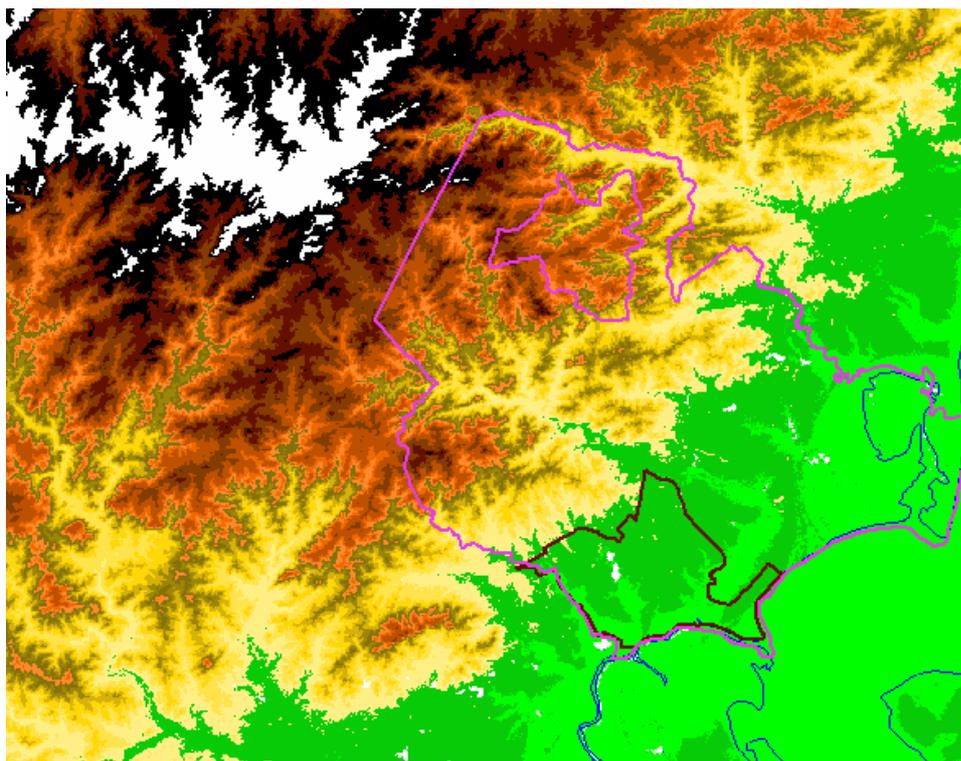


Figura 95: Território urbano com curvas de nível restituídas a cada metro (PMP, 1995)

b) MAPA HIPSOMÉTRICO

Os mapas hipsométricos elaborados em meio digital permitem a visualização do território Municipal com variação de níveis de 10m e Zona Urbana com variações de 3m. Estas representações tornam possível percebermos que ocorre uma alternância bem definida entre a planície costeira e a área de serra, e que a zona urbana encontra-se em sua totalidade entre as cotas 0 e 20m, como mostra a Figura 96.

Isto nos leva à constatação de que todo território urbano encontra-se em área de planície, e que por estar situada na zona mais baixa e plana do território municipal, tanto recebe um volume maior das águas escoadas da zona rural como possui maiores dificuldades de escoamento por possuir baixa declividade em seu relevo natural. De antemão, é possível deduzir que, pela localização geográfica da zona urbana (Figura 97) e independentemente das intervenções realizadas no processo de urbanização, naturalmente já existe uma tendência de extravasamento dos cursos d'água a partir de um excesso de precipitação.



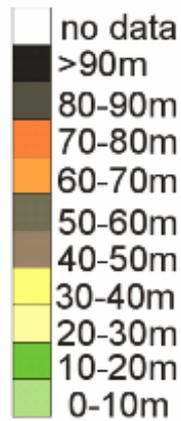


Figura 96: Mapa hipsométrico do território municipal e entorno, com representações de altitudes e contorno do perímetro urbano (Elaborado pelo Autor)

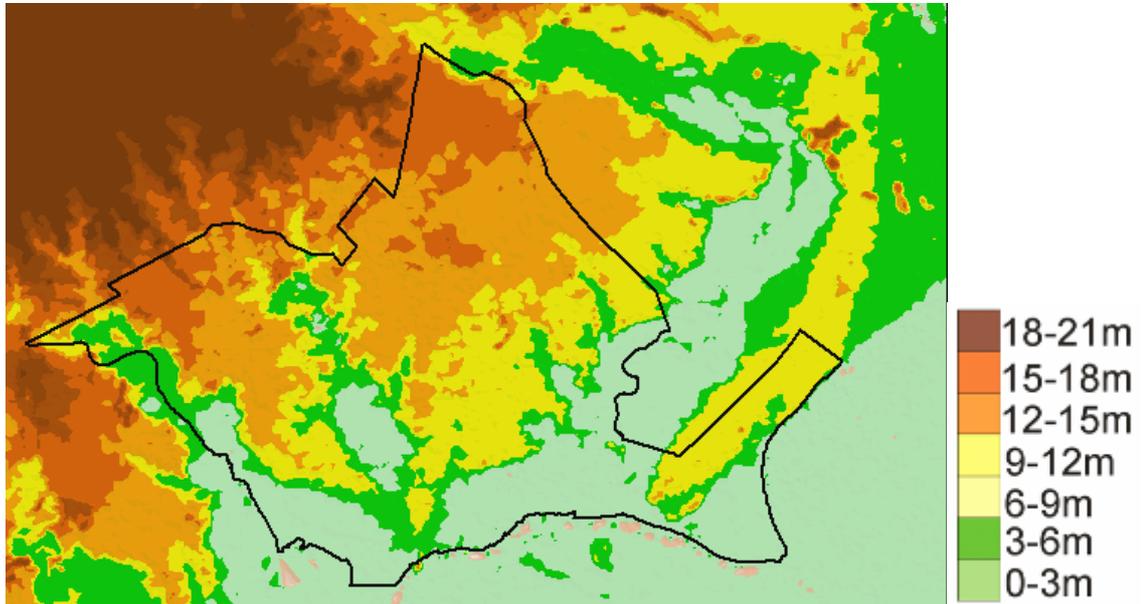


Figura 97: Mapa hipsométrico do território urbano com variações de altitude de 3m (Elaborado pelo Autor)

c) MAPA DE ISODECLIVIDADES

Observando o mapa da Figura 98a e 98b percebe-se que a maior parte do município possui declividades entre 6 e 12%, e que a zona urbana possui em quase sua totalidade

declividades inferiores a 6%, o que tende a dificultar o processo natural de escoamento pluvial e favorece grande concentração das águas oriundas da área rural do município.

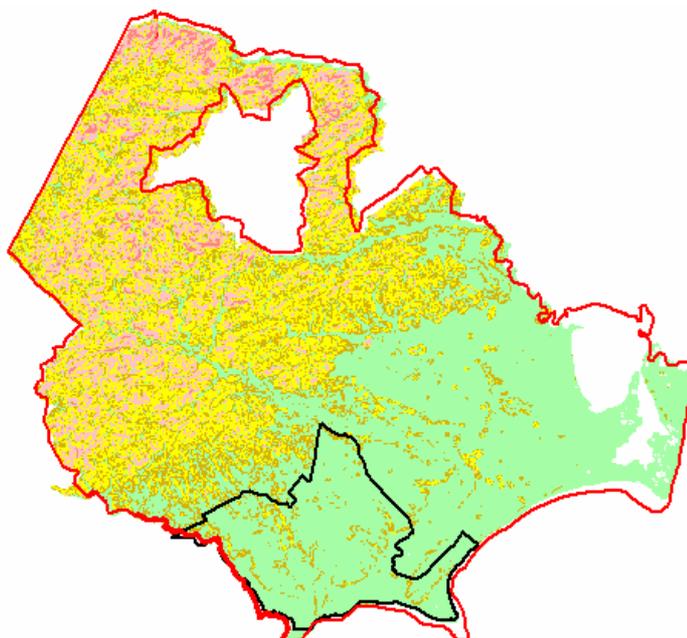


Figura 98a: Mapa de declividades do território municipal (PMP, 2005)

Intervalo de declividade (%)	Área (ha)
00 a 03 :	72.336,76
03,x a 06 :	25.432,06
06,x a 12 :	38.385,18
12,x a 24 :	18.937,43
24,x a 50 :	2.493,04
>50 :	5,16

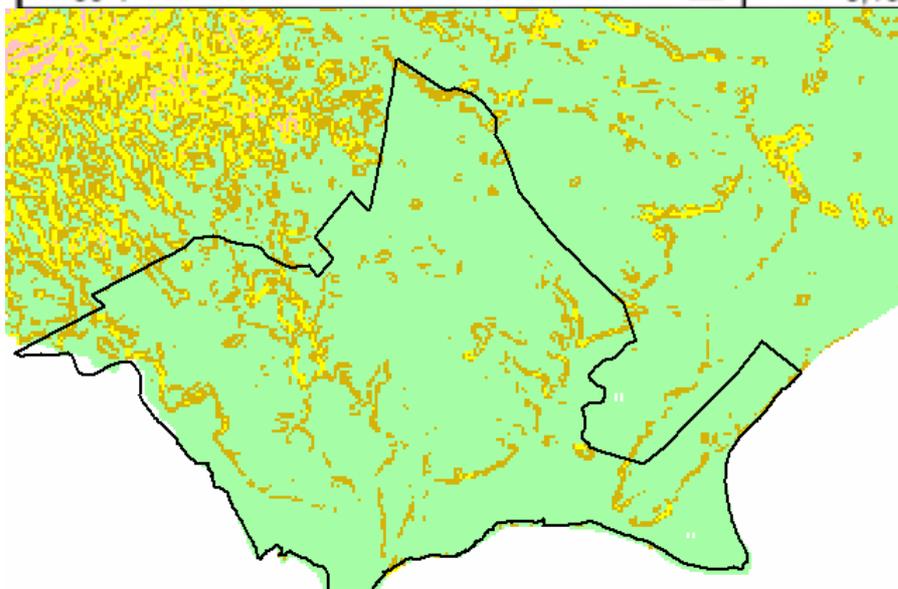


Figura 98b: Mapa de declividades do território urbano (PMP, 2005)

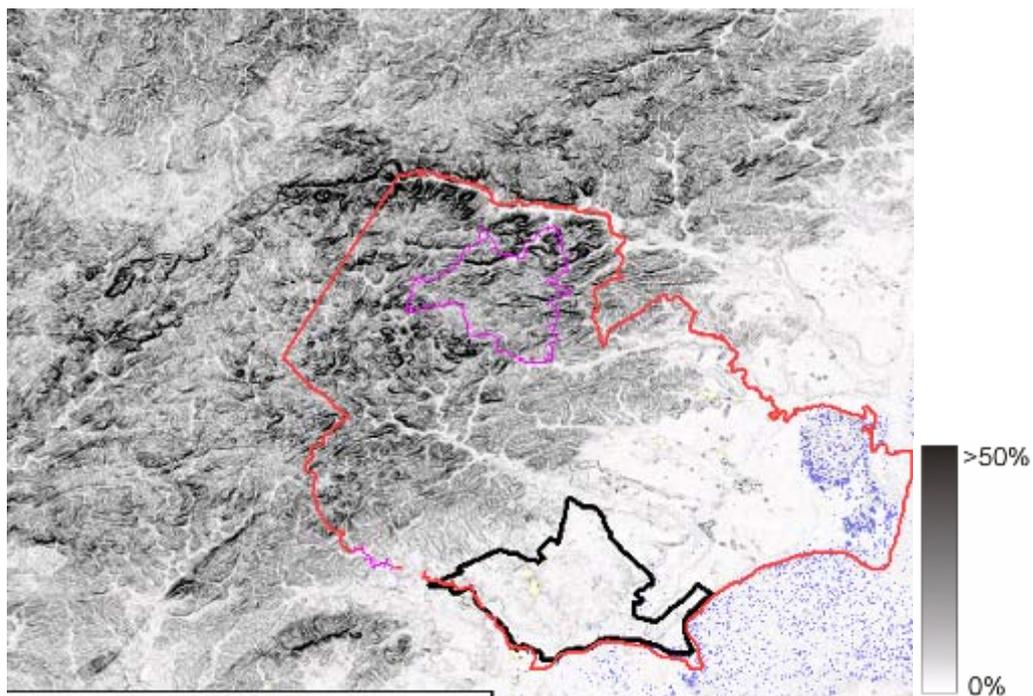


Figura 99: Mapa de declividades do território municipal evidenciando em tons de cinza o contraste entre serra e planície (Elaborado pelo Autor)

d) MAPA DA REDE DE DRENAGEM DO MUNICÍPIO

O Município apresenta alta densidade de linhas de drenagem natural, entretanto na área urbana existem somente 5 sub-bacias: Moreira, Santa Bárbara, Pepino, Pelotas e Costeira. Cabe destacar que destas, apenas a bacia do Arroio Moreira e Pelotas ainda não foram canalizadas, e somente a última recebe tratamento paisagístico com áreas para atividades de lazer (Figura 100).

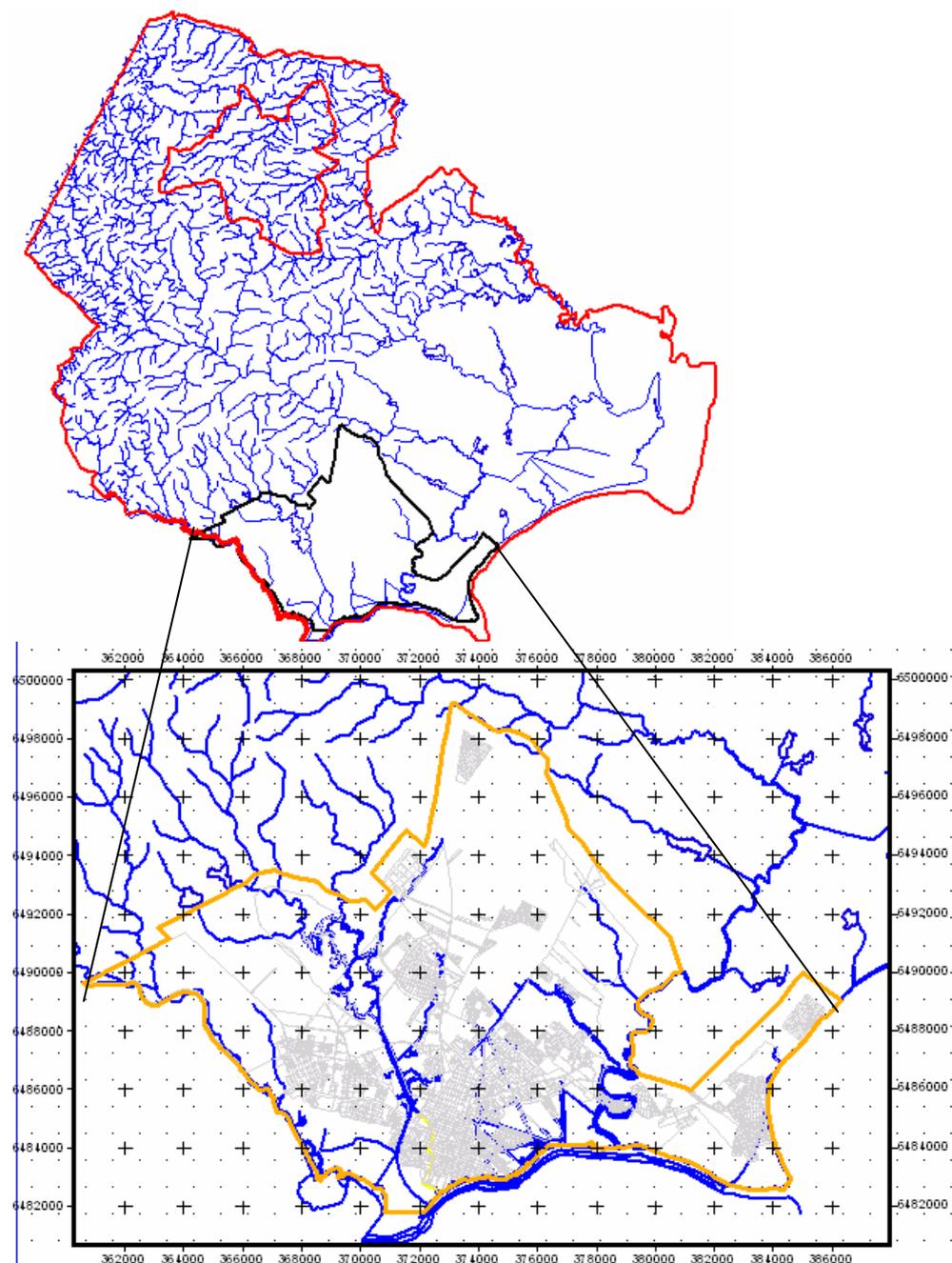


Figura 100: Mapa da rede de drenagem do território municipal e urbano, indicando os principais rios da zona urbana de Pelotas (PMP, 2001)

e) MAPA DE GEOMORFOLOGIA E SOLOS

A caracterização dos solos do município de Pelotas foi elaborada por Sombroek (1969) com objetivo de prover o poder público local com informações técnicas sobre os solos e a capacidade de uso das terras. Neste trabalho realizado pela EMBRAPA (1998), em escala original 1:100.000, são relatadas as principais características geomorfológicas das Zona Alta, Central e Planícies, e são descritas as principais unidades geomorfológicas e seus solos com dados relativos a análises químicas e físicas. Os solos estão descritos e

classificados conforme metodologia da FAO/UNESCO e correlacionados com a Classificação de Solos usada em levantamentos Pedológicos do Brasil, da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Quanto ao uso agrícola, Sombroek propôs a classificação do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos, para o qual fez adaptações.

É possível constatar que no município de Pelotas, a Zona Alta (30,9%), constituída por Terras Altas Rochosas (7,1%) apresenta predominantemente afloramentos rochosos e solos rasos (regossolo e podzólico bruno-acinzentado) sem uso agrícola recomendado. As terras menos íngremes, Terras altas não Rochosas e Terras altas não Rochosas Planas (23,8%), com solos rasos e relevo de ondulado a forte ondulado (podzólico bruno-acinzentado, fases rãs e modelo, litossolo e regossolo) apresentam fortes efeitos da erosão laminar e podem ser cultivadas com culturas anuais, desde que a erosão seja controlada.

A Zona Central (2,2%), com solos profundos e relevo ondulado (constituído por podzólico vermelho-amarelo), apresenta boas condições para cultivos anuais se controlada a erosão e corrigida a fertilidade. As Zonas de Lombadas e Planícies (29,1%), de solos hidromórficos com horizontes impermeáveis (planossolo e glei pouco húmico) que compõem os solos da Zona Urbana dos bairros Três Vendas, Centro, Fragata, Areal e Laranjal, condicionam-se muito favoráveis aos cultivos anuais irrigados, em virtude das condições planas do relevo, apesar de apresentarem sérias restrições à drenabilidade do solo.

As planícies inundáveis (15,6%), com solos hidromórficos diversificados (glei húmico, glei pouco húmico, solo aluvial, podzol hidromórfico e areias quartzosas) pelos altos riscos a agricultura estão sendo usadas em pastagens nativas e grande parte por ocupações urbanas do bairro Porto/Navegantes e bairro Laranjal. Tais indicações são verificadas nos mapas da Figura 101 e Figura 102.

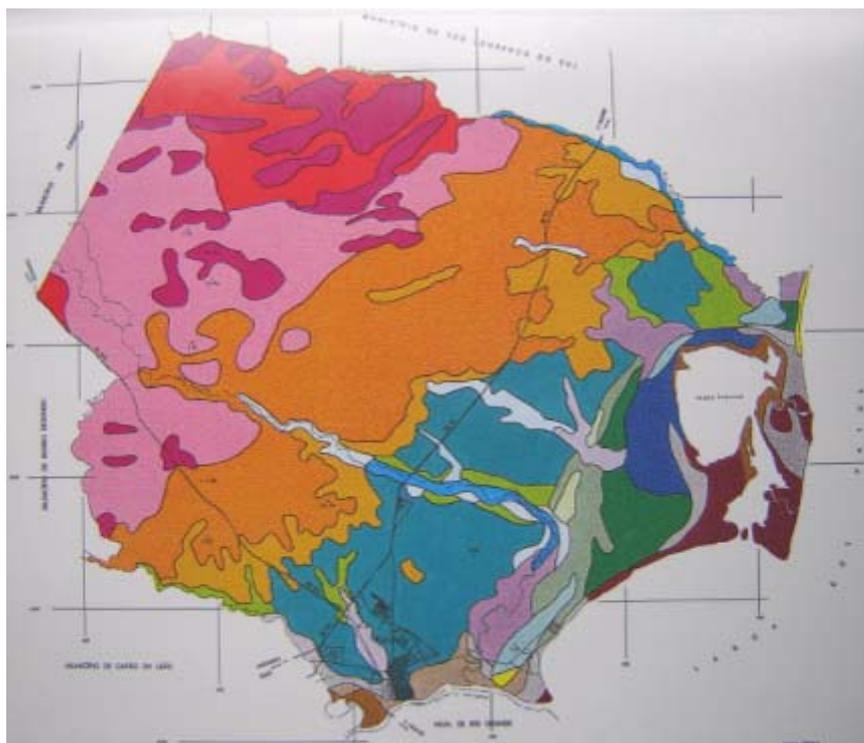


Figura 101: Mapa de geomorfologia e solos do território municipal (EMBRAPA, 1998)



Figura 102: Mapa de geomorfologia e solos do território urbano (EMBRAPA, 1998)

f) MAPA DE CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS

O mapa apresentado, elaborado pela EMBRAPA (1998), demonstra a aptidão para uso das terras municipais com objetivo de orientar para o correto aproveitamento dos solos agriculturáveis (Figura 103). Para zona urbana, seguem as mesmas caracterizações para terras cultiváveis, sem indicar especificamente considerações para os interesses urbanísticos. No entanto, consideramos de extrema relevância estas descrições de composição dos solos, a ser tomada como referência para uma futura elaboração da Carta Geotécnica de Pelotas, que apresente restrições e recomendações da mesma maneira como foi feito para agricultura, mas com vistas às intervenções destinadas aos usos urbanos.

Como demonstração, realizamos o cruzamento da composição dos solos recomendados como agriculturáveis para verificar os usos urbanos de praças, se estas estão localizadas coerentemente com o grau de fertilidade do solo, e se está sendo aproveitado o potencial do solo para este tipo de uso. Percebe-se, no entanto, como mostra a Figura 104, o uso pouco significativo destas regiões de solo fértil que poderiam ser exploradas, mas principalmente pelo fato deste tipo de solo possibilitar uma boa infiltração das água pluviais, que poderiam minimizar o volume de água destinado as escoamentos superficiais na drenagem urbana.

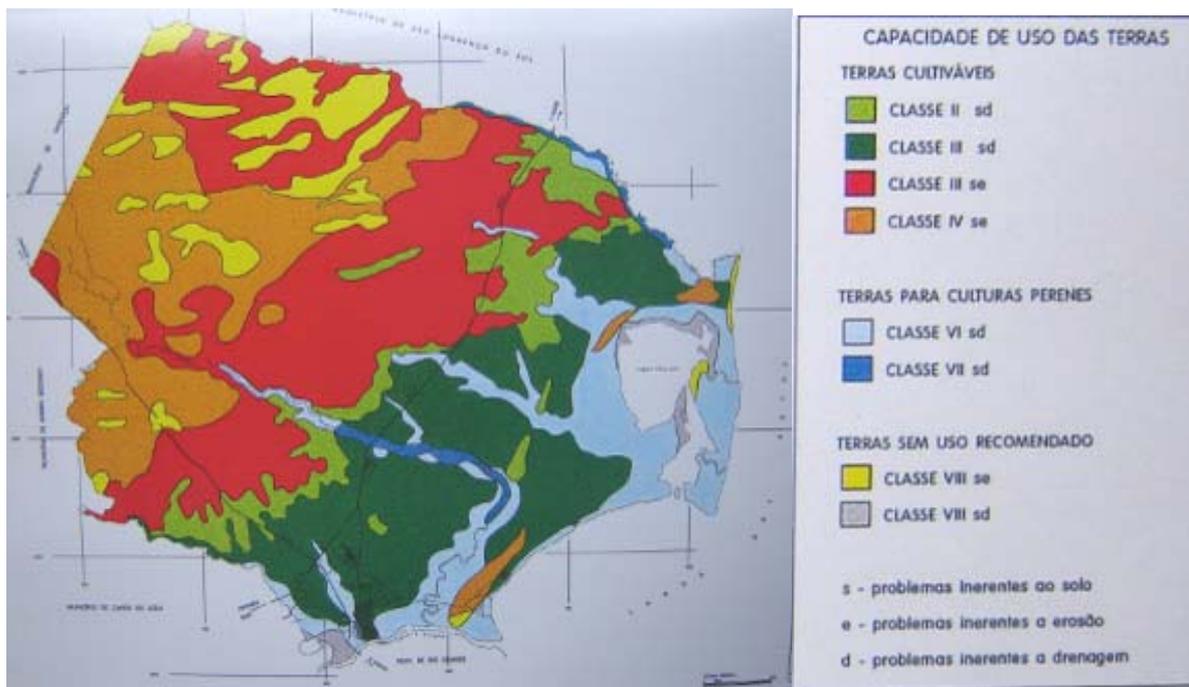


Figura 103: Mapa de capacidade de uso das terras do território municipal (EMBRAPA, 1998)

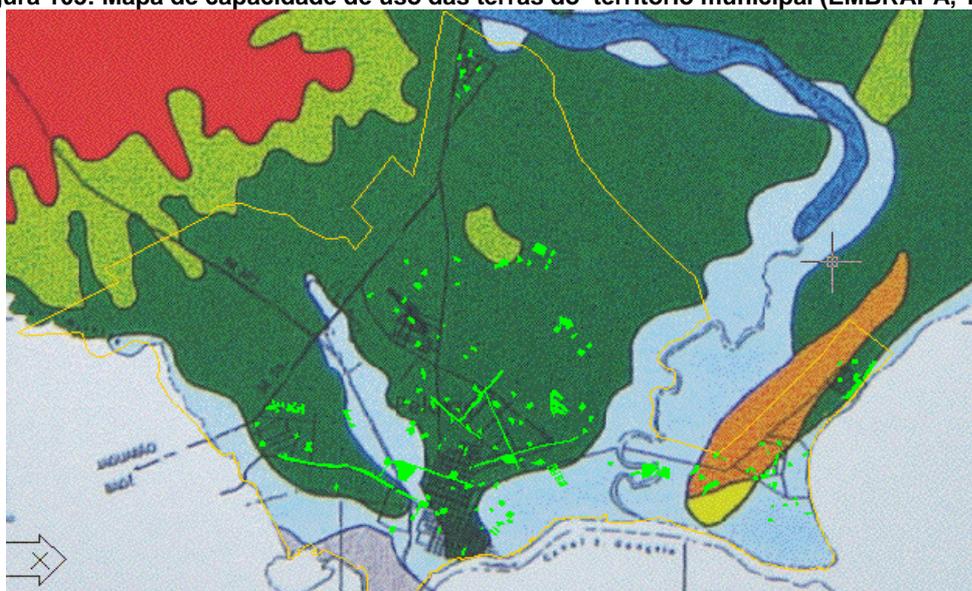


Figura 104: Mapa de solos cultiváveis e praças urbanas (Elaborado sobre EMBRAPA, 1998)

g) MAPA DE VEGETAÇÃO

O mapa de vegetação do município demonstra a predominância de propriedades rurais com cobertura vegetal preservada nas áreas de maior altitude a noroeste, enquanto na zona de transição a nordeste o solo apresenta-se com pouca vegetação em áreas extensas de cultivo com solo exposto. A zona urbana caracteriza-se pela alta concentração de áreas impermeabilizadas representadas em vermelho, e pela presença marcante de resquícios de banhados na parte sul do território, correspondendo às várzeas naturais do canal São Gonçalo, Arroio Moreira e Santa Bárbara. Por outro lado, a existência de

vegetação nativa na zona urbana é pouco expressiva, atestando que as matas ciliares que existiam às margens dos cursos d'água foram praticamente suprimidas. Isto nos permite constatar que a zona urbana se encontra bastante alterada em relação às suas condições naturais anteriores à urbanização (Figura 105), o que representa um forte indício de que o regime hídrico também tenha sido afetado.

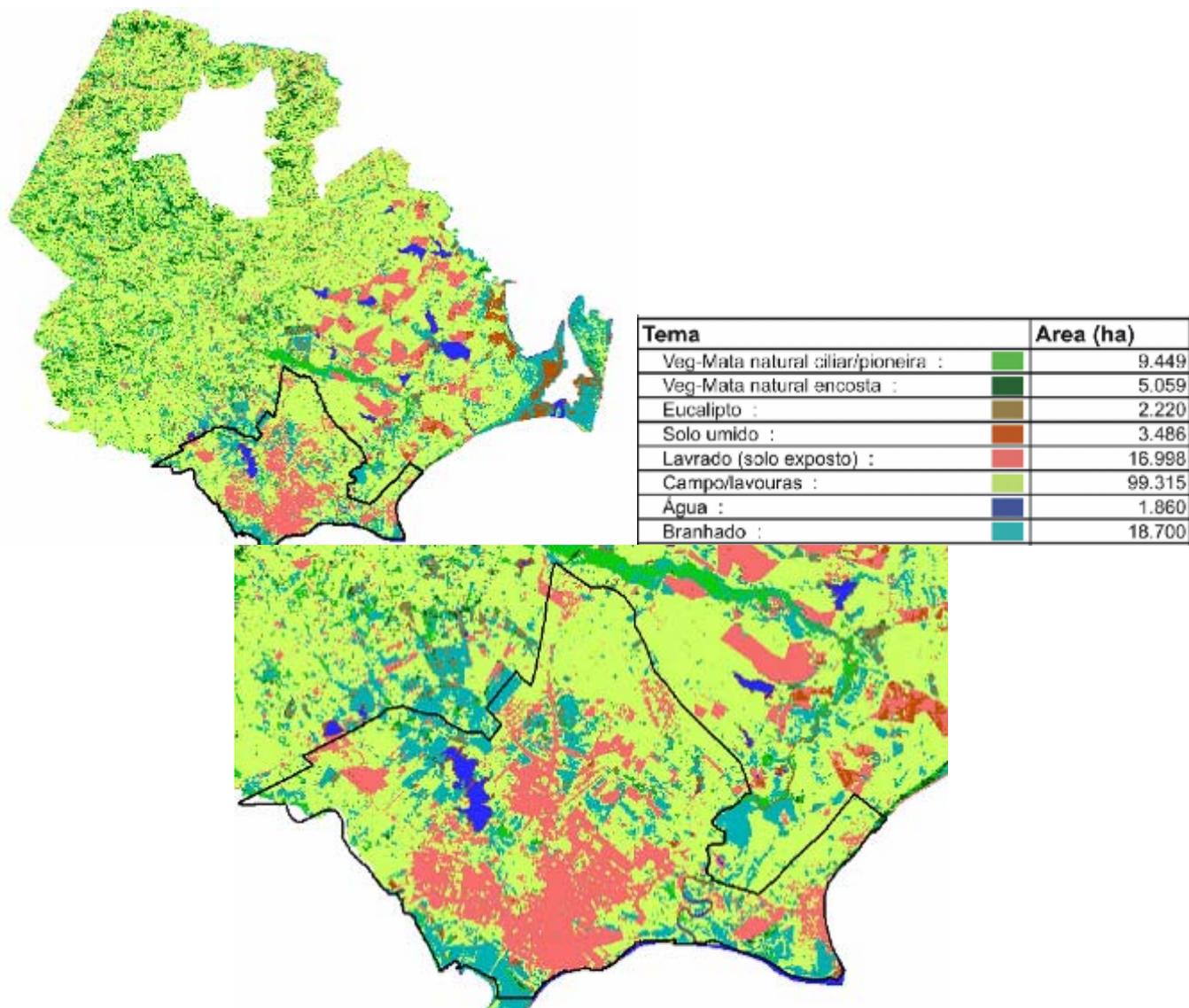


Figura 105: Mapa de vegetação do território municipal e urbano (PMP, 2005)

4.4.2. Características das Ocupações

Na sequência, são apresentadas as representações que demonstram as características das ocupações do território urbano, através dos cadastro viário, cadastro imobiliário e planta de valores do solo urbano.

a) MAPA DO CADASTRO VIÁRIO URBANO – 1995

O mapa do cadastro viário demonstra a distribuição espacial das vias urbanas de forma radial, a partir de um ponto central que se estende por eixos nas direções norte, leste e oeste, que representam as conexões entre o Centro urbano e os bairros periféricos. Os principais eixos viários, ao norte a Av. Fernando Osório, a leste a Avenida Ferreira Vianna, e a oeste a Av. Duque de Caxias, por fazerem parte da estruturação mais antiga da cidade, desenvolvem-se exatamente nos eixos dos terraços que são as áreas mais altas do território, como veremos adiante na etapa de mapeamentos temáticos (Figura 106).



Figura 106: Mapa cadastral viário do território urbano, destacando os eixos viários e área central (PMP, 1995)

b) MAPA DO CADASTRO IMOBILIÁRIO – 1995

O mapa do cadastro imobiliário demonstra uma alta concentração de imóveis na zona central, norte e oeste da zona urbana, e menor concentração no setor leste. As áreas próximas ao Canal São Gonçalo e à Lagoa dos Patos se caracterizam por várzeas com

formação de banhados, o que requer especial atenção destas ocupações quanto ao risco de transbordamentos dos seus leitos.

Ao mesmo tempo, é possível verificar a existência de vazios urbanos entre as áreas ocupadas nos setores mais elevados do território urbano, o que permite cogitar a possibilidade da definição destas áreas como prioridades para ocupações livres de inundações conforme a necessidade de relocação de populações em situação de risco. (Figura 107)

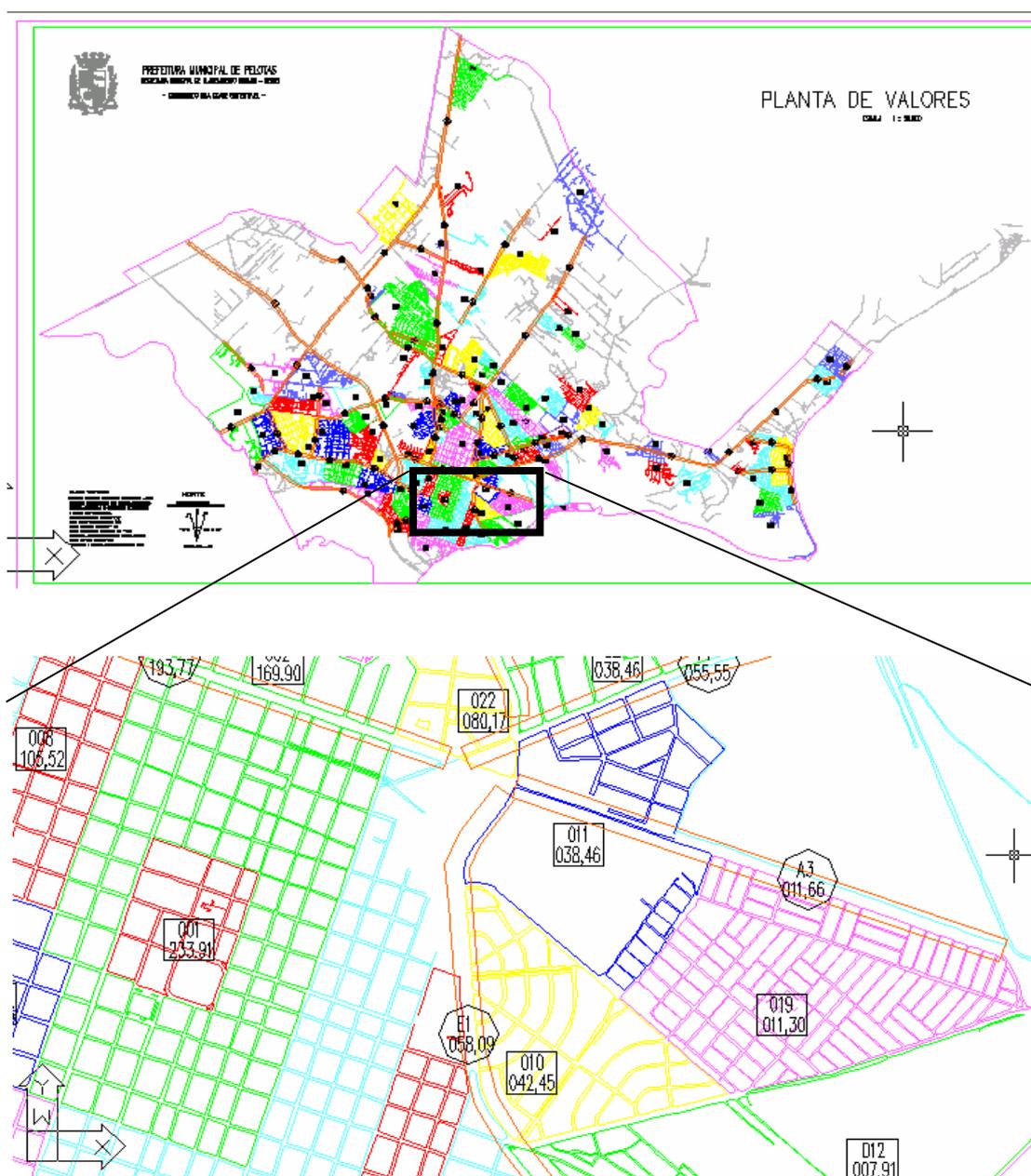


Figura 107: Mapa cadastral imobiliário do território urbano e área central (PMP, 1995)

c) PLANTA DE VALORES DO SOLO URBANO – 2000

O mapa com custo do solo permite verificar que as áreas com maior centralidade urbana possuem valores do solo mais elevados, ao passo que áreas mais periféricas e distantes do núcleo central tem seu valor reduzido (Figura 108).

Uma hipótese que será analisada adiante é a de que o custo do solo está diretamente vinculado ao relevo urbano, onde áreas mais altas e seguras possuem um valor da terra maior que as áreas baixas e com risco de cheias. Junto a estes parâmetros a serem investigados, aliamos os fatores de densidade do solo e renda da população, para verificarmos como se comporta a distribuição espacial da população, baseada em dados dos setores censitários do IBGE 2000. Por questões de organização metodológica, estes resultados são apresentados na etapa de cruzamento dos mapas temáticos.



4.4.3 Realização das Análises

Devido aos problemas recorrentes de inundações das ocupações das áreas baixas (Figura 109), que caracterizam a topografia de planície da cidade como já foi relatado no Item 4.2 - Síntese histórica da formação da cidade, julgamos necessária a análise das áreas atingidas por estes fenômenos, bem como as interferências provocadas pelos usos existentes no território das bacias hidrográficas, procurando caracterizar os motivos causadores de tais ocorrências na atualidade.

Nas matérias jornalísticas que compõem o Anexo, fica nítida a necessidade de convivência da população com este tipo de episódio já há um longo tempo. Buscaremos portanto, na sequência, identificar as incompatibilidades entre o uso do solo e escoamento das águas que tendem a provocar, ou até mesmo agravar, os eventos de inundação na zona urbana.



Figura 109: Manchete sobre inundações como fenômeno recorrente em Pelotas (DP, 2004)

Para definição dos objetivos e aplicações no uso do sistema de análise apoiado por simulações computacionais, foram elencadas questões de interesse com o objetivo da promoção de subsídios ao Planejamento Urbano de Pelotas. A partir das ocorrências já registradas, as de maiores proporções em 1941, 1956, 1977, 1984 e a mais recente em 2004, com inúmeros prejuízos patrimoniais para população e com aumento de problemas de saúde pública ocasionada por doenças de veiculação hídrica, foram considerados os diversos registros da imprensa local para o lançamento de questionamentos sobre a problemática das inundações na cidade, a saber:

- a) Quais são e onde estão localizadas as áreas consideradas baixas no território urbano? (remete à análise de relevo, declividades e geomorfologia);
- b) Como é a distribuição da rede hídrica na zona urbana? (remete à análise da hidrografia);
- c) Como ocorreu a ocupação do território urbano ao longo do tempo? (remete à análise da evolução urbana);
- d) O quanto estão ocupadas as áreas baixas da zona urbana? (remete à análise da distribuição da população no território);
- e) Quais as áreas consideradas de risco? (remete à análise da planície de inundação, riscos à saúde e ao patrimônio);
- f) Existe infra-estrutura adequada para possibilitar ocupação das áreas consideradas de risco? E esta proteção é completa? (remete à análise das obras de infra-estrutura, especialmente do sistema de proteção contra enchentes);
- g) Como é a relação entre valor do solo e risco ambiental na zona urbana? E as áreas baixas densificadas são efetivamente mais baratas? (remete à análise da planta de valores imobiliários x risco x densidade x renda);
- h) Como estão sendo planejadas as expansões? (remete à análise do zoneamento do II PDP e diretrizes do III PDP);
- i) Quais as áreas mais apropriadas à expansão urbana? (remete à análise dos condicionantes ambientais para uso e ocupação do solo);

Assim, a partir dessas questões, foram organizados os dados coletados sobre a zona urbana de Pelotas para a composição de informações, visando a ampla caracterização da área de estudo para a elaboração das etapas de análise que seguem, até culminar em um mapa final, relativo às sínteses realizadas nas análises, que aponta as áreas mais apropriadas à expansão urbana considerando a redução do risco das inundações.

Seguem, portanto, os mapeamentos temáticos elaborados para análise, confeccionados com sobreposição de variadas informações georreferenciadas, acompanhados da respectiva interpretação que realizamos e da síntese das informações que estes mapas proporcionam através da espacialização dos dados. Primeiramente, a análise é realizada na escala urbana, e após são verificados 2 setores da zona urbana, correspondentes aos bairros e respectivas bacias hidrográficas, onde foram verificados os registros de ocorrências, e procurou-se obter respostas através da observação das características do sítio físico para as prováveis causas das cheias ocorridas.

4.4.4 Mapas Temáticos: Análise de Conflitos

Como foram caracterizados na etapa anterior o ambiente natural e as ocupações realizadas no território urbano, passamos aqui à geração de mapeamentos temáticos, elaborados a partir da base de dados e dos mapas apresentados anteriormente, com intuito de visualizar e melhor compreender as relações de conflito estabelecidas pelas intervenções inadequadas no território urbano.

Por estarem incorporadas a um ambiente SIG – Sistema de Informações Geográficas, estes mapas apresentam como principal potencial a possibilidade de cruzamento das informações espacializadas no território municipal, já que possuem coordenadas geográficas comuns adquiridas através do processo de georreferenciamento elaborado. Isto permite que sejam destacadas, visualmente e com considerável nível de precisão, as incompatibilidades entre usos e o território ocupado. A seguir, são mostrados sob forma de mapas acompanhados de uma breve síntese, os aspectos constatados que foram considerados relevantes quanto ao tema que trata esta pesquisa.

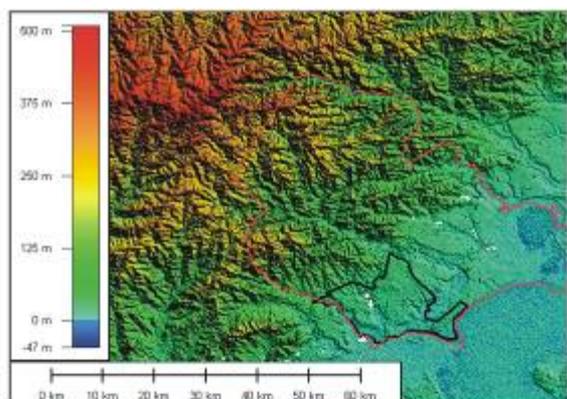
a) Tema: Simulação de inundação do nível 0 a 5m

Analisando as características do meio físico através do mapa hipsométrico do município, com escala de 1:50.000, é possível verificar a variação das altitudes ao longo do território municipal, onde ocorre uma transição da área de serra correspondente à zona rural do município, até a área de planície onde está implantada a zona urbana de Pelotas. Esta área de planície se caracteriza tanto pela alta concentração das águas escoadas das partes mais elevadas do território, como pela proximidade do curso do Canal São Gonçalo ao sul da zona urbana.

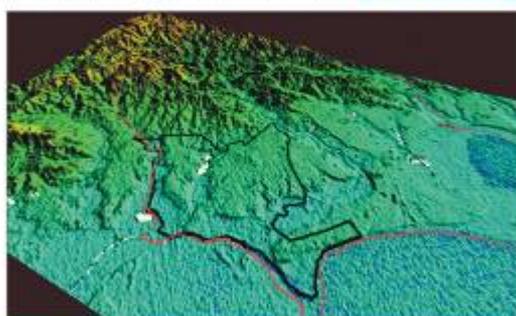
Como destacado anteriormente, a cota de 5 m representa o nível de inundação da Planície da Lagoa Mirim, o que significa que o Canal São Gonçalo que interliga as Lagoas dos Patos Mirim extravasará e atingirá as áreas urbanas com cotas inferiores a 5m.

A seguir, demonstramos quais seriam as áreas ocupadas pelas águas nesta situação estimada de inundação, para na sequência efetuarmos a sobreposição das informações do cadastro viário urbano sobre o território a ser atingido e verificarmos como se dão os conflitos entre área com ocupações e as áreas inundadas (Figura 110).

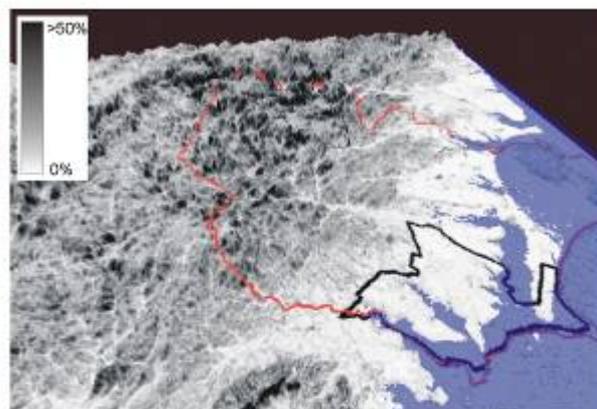
Na Figura 111, o mapeamento temático elaborado procura demonstrar os estágios de evolução da inundação, desde a altitude 0m, Nível de Referência do Mar (NMM-datum Torres), até 5m, em uma única cena. Este recurso permite visualizar que as cores mais claras representam áreas mais baixas, e mais escuras áreas mais próximas à cota de 5m.



Representação do relevo municipal, elaborado através da construção do Modelo Digital do terreno-MDT. Apresenta a localização da zona urbana (perímetro urbano em preto) na área mais baixa e plana de todo território do município, com altitudes que variam apenas entre 0 e 20m.



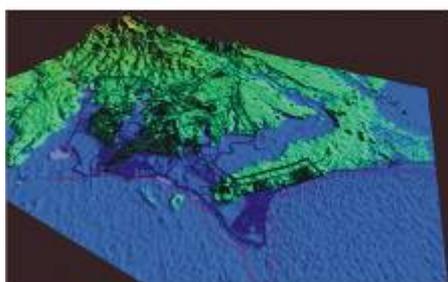
Representação tridimensional que demonstra as áreas de terraços elevados e as várzeas dos caminhos d'água no território urbano.



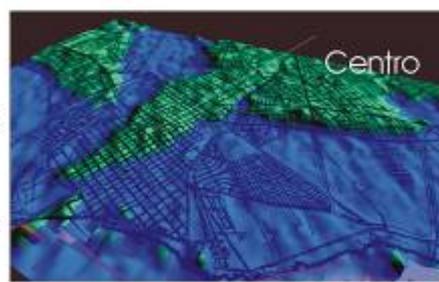
Simulação com isoclividades que mostra a transição da área de planície, com baixas declividades, para a zona de serra, com altas declividades. O zona urbana se assenta totalmente sobre a planície, e por esse motivo ocupa grande parte das várzeas de inundação.



Simulação de inundação com variação dos estágios de aumento do nível de água de 0 a 5m.



A simulação de inundação com sobreposição à malha viária demonstra alta densidade de ruas nas zonas baixas, caracterizando ocupações consolidadas e evidenciando a situação de risco a que ficam submetidas estas ocupações.



Cruzamento do relevo do MDT, nível de inundação em 5m e imagem de satélite LANDSAT7, que permite verificar as classes de uso do solo e sua correspondente localização quanto às altitudes do território urbano.

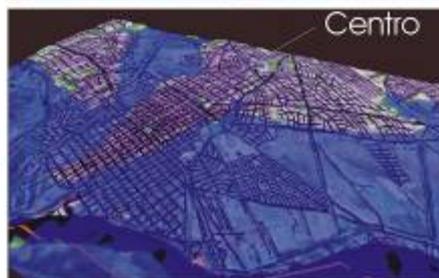


Figura 110: Simulação de inundação do nível 0 ao nível 5m. Elaborado pelo autor.

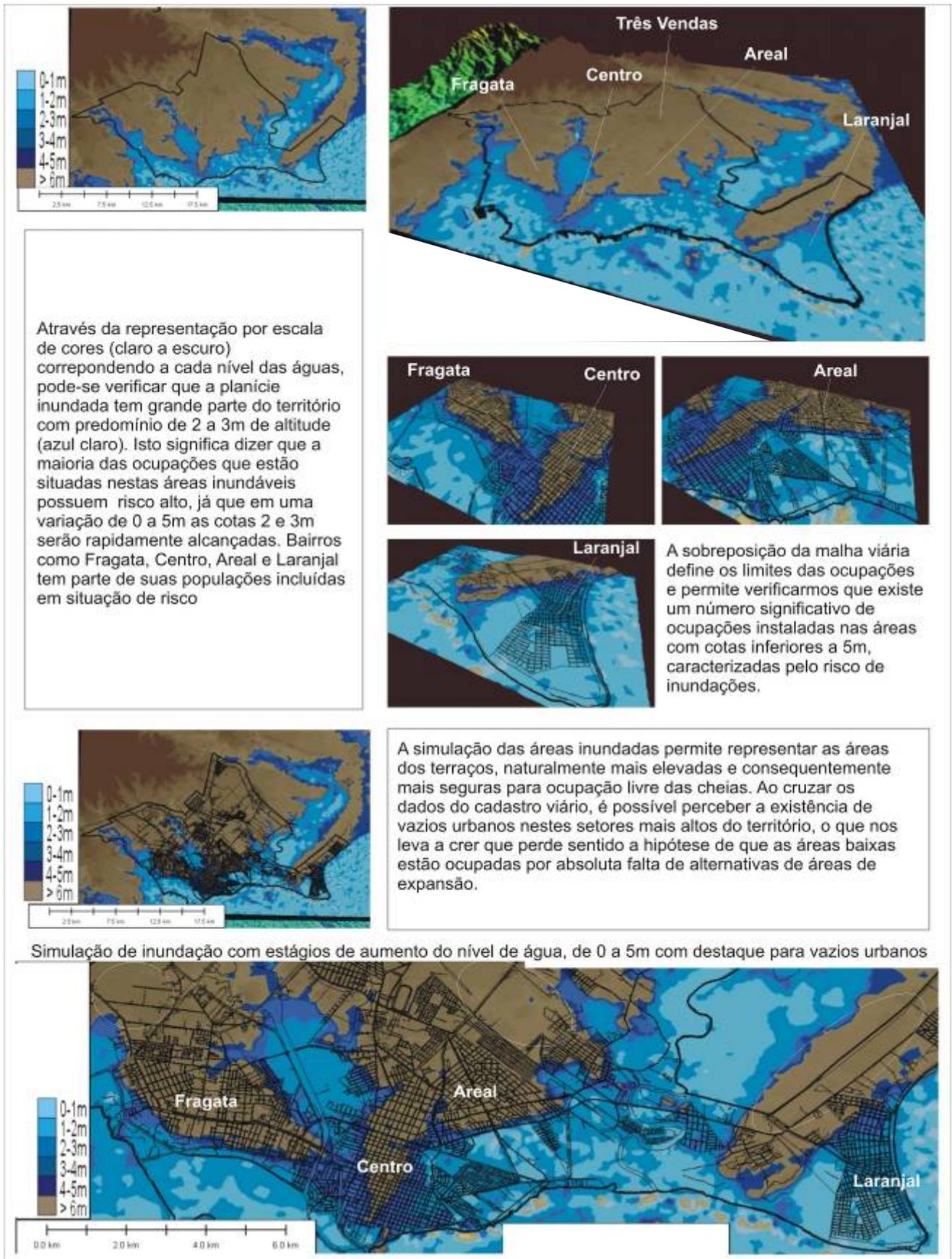


Figura 111: Simulação de inundação do nível 0 ao nível 5m. Elaborado pelo autor.

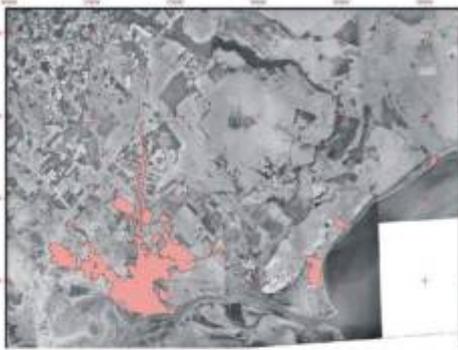
Assim, é possível perceber que existem ocupações situadas em áreas extremamente baixas da zona urbana, o que nos leva a constatar que estas áreas, devido à localização em zonas planas de baixa declividade, necessitam de um bom sistema de escoamento das águas pluviais e uma especial atenção às situações de fortes ou prolongadas precipitações, que provocarão o extravasamento das águas do canal São Gonçalo e poderão atingir estes domicílios. Por outro lado, ao observarmos as áreas mais elevadas acima da cota 5m, é possível encontrar vazios urbanos que poderiam ser ocupados prioritariamente, se fossem induzidas através de legislação apropriada do uso do solo, ao invés do direcionamento das expansões para as áreas mais baixas.

b) Tema: Evolução Urbana e Inundação

A análise dos mapas da Figura 112 nos faz perceber que, de 1964 a 2000 houve uma ampliação das áreas ocupadas no território urbano, grande parte para a zona norte, mas também uma parte considerável para as áreas baixas, nas zona leste e sul. Para compreender os estágios de evolução urbana, foram verificados os períodos das ocupações representados por Polidori (2005) e realizado o cruzamento com as representações das áreas baixas inundadas até a cota 5m. Através da simulação, podemos confirmar o que nos relata a história de criação da cidade, apresentada no Item 4.2 - Síntese histórica da formação da cidade, à respeito da escolha das áreas mais altas para implantação dos primeiros loteamentos.

Percebe-se que as ocupações mais antigas da zona urbana, representadas de vermelho a azul neste mapa, parecem realmente terem considerado os condicionantes do relevo e o distanciamento das zonas baixas pelo risco de enchentes. Pode-se confirmar então o que era apenas uma suspeita inicial, de que as áreas dos loteamentos mais antigos do Centro, Fragata, Três Vendas e Areal, consideraram os condicionantes do meio físico no que diz respeito às áreas livres de enchentes, enquanto as ocupações mais recentes vêm ocupando áreas mais baixas, como no caso do Bairro Laranjal e entorno do Centro e Areal, onde atualmente são verificados o maior número dos registros de ocorrências.

Este mapa demonstra também que as áreas baixas que hoje são resguardadas pelas obras proteção, como será mostrado adiante, foram ocupadas desde a década de 1880, e o sistema de proteção de enchentes implementado apenas a partir de 1941. Isto significa que, por quase 60 anos essas ocupações conviveram com a presença das águas, sem registros conhecidos de ocorrências, levando-nos a crer que no passado o convívio com as águas urbanas era mais harmonioso do que atualmente, onde as soluções adotadas para drenagem para possibilitar a ocupação das zonas baixas não resolvem por completo os riscos de cheias.

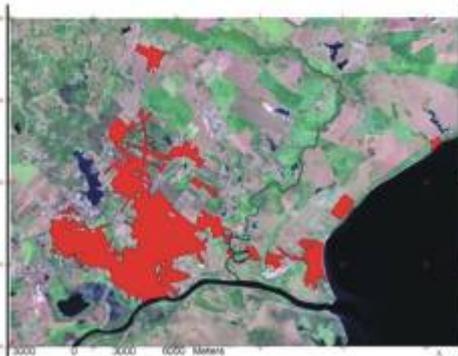


Mancha urbana em 1964

A carta topográfica elaborada pela DSG do Exército já anunciava em 1964 que a zona urbana estava implantada em área inundável.



O cruzamento entre as manchas de 1964 e 2000 nos permite visualizar que ocorreram expansões significativas para a zona norte da cidade, mas ao mesmo tempo teve setores ao sul que foram ocupados, o que tende a submeter estas populações ao risco das inundações. Esta dedução é comprovada nas simulações abaixo.



Mancha urbana em 2000



Através desta simulação, foi possível comprovar o que os relatos históricos atestam, que os primeiros loteamentos urbanos selecionaram locais do território livres das enchentes. É possível perceber também que as ocupações mais recentes se caracterizam pela ocupação das áreas mais baixas. Nestas representações, podemos constatar que possivelmente os bairros Fragata, Areal além do Centro definiram seus limites considerando os critérios de ocupação das áreas mais elevadas, ao passo que o bairro Laranjal ocupado na década de 1950, está quase que em sua totalidade abaixo da cota de 5m.

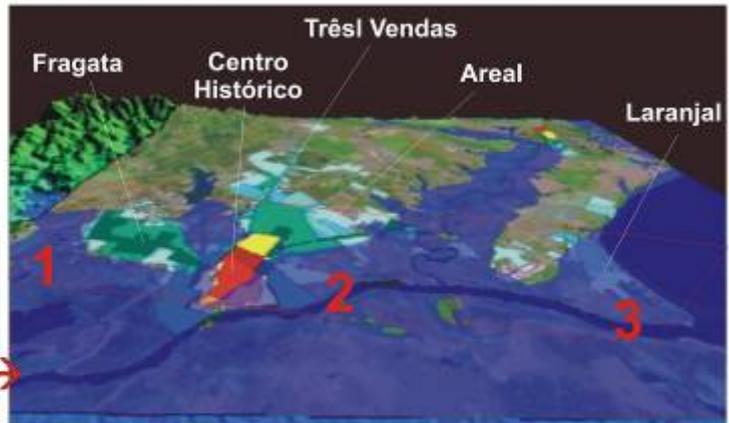


Figura 112: evolução urbana e simulações de inundações. Elaborado pelo autor.

c) Tema: Alteração do Traçado do Arroio Santa Bárbara

Anteriormente à data de 1865, no local da atual Praça Cypriano Barcelos havia uma praia onde a população banhava-se, chamada Prainha. Em 1865, construiu-se a ponte de pedra que foi de grande importância. Um braço navegável do arroio passava pelo local da atual Av. Saldanha Marinho, da ponte até a foz do São Gonçalo. Em 1914, em razão do cheiro desagradável do arroio ele foi transformado em canal e soterrado na praça (MAGALHÃES, 1999).

Só após a construção da represa, por volta de 1963, é que o arroio foi desviado para o contorno e com isso a ponte foi aterrada. Popularmente sempre foi conhecida como Praça do Pavão, porque foi colocada grade em toda sua volta e existiam ali dois pavões, e também como Praça dos Enforcados, pois nas proximidades da referida praça, pela Rua Lobo da Costa, logo depois do Arroio Santa Bárbara, foi colocada a forca que anteriormente estava na Praça Júlio de Castilhos, onde eram enforcados os condenados.

Através destas informações, pode-se perceber que o traçado original do Arroio Santa Bárbara possibilitava uma forte relação com os moradores da cidade. A alteração do seu curso tem demonstrado que as soluções clássicas, de intervenções com obras de engenharia mal concebidas somada à ocupação das várzeas naturais, podem provocar problemas de inundação com conseqüências mais graves sobre as atividades da população do que na sua condição natural, como mostram as imagens da Figura 113 e o seguinte relato:

Era um arroio e cortava o centro da cidade. A poesia de suas águas espelhava a certeza de dias pitorescos. Há quem o lembre saudoso e lamente o destino que lhe foi dado. Em outros tempos o Arroio Santa Bárbara era límpido e suas águas inspiravam tranqüilas pescarias e pequenas embarcações desenhavam em seu leito operosas jornadas. A indiferença o fez fétido e o Arroio das pontes suntuosas e das tímidas passarelas de madeira, pouco a pouco foi se tornando um incômodo para a nossa população. Até que um dia, desviaram-no para mais longe, contrariando a natureza que o desenhava primorosamente perto da zona central da cidade. Vez que outra, no seu antigo leito juntam-se pequenas poças d'água, que dizem da sua vontade de voltar para o seu leito natural. A mão do homem que não teve competência para despoluí-lo, teve forças para descaracterizá-lo e sem se importar com conseqüências o fez mais feio e menos bucólico. Não podemos aceitar que a insensibilidade, tenha forças para dar razão as coisas ilógicas. Pena que quando foi tomada esta atitude, não se tenha criado uma consciência coletiva para que tal ato não se cometesse. O Santa Bárbara, naquele tempo, existia e em vez de ser um estorvo, facilitava através de suas águas a locomoção de tantas pessoas, que optavam por ele para chegarem a seus lugares de serviço. (MAGALHÃES, 1999)



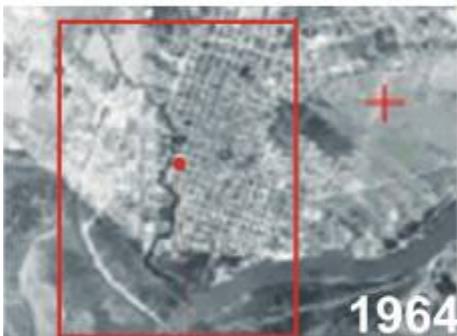
Placa indicativa da data da construção da ponte sobre o arroio. A ponte constitui o único registro que restou do seu antigo traçado.



Ponte sobre o antigo curso do Santa Bárbara



Carta Topográfica de 1964. Como as obras de desvio ocorreram por volta de 1963, o mapeamento confeccionado mantém representação do traçado original e do desvio.



Canal de desvio por onde atualmente o Santa Bárbara escoa, tendo seu curso afastado da população da área central. Ao fundo, ponte sobre o São Gonçalo, onde deságua.



O desvio do traçado do arroio foi projetado para condução das águas pluviais pelo canal retificado que contorna a área central. Porém, seguidamente são registradas ocorrências de enchentes na área de várzea que foi impermeabilizada com asfalto, como se verifica ao lado. O dito popular é de que o arroio está tentando retomar o seu caminho original.

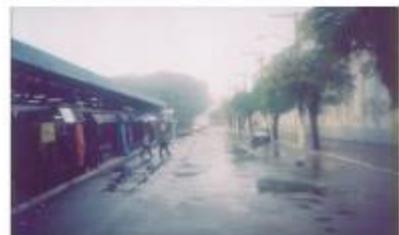


Figura 113: Alteração do traçado do Canal Santa Bárbara. Elaborado pelo autor.

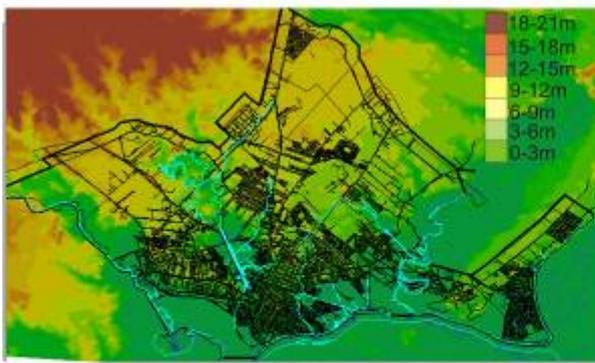
d) Tema: Sistema de Macrodrenagem

Por estar localizada em uma planície, a zona urbana tem implantada em seu sistema de macrodrenagem canais que conduzem o escoamento pluvial das áreas mais altas até o Canal São Gonçalo. Estes canais, em sua maior parte, tem como função a drenagem das águas através de trechos dos cursos d'água retificados e dutos impermeabilizados. Raras são as situações onde existe tratamento paisagístico ao longo dos canais urbanos, como no caso do Arroio Pelotas. Aparentemente, os canais foram meramente concebidos apenas para condução das águas de um trecho a outro, provocando uma perda da relação da população com os cursos d'água que formam a rede hídrica da cidade, como é o caso do Arroio Pepino que teve parte do seu trecho enterrado.

Um dos casos onde pode-se dizer que houve uma intenção de vínculo entre a população as águas é o Canaleta da Rua Argolo, onde existe ainda hoje uma certa identidade dos moradores com o Canal, mas que também parte já foi enterrado. De maneira geral, percebe-se que as soluções adotadas na drenagem foram implantadas com o conceito equivocado de escoamento rápido das águas, pois utilizam-se de dutos retificados para a drenagem, muitos deles construídos com concreto, o que tende a acelerar o escoamento para as áreas mais baixas (Figuras 114 e 115).

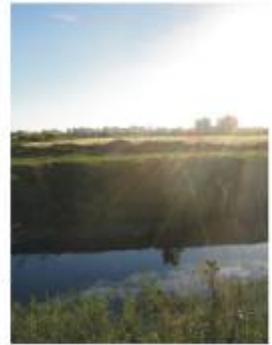
Este tem sido o motivo principal de diversas ocorrências verificadas na zona urbana, devido à superação da capacidade de vazão do sistema. Com estas soluções, no caso dos canais das áreas mais baixas não suportarem o volume de água de grandes precipitações proveniente das áreas altas, ocorre o extravasamento atingindo a população que reside nestas áreas. Poderiam ser realizadas adaptações ao sistema existente, considerando os princípios da infra-estrutura verde, que tendem a aproximar as obras às características naturais do ambiente, retardando ao máximo o escoamento para jusante da bacia. Isto diminuiria o excesso de volume que chega muito rápido às zonas baixas, tornando mais lento o escoamento sem superar a capacidade de vazão destes canais.

Alternativas como aumento da rugosidade dos canais retardando o escoamento, a criação de parques junto a tanques de retenção, a adoção de áreas permeáveis em calçadas, praças, estacionamentos ou mesmo a nível de lote com reservatórios de detenção e jardins de chuva, podem ser feitas para que possam diminuir o volume que chega à rede de drenagem principal, evitando assim a sobrecarga na vazão dos canais situados nas áreas baixas da zona urbana e reduzindo assim o número de ocorrências.



Mapa hipsométrico com vias e canais de drenagem indicam que a concentração das águas pluviais ocorrem no setor mais baixo do território urbano. Por este motivo, o extravasamento dos canais tende a gerar inundações consideráveis.

Vista que mostra o relevo de planície, tornando necessário o convívio da cidade com a presença constante das águas.



Representação dos canais de macrodrenagem relacionados às vias urbanas. O acompanhamento do traçado viário provoca a retificação dos canais.



Aspecto das retificações dos cursos d'água naturais, muitos deles enterrados como o Canal do Pepino (ao alado).

Simulação do relevo com exagero vertical de 10x. Demonstra o aspecto da localização da zona urbana (contorno em preto) em área excessivamente plana com baixas declividades, que recebe o escoamento das águas dos morros da zona rural, o que requer maior eficiência no sistema de macrodrenagem para evitar inundações.

Canal de desvio por onde o Santa Bárbara escoa e deságua no Canal São Gonçalo.

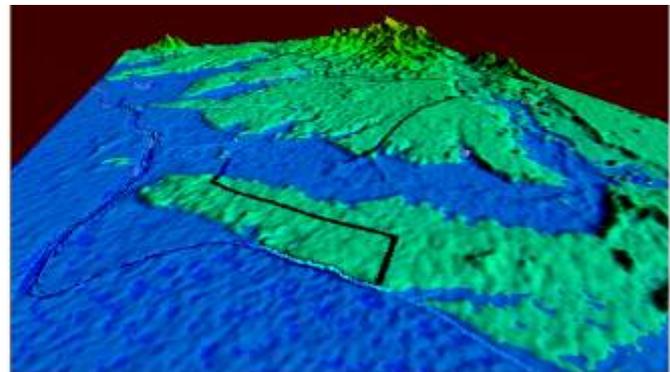


Figura 114: Sistema de macrodrenagem de Pelotas. Elaborado pelo autor.



Aspecto das retificações dos cursos d'água, caracterizadas pela diminuição da rugosidade devido ao revestimento de concreto (ao lado).

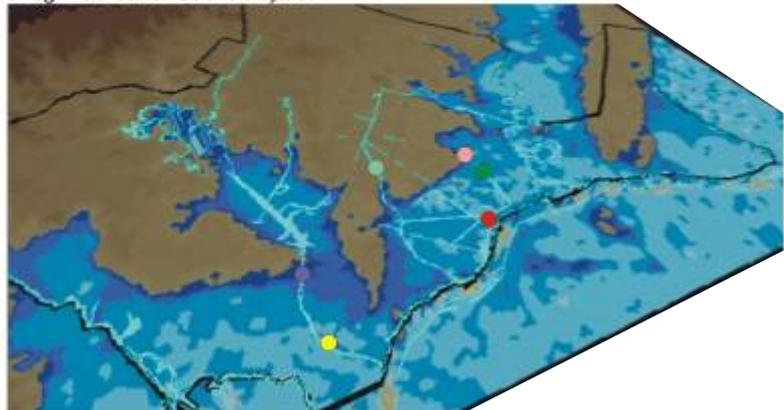


Demonstração de uma das poucas soluções verificadas no sistema de macrodrenagem da zona urbana, onde percebe-se a intenção de um tratamento paisagístico onde foram resguardadas as margens evitando-se a ocupação do leito do canal. A estrada à esquerda da imagem corresponde ao dique de proteção que acompanha o traçado do Canal Santa Bárbara.



Nesta simulação, percebe-se que a macrodrenagem foi concebida para deslocar as águas das áreas terraços, passando pelas áreas de várzea até chegar ao canal São Gonçalo.

É possível verificar a ocorrência de ocupações ribeirinhas em alguns trechos dos canais de macrodrenagem, o que além de dificultar o processo de escoamento devido a obstruções provocadas pelo lixo doméstico, compromete a segurança destas populações em caso de aumento do nível das águas.



Vista aérea do território com canais de drenagem que escoam para o São Gonçalo (ao fundo). A retificação e canalização dos cursos d'água naturais tendem a acelerar o escoamento e aumentar o volume para jusante da bacia, que extravasará se os sistemas de drenagem não forem eficientes.



Figura 115: Sistema de macrodrenagem de Pelotas. Elaborado pelo autor.

e) Tema: Sistema de drenagem e proteção contra enchentes de Pelotas

O sistema de proteção foi concebido a partir da década 1941, após a ocorrência de enchente de grandes proporções, como visto no item Sistema de proteção contra enchentes de Pelotas. Em função da ocupação das áreas baixas no entorno da área central desde a década de 1880, como mostra o mapa de evolução urbana, houve uma necessidade de resguardar as populações destas áreas. Merece especial destaque nesta análise o fato de que, como a Planície da Lagoa Mirim tem sua cota de inundação estimada em 5m, nesta situação este sistema deixa de proteger as áreas baixas a que foi destinado, pois a altura máxima de seus diques corresponde a 4,5m de altura. Essa limitação do sistema se torna fator decisivo quanto às diretrizes de expansão urbana nas áreas baixas da zona urbana, localizadas nas cotas inferiores a 5m, pois ainda que seja para uma ocorrência esperada em um período bastante prolongado de 100 anos, estas ocupações estariam sendo expostas ao risco. Portanto, para o caso de Pelotas não seria um exagero considerarmos este período como válido para o zoneamento da ocupação do solo urbano.

Na etapa de análise adiante, o aspecto de condicionamento da segurança da população é fortemente destacado, pois as simulações possibilitam visualizar nitidamente quais são as áreas baixas da zona urbana, bem como quais as ocupações estão implantadas nessas áreas com risco de cheias (Figuras 116 e 117). Por esse motivo, nas análises que seguirão, a cota de 5m é adotada como parâmetro diferenciador entre áreas altas e baixas da zona urbana, servindo como importante definição para os critérios de análise sobre a adequação das ocupações urbanas frente ao risco das inundações.

f) Tema: Ocupações de risco na zona urbana

A Figura 118 apresenta a situação de ocupações que se caracterizam pelo risco de inundações, seja pela localização nas áreas de níveis inferiores a 5m, ou pela proximidade dos canais de macrodrenagem. A representação no mapa hipsométrico demonstra a relação entre o relevo do município e as áreas da planície que concentram o escoamento das águas e que estão ocupadas.

O mapa do cadastro viário apresenta o traçado dos canais de drenagem, a cota de 5m e a localização das ocupações apresentadas, onde pode-se perceber a relação de proximidade dos cursos d'água (em azul) e a situação de implantação relativa à cota de 5m (em vermelho) que determina as áreas mais baixas em que se encontram. Associado aos problemas decorrentes da elevação do nível da água, o tratamento inadequado dos resíduos sólidos tende a dificultar o correto escoamento das águas devido à obstrução dos

canais, bem como agravar os problemas de contaminação pelas águas devido à mistura dos esgotos domésticos às águas pluviais.



Esquema de funcionamento do sistema de drenagem e proteção contra enchentes, com indicação do sentido de escoamento dos canais, a localização das bombas de recalque, os diques de proteção e os limites das áreas de polder protegidas



Curso do canal e dique de proteção lateral



Canal e diques dividem área de polder (esquerda abaixo) com a Estação Rodoviária e setor do bairro Fragata (acima)



Estação Rodoviária, localizada na área 'protegida' pelo sistema contra enchentes, INUNDADA em maio/2004



Canal Santa Bárbara e diques laterais do sistema de proteção



Estação Rodoviária, implantada na várzea do Santa Bárbara



Representação das áreas altas com sistema de proteção

Figura 116: Sistema de drenagem e proteção contra enchentes de Pelotas. Elaborado pelo autor.

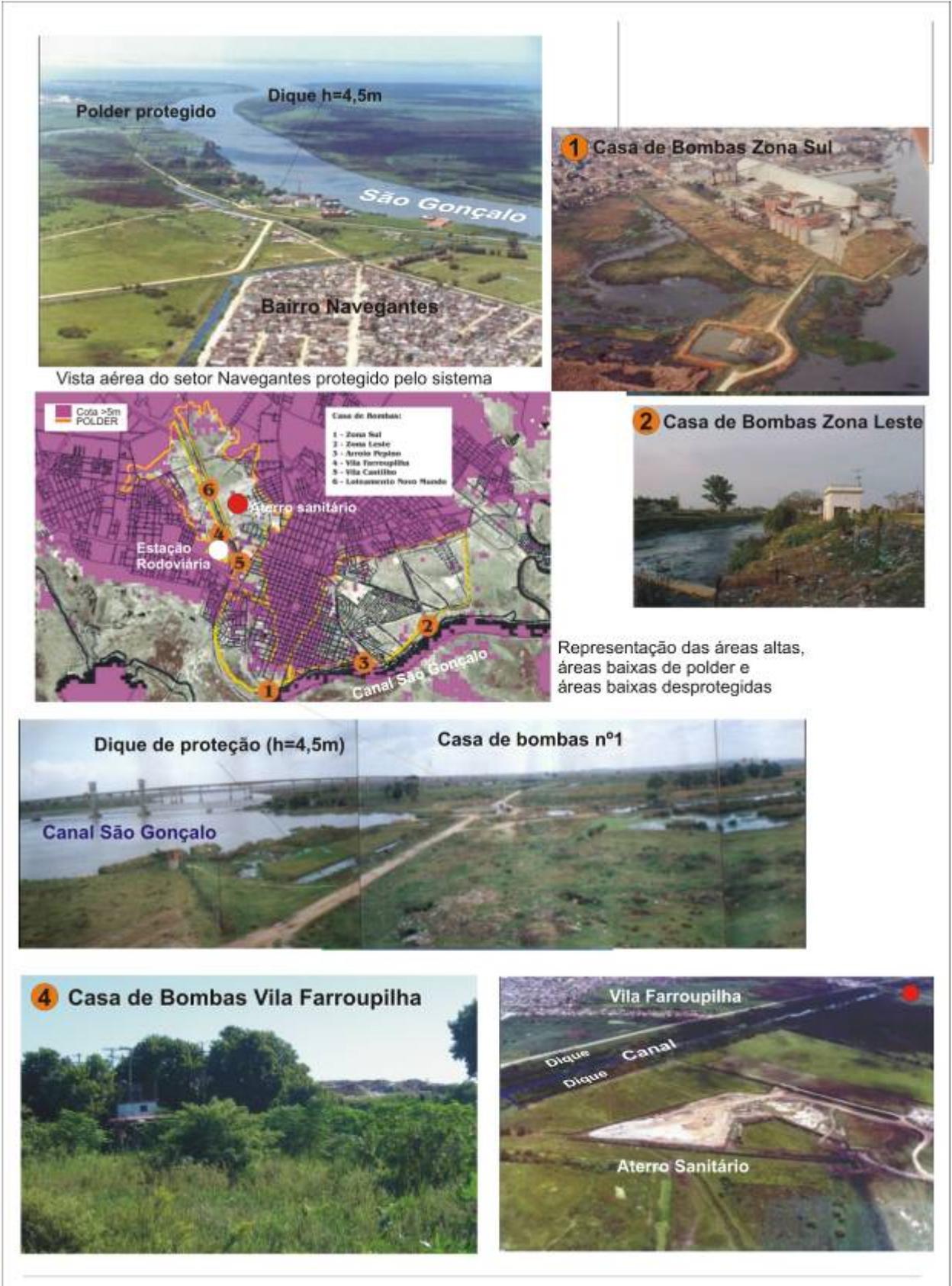


Figura 117: Sistema de drenagem e proteção contra enchentes de Pelotas. Elaborado pelo autor.



Bairro Fragata resguardado da inundação



Impermeabilização de banhados



Ocupações ribeirinhas, somadas à destinação inadequada do lixo, dificulta escoamento pluvial nas área mais baixas e aumenta o nível de risco destas populações.



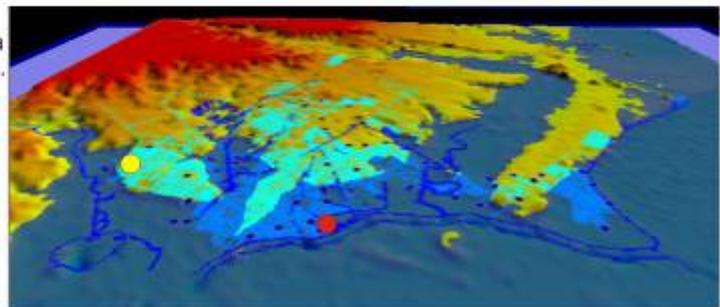
Bairro Navegantes sob risco, com localização indicada na simulação

Vista aérea do bairro Navegantes, implantado à margem do São Gonçalo. A situação de risco é contrastante e oposta à do bairro Fragata ilustrada acima, que numa das maiores inundações de Pelotas, em maio/2004, ficou resguardada por ter sido implantada na área mais alta, enquanto no Navegantes as ocorrências são seguidas bastando pequenas precipitações, por localizar-se nos setores mais baixos da planície que são caminho de passagem das águas até o Canal São Gonçalo. A simulação tridimensional nos permite visualizar e compreender melhor estas duas situações de maior e menor risco.



Desconsideração das faixas do leito maior dos cursos d'água para ocupação geram situação de risco

Cena de socorro às vítimas na inundação de maio/2004. Destaque ao aspecto que esta área está 'protegida' pelo sistema contra enchentes.



Simulação de inundação até 5, com destaque para as áreas mais elevadas

Figura 118: Ocupações de risco na zona urbana de Pelotas. Elaborado pelo autor.

g) Tema: Quantificação dos domicílios sob risco

Em relação à ocorrência de falha no sistema de proteção contra enchentes de Pelotas, acontecida em maio de 2004, onde é mencionado que 2,1 mil residências foram atingidas (ver Anexo), nos questionamos sobre o número total de edificações que estão localizadas nas áreas baixas da zona urbana, e também o número de domicílios que se encontram protegidos pelo referido sistema. A partir do auxílio das ferramentas computacionais em ambiente SIG, foi possível quantificar estes domicílios. Os dados obtidos correspondem ao Levantamento Aerofotogramétrico de 1995, e portanto estão desatualizados. Porém, a técnica utilizada possibilitou gerar uma aproximação das informações reais verificadas na zona urbana, o que nos mostrou que com a atualização do levantamento teremos os dados totais recentes com bastante agilidade e precisão.

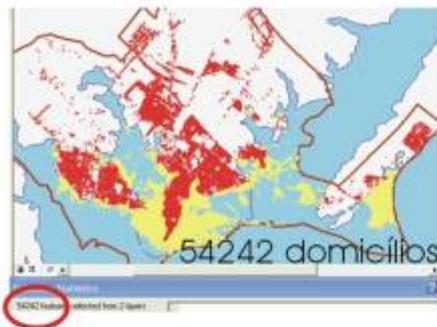
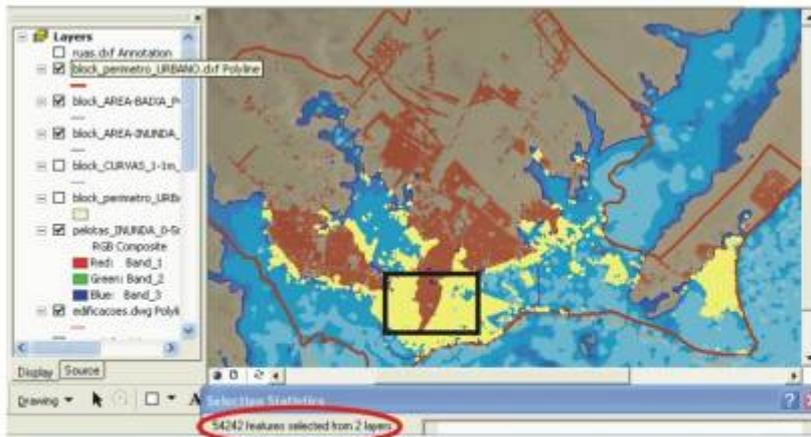
Da mesma forma que quantificamos os domicílios sob proteção do sistema contra enchentes, evidenciamos as edificações implantadas às margens de cursos d'água, o que a Lei Federal 4741/65 prevê como APP e, devido à geração das informações sobre linhas naturais de escoamento através de modelagem digital do terreno, pudemos identificar também o número de edificações que estão dentro da faixa de 30m das linhas de drenagem natural. Essas informações resultantes, de quantidade de domicílios em áreas baixas e próximos a cursos d'água, constituem dados relevantes para tomada de decisões no processo de planejamento do uso e ocupação do solo, com vistas à minimização dos conflitos com a drenagem urbana. Através do cruzamento das informações entre área baixas, áreas protegidas e cadastro imobiliário, lançamos a simulação de inundação para nível de 5m e quantificamos o número total de imóveis que seriam atingidos, e os que seriam protegidos caso o sistema de proteção não apresente falhas.

Podemos constatar que existe um número expressivo de imóveis que estão localizados abaixo da cota 5m, somando 54.242 (43, 71%) do valor total de 124.077 dos imóveis urbanos levantados em 1995, dos quais 29.832 (24,04%) se encontram sob proteção dos diques e sistemas de bombeamento (Figura 119). Ou seja, quase a metade das edificações urbanas estão implantadas em cotas abaixo de 5m. O sistema de proteção pode apresentar deficiências em seu funcionamento ocasionando cheias mais graves, pois a água ficará retida nos domicílios até que seja bombeada para o canal que transbordou, devido à existência dos diques como barreira ao escoamento. A imagem dos bombeiros socorrendo as vítimas ilustram este aspecto. Portanto, torna-se questionável o estímulo à ocupação dessas áreas, fundamentada numa suposta segurança proporcionada pelo sistema de proteção existente, como é o caso verificado nas diretrizes de ocupação propostas na construção do III Plano Diretor de Pelotas, como veremos a seguir.

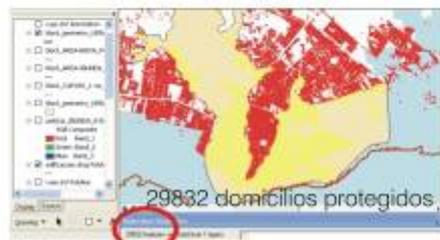


Exemplos de ocupações ribeirinhas encontradas na zona urbana.

Através do auxílio de ferramentas computacionais, são quantificados os imóveis localizados em situação de risco: em cotas inferiores a 5m,



Identificação dos domicílios situados dentro da faixa de 30m dos canais de drenagem, caracterizando ocupações ribeirinhas.



Identificação dos domicílios situados dentro da faixa de 30m das linhas de escoamento natural que podem sofrer alagamentos

Figura 119: Quantificação dos domicílios sob risco na zona urbana de Pelotas. Elaborado pelo autor.

h) Tema: Análise do Plano Diretor de Pelotas

A partir do mapa de usos definido pelo Plano Diretor de Pelotas vigente (II PDP- Lei Municipal 2565/80), podemos verificar o estabelecimento de um zoneamento (Figura 120) que, aparentemente não condiciona as ocupações e tampouco as expansões ao relevo predominante na zona urbana. Podemos verificar a classificação de zonas residenciais mistas e zonas de expansão prioritária e secundária nas áreas mais baixas do território urbano.

Estas definições, além da possibilidade de gerar dificuldades de escoamento das águas pluviais pela baixa declividade, com encarecimento da infraestrutura de drenagem urbana, tende a degradar ambientes naturais das várzeas das bacias urbanas como os banhados que têm a função de regular o nível das águas em seu leito maior, o que agrava ainda mais o controle sobre as cheias nas zonas baixas. O cruzamento das informações de hipótese de inundação e dos usos estipulados no II PDP, com intuito de verificarmos estas relações de conflitos, são apresentadas através de simulação computacional.

Por sua vez, os estudos para definições do zoneamento do novo Plano Diretor para o Município apontam diretrizes de uso e ocupação do solo. Esta diretrizes encontram-se ainda em discussão em 2007 para aprovação da lei na Câmara Municipal. Nesse sentido, considerando o estágio de andamento das análises sobre a adequação dos usos no território urbano, cabe aqui apresentar algumas considerações sobre estas diretrizes que se tornarão lei no III PDP, especificamente quanto ao tema das inundações urbanas.

No mapa de diretrizes na Figura 121, é possível verificar que, da mesma forma que o Plano de 1980, ainda permanece a indicação de expansões nas zona mais baixas, através das indicações de Consolidação da Cidade Constituída e Expansão da Centralidade. Isto leva a crer que os freqüentes problemas em relação às enchentes, demonstrada aqui nas matérias de jornal (ver Anexo) não são suficientes para a redefinição das áreas de expansão, e continua-se a incorrer no erro de direcionar as ocupações para áreas onde já ocorreram inundações, como banhado do Laranjal e várzea do Santa Bárbara.

Pode-se admitir que algumas destas áreas baixas suportariam algum adensamento populacional em função do sistema de proteção existente, mas como já demonstramos e as manchetes também registram, este sistema é suscetível a falhas, não garantindo uma completa segurança a estas populações. Para o caso onde não existe sequer previsão de um sistema de proteção, como a área do Bairro Laranjal, é injustificável a indução da expansão para as zonas mais baixas, considerando a existência de diversos vazios urbanos nas zona de cota acima de 5m, consideradas aqui com menor risco de inundações e mais apropriadas à ocupação.

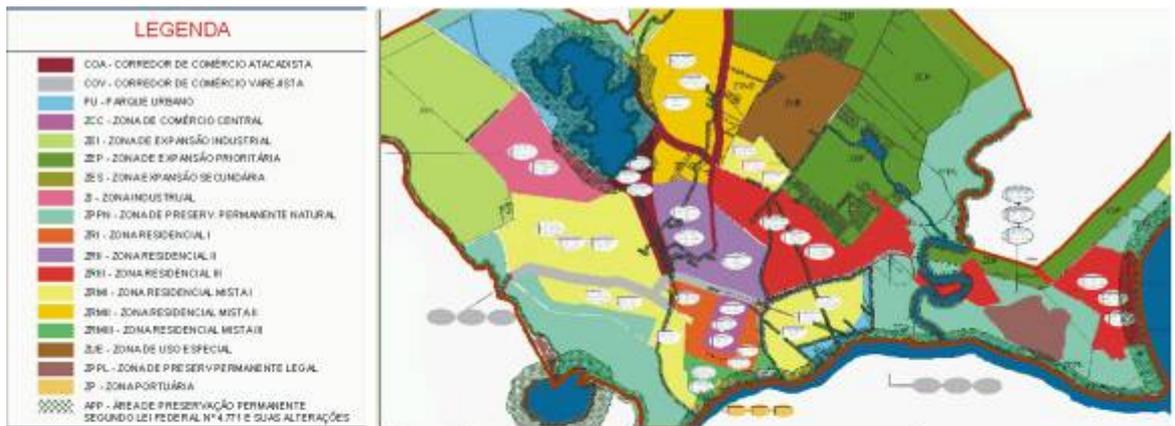
Portanto, sugere-se que estas propostas de zoneamentos sejam revisadas atentamente, inclusive porque os próprios mapas temáticos elaborados pela equipe técnica responsável pela construção do novo Plano apresentam contradição, considerando ora Área Especial de Interesse Ambiental Natural e, ora Consolidação da Cidade Constituída, com diretrizes diferenciadas para as mesmas áreas localizadas em zonas de várzea inundável.

i) Tema: Valor do solo, densidades, renda e risco

Quanto aos valores imobiliários atribuídos aos setores do território urbano, investigamos as relações entre os custos do solo em 2000, densidades dos setores censitários do IBGE em 2000, renda da população em 2000 e sua localização geográfica com risco de inundações. Conforme os cruzamentos e espacialização dos dados, podemos constatar que, como prevíamos na hipótese das terras altas consideradas serem mais seguras e por isso com valor mais elevado, realmente o custo do solo tende a baixar conforme a variação de relevo proporcionalmente das zonas altas para as zona baixas.

Partindo do princípio que as áreas baixas possuem valor mais baixo, e estão mais adensadas, como mostra a Figura 122, podemos concluir que as ocupações caracterizadas por baixa renda, ou seja mais pobres, são as que estão mais suscetíveis às inundações na área central da cidade. Curiosamente, esta afirmativa não corresponde à situação das margens do Arroio Pelotas, onde a área é baixa, o valor é baixo, mas a população residente está entre as de maior renda. Pode-se deduzir que, em função da localização de condomínios residenciais de padrão médio a alto, somado às propriedades dos antigos charqueadores, tenham acusado na média dos setores censitários uma alta renda da população ali residente. Isto mostra um certo desequilíbrio na distribuição do custo do solo, se considerarmos como exemplo as áreas 10 e 6, onde a população é mais pobre e o custo em UR (unidades de referência) é 42,45 e 73,73, respectivamente, valores estes mais elevados que 27,02 e 14,77 das áreas 60 e 62, respectivamente, onde a população tem renda maior. A constatação mais preocupante é que as maiores densidades, e conseqüentemente um número maior de pessoas, estão situadas nas áreas mais baixas onde o risco é maior.

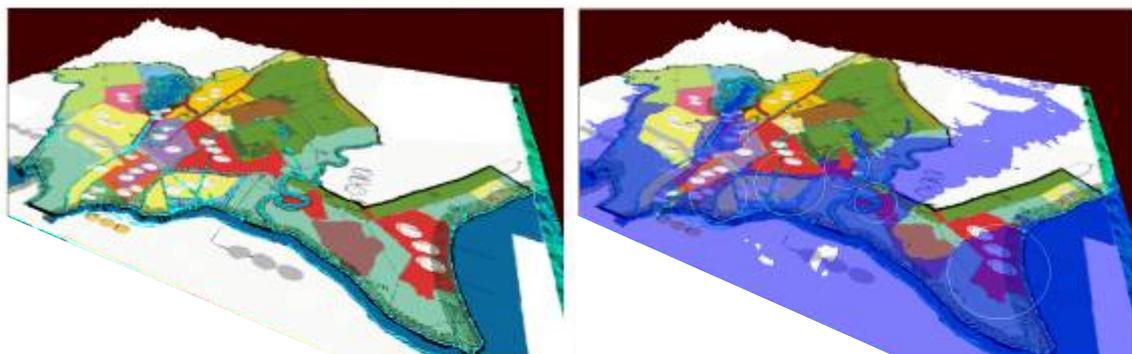
Estes mapas, de maneira geral, nos mostram que estes dados deveriam ser considerados pelos planejadores urbanos, tanto nos aspectos de compreensão do estabelecimento de valores ao solo urbano associado às condições de renda e distribuição da população mas, principalmente, quando tem-se por objetivo principal garantir segurança e qualidade de vida à toda população, indiscriminadamente.



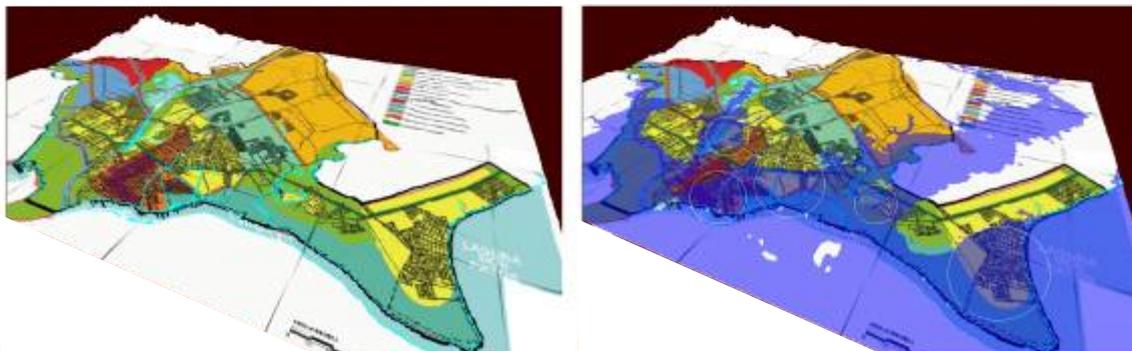
Mapa do Zoneamento de Usos do II PDP/1980



Mapa das propostas de Zoneamento III PDP/2007

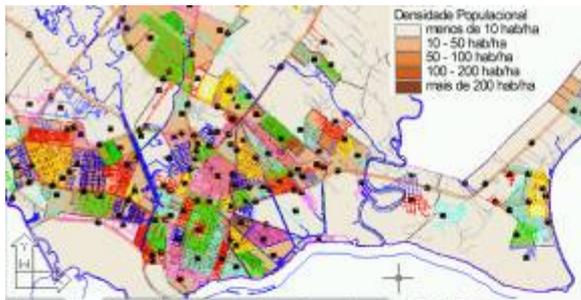


Mapa do Zoneamento de Usos do II PDP/1980, com indicação dos conflitos de usos com áreas inundáveis

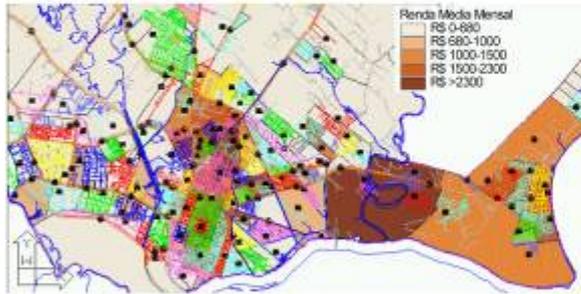


Mapa das propostas de Zoneamento III PDP/2007, com indicação dos conflitos com áreas inundáveis

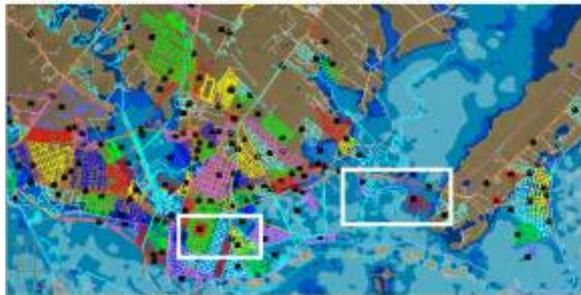
Figura 120: Representação dos zoneamentos do Plano Diretor de Pelotas. Elaborado pelo autor.



Mapa de densidades e valor do solo em 2000



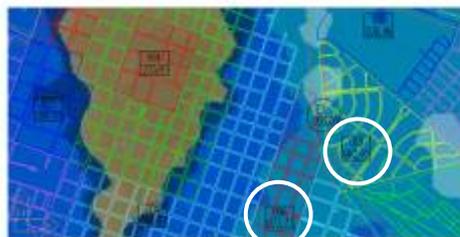
Mapa de renda da população e valor do solo em 2000



Mapa de valor do solo em 2000 e inundação em 5m



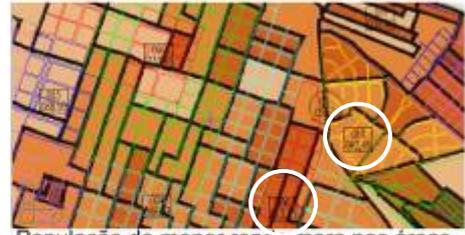
Valores do solo em 2000 na área central e entorno



Valores do solo nas áreas baixas é menor



População de maior renda mora nas áreas mais caras



População de menor renda mora nas áreas mais baratas em maior densidade



A densidade é maior na áreas mais baratas, (como mostra a imagem aérea) que são áreas mais baixas onde o risco é maior. Ou seja, as áreas inundáveis são as mais densificadas.



Áreas mais baixas são mais baratas



Exceção à regra: População de maior renda mora em área mais barata



Exceção à regra: Condomínios de classe média-alta em situação de risco de inundação

Figura 122: Representações do valor do solo, densidades, rendas e risco na zona urbana. Elaborado pelo autor.

4.4.5 Análise de 2 Setores Urbanos

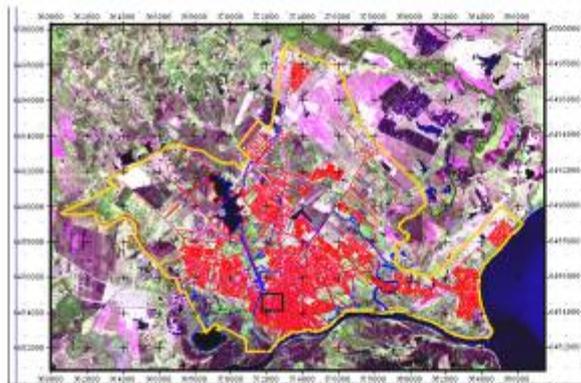
A escolha para uma análise mais detalhada, da área da Estação Rodoviária e entorno, e Praça Cipriano Barcelos e entorno, justifica-se pela localização na bacia do Arroio Santa Bárbara que teve seu curso natural alterado e foi canalizado, por estarem incluídas nas áreas baixas protegidas pelo sistema contra enchentes e pelos seguidos registros de ocorrência de cheias nestas áreas. Esta seleção tem como objetivo verificar as características do meio físico destas áreas, como forma de melhor compreender as causas dos problemas de drenagem destes setores da cidade.

a) Praça Cypriano Barcelos

Como é possível verificar nas imagens da Figura 123a, a praça está localizada na várzea do curso natural do Arroio Santa Bárbara. Com a falha no funcionamento do sistema de macro drenagem e condução das águas pelo desvio através do canal retificado, as águas tendem a acumularem-se na antiga várzea do arroio, já que o relevo característico da região ainda permanece o mesmo. Além da alteração do traçado, as modificações de impermeabilização do solo com asfalto após a ocupação desta área e maior densificação desta bacia hidrográfica, tendem a aumentar o acúmulo de águas neste trecho, proporcionando eventos de cheias incompatíveis com os usos desta área e entorno.

Normalmente são atingidos prédios públicos, como a Companhia Estadual de Energia Elétrica-CEEE e o Centro Federal de Ensino Tecnológico-CEFET. Residências no entorno, como na Rua Tiradentes, também são atingidas. As lombadas que conduzem à praça, no sentido Centro-Praça, como apresentado na Figura 123b, já sinalizam para a tendência das águas escoarem naturalmente para esta área. As simulações tridimensionais demonstram a variação do relevo do Centro para a Praça. O perfil representa esta lombada, com exagero de 10 vezes na escala vertical. As plantas hipsométrica, cadastro viário e imobiliário mostram as ocupações deste setor da zona urbana e como se dá a variação de cotas no terreno.

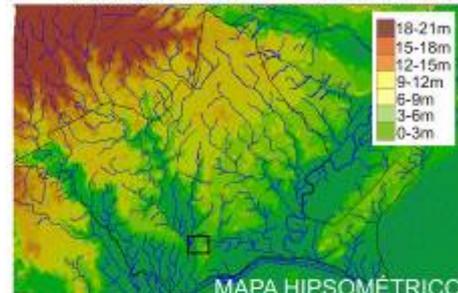
A falta de observação destas características básicas sobre o meio físico, para adoção de soluções de drenagem e instalação de obras públicas, já provocaram prejuízos consideráveis devido à tendência natural de ocorrência de cheias nesta área. Ainda, aspectos da microdrenagem observados, como interferência nos meio-fios e bocas-de-lobo, tendem a agravar as cheias neste setor, pois além da grande concentração das águas há uma dificuldade de escoamento quando os dutos de drenagem estiverem obstruídos. Estes fatores podem ser considerados como relevantes para justificar os registros de ocorrência de cheias nesta área analisada.



MAPA DO CADASTRO VIÁRIO E LANDSAT-7



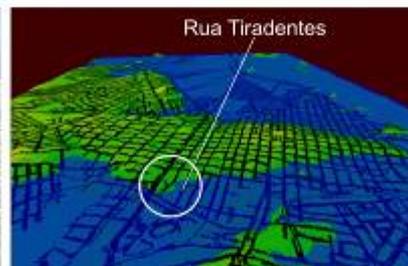
MAPA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS



MAPA HIPSEMÉTRICO

Localização da área analisada no território urbano, com localização do setor na bacia hidrográfica e associação ao relevo correspondente.

REGISTROS DE OCORRÊNCIAS NO LOCAL



Vista aérea do setor analisado e respectivas simulações que representam a localização dos pontos de ocorrência em relação ao relevo da bacia onde a praça está inserida.



Importância da microdrenagem nas áreas baixas: (a) preocupação de evitar entupimentos dos dutos; (b)(c) soluções de rampas que dificultam escoamento pluvial provocando acúmulo de água em áreas baixas

Figura 123a: Setor da Praça Cypriano Barcelos na Bacia Santa Bárbara. Elaborado pelo autor.



Figura 123b: Setor da Praça Cypriano Barcelos na Bacia Santa Bárbara. Elaborado pelo autor.

b) Estação Rodoviária Municipal

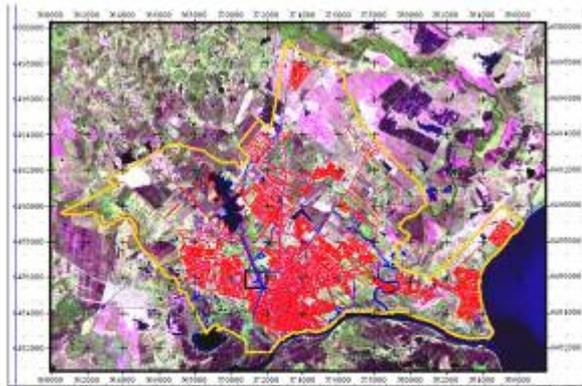
Como é possível verificar na Figura 124a, a Estação Rodoviária se localiza bem próxima à Barragem do Santa Bárbara. Relatos sobre a época de sua obra mencionam que, quando foi construída, diversas hastes de fundação foram perdidas no terreno devido à instabilidade do solo da várzea do canal. Isto, de certa maneira, já anunciava o risco de inundações para ocupação desta área. As plantas hipsométrica, cadastro viário e imobiliário podem comprovar os limites que definem esta área de várzea, que está representada na simulação com nível de água em 5m.

Registros fotográficos da cheia de maio de 2004 permitem comparar os locais atingidos com as características da topografia deste setor da bacia e entorno imediato, bastante impermeabilizada com asfalto por representar um dos principais acessos viários à cidade, mapeadas e simuladas tridimensionalmente, representadas na Figura 124b. Da mesma forma que na análise anterior da Praça, as lombadas de acesso à área já expressam a condição de cheias a que está submetida esta área.

A proximidade do canal de escoamento do Santa Bárbara e dos diques de proteção representam um risco maior, caso haja rompimento das barreiras que protegem esta região das águas. Além da Estação Rodoviária, estão instaladas nas imediações deste canal, e também foram atingidas em 2004, o aterro sanitário municipal e um novo Hospital Universitário para atendimento de pacientes de toda região sul do Estado. O aterro é fonte contaminante de doenças, e o hospital, além de interditado em caso de cheia, pode ser infectado por águas poluídas.

Pode-se concluir que, além das residências existentes neste setor, estes usos são incompatíveis com as características desta área. Nenhuma destas ocupações, principalmente os prédios de uso público e o aterro, deveriam estar instalados onde estão. Provavelmente foram implantados sob aval de alguns técnicos designados pelo poder público que desconsideraram os condicionantes para ocupação, sendo que o reparo aos prejuízos em caso de cheias são pagos, indiretamente, por toda sociedade.

A simples falta de critérios determinantes, como as características do meio físico para a definição das áreas a serem ocupadas, resultam em danos de grandes proporções no futuro. Esta consideração serve para demonstrar que análises prévias como esta, realizadas anteriormente à definição de locais para implantação de empreendimentos desta natureza, se observadas, podem evitar sensivelmente a situação de risco a inundações que ficam submetidas as ocupações nas cidades.



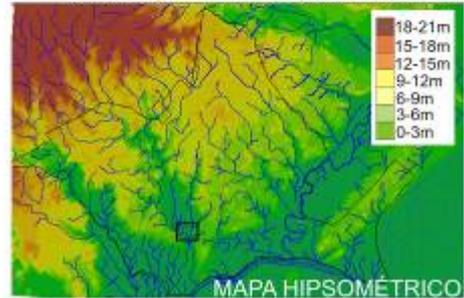
MAPA DO CADASTRO VIÁRIO E LANDSAT-7

Localização da área analisada no território urbano, com localização do setor na bacia hidrográfica e associação ao relevo correspondente.

Bacia Santa Bárbara

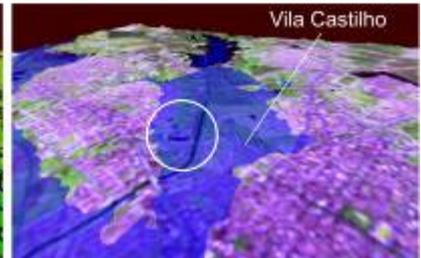
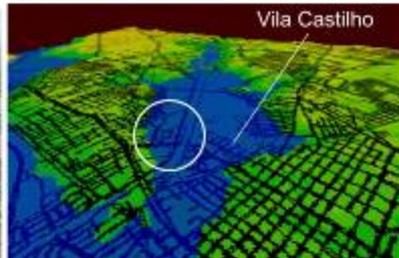


MAPA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS



MAPA HIPSOMÉTRICO

REGISTROS DE OCORRÊNCIAS NO LOCAL



Vista aérea do setor analisado e respectivas simulações que representam a localização dos pontos de ocorrência em relação ao relevo da bacia onde a rodoviária, residências, hospital e aterro sanitário estão inseridos.



Prédios de uso coletivo instalados na área de várzea: (a)vias de acesso à estação rodoviária; (b)prejuízos ocasionados pela cheia; (c)hospital da Universidade Federal em obras, implantado em área sujeita a inundações.

Figura 124a: Estação Rodoviária na Bacia Santa Bárbara. Elaborado pelo autor.

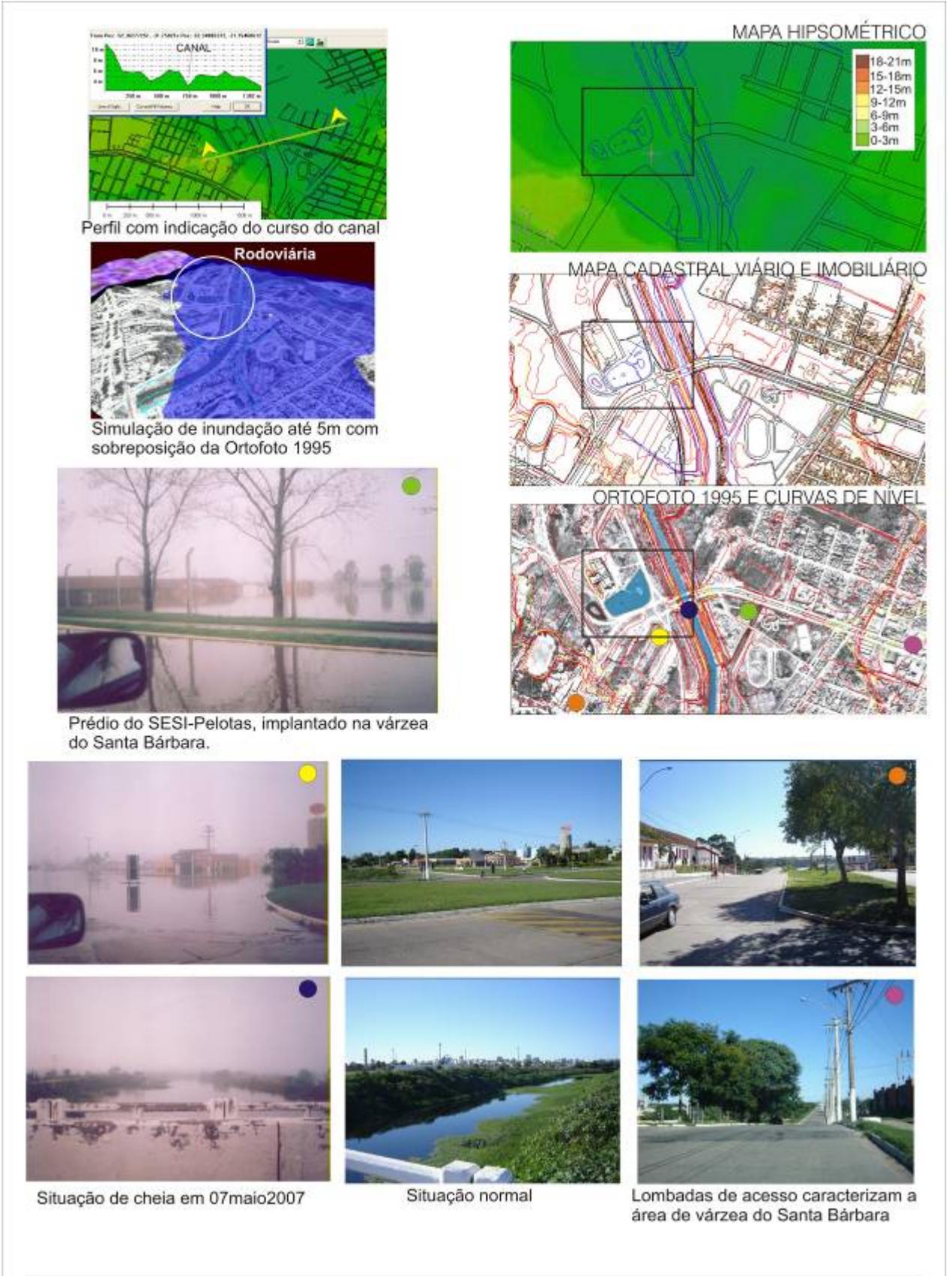


Figura 124b: Estação Rodoviária na Bacia Santa Bárbara. Elaborado pelo autor.

Demonstramos até aqui as análises em duas escalas diferenciadas, pois consideramos que para compreensão de um problema local é imprescindível a verificação das variáveis globais que interferem em um setor específico do território . Na escala urbana, pudemos verificar que diversos fatores inter-relacionados com o território da bacia hidrográfica interferem decisivamente na ocorrência de cheias localizadas em setores do território urbano.

Realizamos a análise de 2 setores apenas, para verificarmos os procedimentos necessários para o entendimento dos motivos pelo qual as inundações ocorrem. Consideramos que esta análise apresentou subsídios teóricos e metodológicos importantes, que possibilitam a verificação e compreensão dos registros de cheias em outros setores diferenciados na cidade, a partir do método empregado e das etapas de análise adotada nestes setores escolhidos.

Como síntese do que verificamos ao longo das análises, elaboramos representações que sugerem aos planejadores do território urbano as áreas passíveis de ocupação e resguardadas das inundações, como mostra a Figura 125a e 125b. Com isso, passamos para o Capítulo 5, com as conclusões desta pesquisa e recomendações para trabalhos futuros.

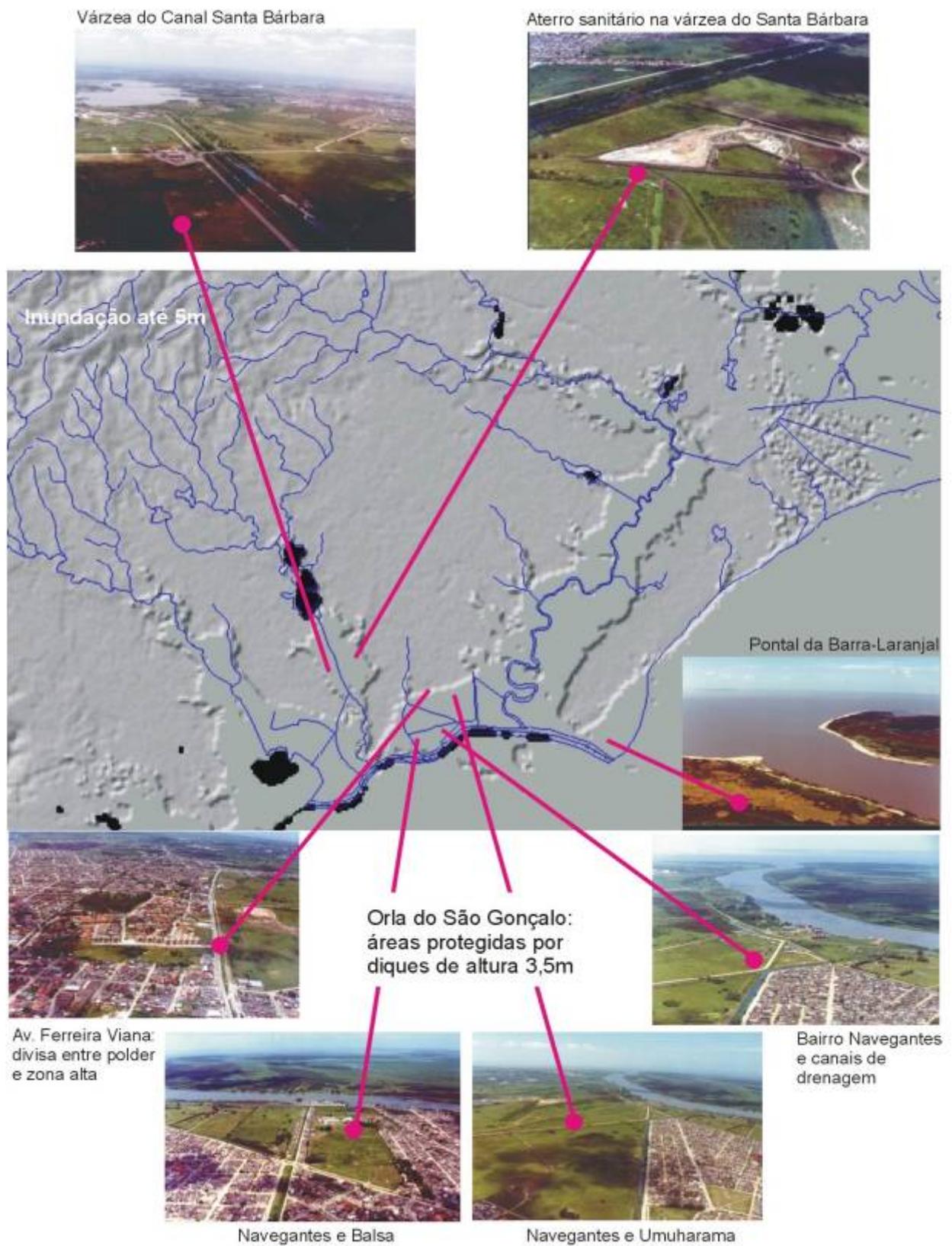


Figura 125a: Áreas baixas de nível inferior a 5m com maior risco de inundações. Elaborado pelo autor.

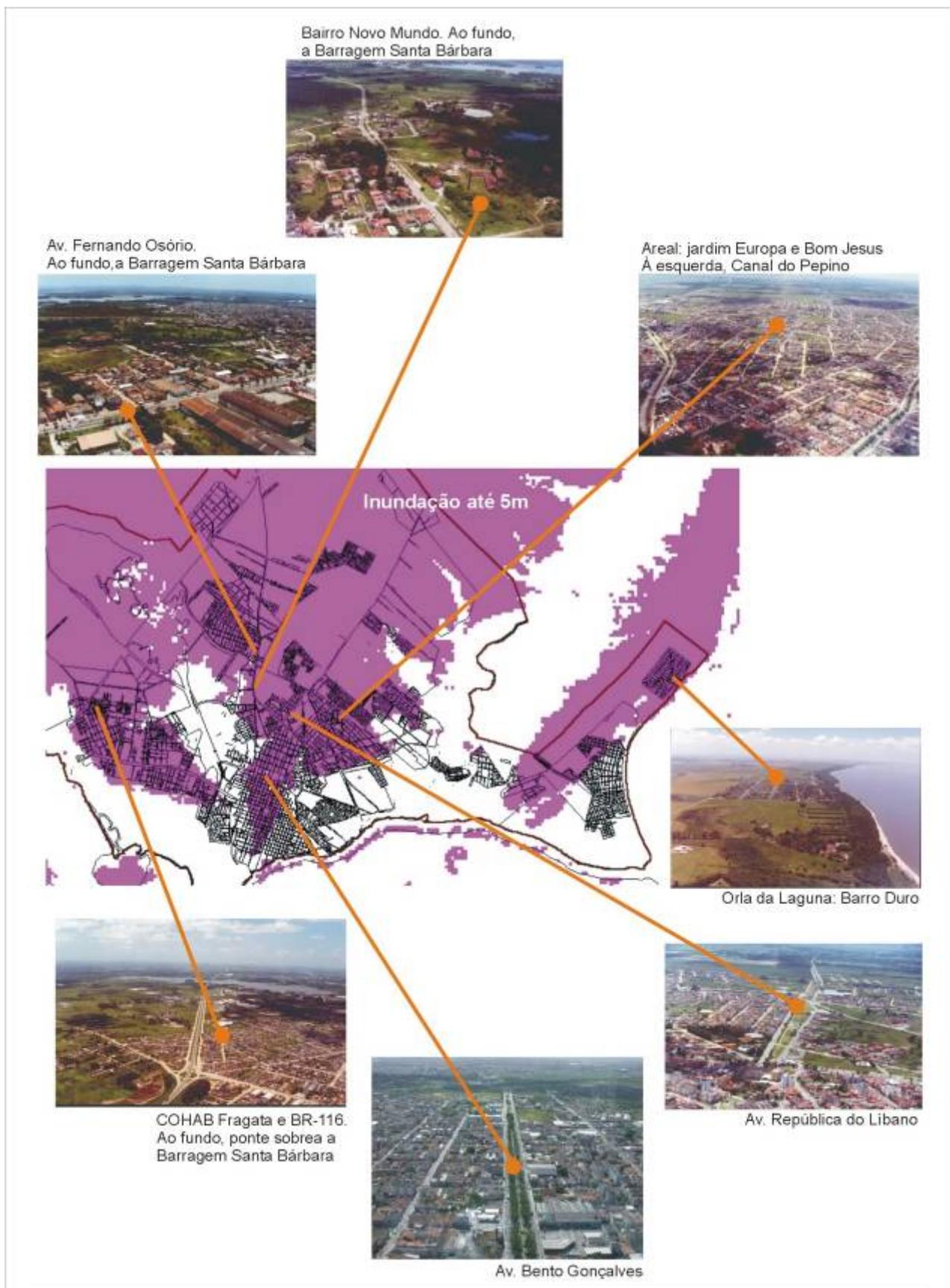


Figura 125b: Áreas altas de nível superior a 5m com menor risco de inundações. Elaborado pelo autor.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nas conclusões deste trabalho, apresentamos a relação dos resultados alcançados com os objetivos traçados inicialmente pela pesquisa. Da relação de vínculos entre as etapas de pesquisa, demonstrada no Item 3.1 - Etapas do Projeto de Pesquisa Científica, foi realizado o esquema da Figura 126 como síntese para apresentar as conclusões que relatamos aqui.



Figura 126: Esquema dos itens relacionados com as conclusões (Elaborado pelo Autor)

A partir dos objetivos gerais, lançamos um método baseado em fundamentações teóricas e conceituais e procedimentos para alcançarmos os resultados pretendidos. Na etapa de definição dos procedimentos relativos ao método escolhido, estipulamos as fases que deveríamos percorrer para gerar os resultados.

Assim, definimos como etapas gerais a revisão bibliográfica, que tratou dos fundamentos teóricos sobre o tema escolhido para embasar teoricamente as análises realizadas no estudo de caso, e o levantamento de dados relativos ao município de Pelotas/RS. Com os dados, passamos pela etapa de processamento das informações, que consistiu na sistematização dos dados levantados e organização dos materiais e técnicas apoiadas por computador para então realizarmos as análises previstas. A partir das análises, realizamos os diagnósticos de conflitos com as sínteses correspondentes a cada abordagem tratada em relação aos temas enfocados, o que nos proporcionou elaborar os

resultados através de mapeamentos temáticos que, por sua vez, atenderam satisfatoriamente aos objetivos enunciados por esta pesquisa, de compreender as relações entre processos de urbanização e as inundações, caracterizando a drenagem na bacia hidrográfica urbana para identificar as incompatibilidades e sugerir medidas de controle.

. De maneira geral, este foi o processo que estabelecemos para realização da pesquisa. A respeito de cada etapa específica, descreveremos sucintamente a seguir o que julgamos relevante para destaque em nossas conclusões.

Através da fundamentação teórica, pudemos verificar os conceitos contemporâneos voltados ao tema das inundações urbanas, realizando algumas reflexões a respeito dos principais aspectos envolvidos com o tema que resolvemos abordar. Em resumo, a revisão bibliográfica nos mostrou que, historicamente, as chuvas abundantes que levavam ao transbordamento de rios sempre foram consideradas benéficas para o ser humano. Esse fenômeno natural era esperado com expectativa para fertilizar o solo e trazer fartura às populações. As inundações, ao contrário do significado de temor, representavam prosperidade, como no caso clássico da fertilização das margens do Rio Nilo. O espaço natural ao longo das margens dos rios ficava reservado para o período de abundâncias das águas. Dentro do ciclo hidrológico as águas precipitavam, escoavam e se infiltravam no solo naturalmente. O ser humano se adaptava e se beneficiava com a inundação resultante. Cobia-lhe a convivência pacífica e prazerosa com este fenômeno natural.

No entanto, nos dias atuais tem-se temor generalizado e prejuízos incalculáveis quando as chuvas caem. Questionamos o porquê da população se sentir ameaçada nos períodos de chuvas intensas, recorrentes a cada ano, se as águas continuam dentro do seu ciclo natural, exatamente como a milhares de anos. Mas basta observar o que os seres humanos têm realizado, acreditando que podem subordinar as leis da natureza às suas necessidades básicas e técnicas, implantando seus empreendimentos de modo indiscriminado e ocupando as faixas marginais de proteção dos cursos de água, retirando abusivamente a vegetação que exerce múltiplas ações de proteção no ciclo global, para começarmos a compreender tais motivos.

Pavimentam extensas áreas e obstruem o escoamento das linhas de drenagem naturais, impedem a ação regeneradora da infiltração natural das águas, assim como empobrecem solos, aceleram a erosão e o processo de assoreamentos dos rios. O resultado é o aumento das possibilidades de ocorrência de inundações de forma exponencial, ao perturbar o ambiente e danificar as áreas naturais de recarga e equilíbrio

hídrico, como também estas modificações sobre o regime hídrico levam à escassez de água para abastecimento das cidades.

Diante deste quadro, percebe-se que a população urbana aumentou e foi se instalando de forma desordenada e invadindo os espaços naturais, antes reservados apenas às águas. Estas, não encontrando mais as condições propícias para a sua infiltração, e tampouco os espaços onde antigamente se acomodavam para cumprir sua função na natureza e melhor servir ao ser humano, invadem o leito que antes ocupavam. E numa relação de causa e efeito, os prejuízos são inestimáveis para os bens, as propriedades e os negócios daqueles que ocupam as áreas que deviam estar reservadas para a recreação e contemplação nos períodos de estiagens, e às inundações, nas épocas chuvosas.

De maneira geral, questiona-se também como é possível tanto temor pelas cheias, se já foram realizadas tantas obras de macro e microdrenagem e recursos incalculáveis foram despendidos para que a população ficasse protegida contra a inundação, como o caso de Pelotas/RS se enquadra. Pode-se constatar que assuntos importantes relacionados à prevenção e proteção das inundações foram tratados, em sua maioria, com medidas estruturais de controle, como exemplo as construções de barragens, que são elementos de proteção significativos mas focalizam somente a segurança dos bens e das propriedades de modo parcial, exigindo somas elevadas de recursos para implantação e manutenção, não fornecendo a proteção ideal para os diversos setores da bacia hidrográfica. Já as medidas não-estruturais, que tendem a ser potencialmente mais eficientes e de solução mais sustentável para os problemas relacionados à água, normalmente não são aplicadas ou estimuladas para reduzir, em particular, a vulnerabilidade ambiental.

Cabe refletir, contudo, se a segurança completa é possível e a que custo pode-se alcançá-la. Na verdade, mesmo com investimentos muito elevados, sempre há um risco remanescente para a sociedade. Podemos constatar que a realização destas obras sempre gera uma falsa sensação de segurança, visto que sua proteção não pode ser absoluta e completa. Ao mesmo tempo, é necessário lembrar da ação imprevisível da natureza e que devem ser considerados os conceitos de risco residual, as ações e decisões incorretas, no qual se incluem a ocorrência das potenciais falhas ou as rupturas dos sistemas de proteção. O Município de Pelotas vivenciou esta situação, com a falha do Sistema de Proteção contra Enchentes registrada no dia 07 de maio de 2004, como pode-se verificar.

Os referenciais teóricos selecionados estabelecem algumas comparações entre as decisões comumente adotadas em planejamento urbano e as práticas consideradas mais

apropriadas ao controle das inundações nas cidades, já que diversos estudos demonstram que as alternativas de obras de engenharia têm custo mais elevado e ainda podem falhar, enquanto o zoneamento e regramento para uso das áreas inundáveis se adequam melhor aos condicionantes hídricos presente nas cidades, ainda a um custo mais baixo. Nesse sentido, tem-se buscado comprovar a importância da incorporação do Plano Diretor de Drenagem associado aos Planos Diretores Urbanos que regem o uso do solo, para que os processos de urbanização se tornem cada vez menos impactantes nos sistemas naturais de recursos hídricos. Essa é a síntese dos aspectos mais relevantes que foram revisados na literatura sobre este tema.

No levantamento de dados, destacamos a dificuldade encontrada para obtenção de alguns dados específicos referentes ao município estudado, de maneira geral devido à falta de organização dos órgãos públicos consultados em relação às informações referentes ao tema trabalhado. Verificamos, como principal causa disto, a falta de um acervo sistematizado das informações devido às sucessivas trocas de governantes que os municípios sofrem, quando administradores alteram as prioridades de ações quando assumem governos, muitas vezes destruindo trabalhos significativos das gestões anteriores.

Sendo assim, nos limitamos apenas a considerar e processar os dados que obtivemos, por conseguirmos acesso junto a alguns profissionais dedicados dentro das repartições públicas que nos dirigimos. Contudo, apesar de desejarmos um maior incremento de dados nos nossos estudos, consideramos que as informações trabalhadas supriram a maioria das necessidades estabelecidas nesta pesquisa. Levantamentos fotográficos *in loco* também foram utilizados como recurso para complementar a caracterização das áreas que julgamos deficientes pela ausência de dados.

Na fase de processamento, merecem especial destaque os procedimentos para elaboração da cartografia e confecção dos mapeamentos temáticos. Isto porque muitos dos mapas, que julgamos essenciais para análise do território urbano, não existiam ou demonstravam as informações de maneira bastante precárias e inconsistentes. Então, a falta de informações exigiu a sistematização de dados para a confecção de mapeamentos que possibilitassem a realização das análises pretendidas.

Em função disto, nos lançamos à elaboração própria dos mapas, para que não tivéssemos prejuízos na etapa de análise elaborando diagnósticos superficiais e com pouca coerência. Como exemplo, podemos citar o caso das linhas naturais de drenagem, que só foram obtidas através do MDT e do mapa hipsométrico urbano completo gerado pelo suporte de imagens de radar. Cabe ressaltar aqui que este fato, a princípio inconveniente

aos objetivos da pesquisa por não termos acesso aos dados já sistematizados e os mapeamentos prontos, nos proporcionou maior aprendizado a respeito dos processos de organização e confecção de mapas com representações temáticas apoiadas por computador. E que, de certa forma, o que nos representou dificuldade inicial na pesquisa acabou sendo o motivador para a obtenção de novas informações, até com maior qualidade que aquelas ao qual tivemos acesso e se mostravam insuficientes para as análises que pretendíamos.

A única inconveniência neste processo foi o tempo excessivo exigido para processamento dos dados, pois estas elaborações requerem equipamentos com alto poder de processamento que não dispúnhamos. Constituiu-se de processo bastante lento, mas de certa forma, o tempo dedicado a estas técnicas foi compensador, pois a integração dos dados trabalhados permitiu que fossem visualizadas espacialmente as informações, o que não seria possível se utilizássemos outros métodos manuais de confecção de mapeamento.

Consideramos, portanto, que em termos de desenvolvimento do espírito de investigação com aprofundamento de conhecimentos, que são importantes requisitos nos cursos acadêmicos de pós-graduação, podemos enquadrar a superação dessa dificuldade encontrada na pesquisa sob este aspecto. Já que, como vantagem, ampliamos o conhecimento sobre técnicas diferenciadas que antes não tínhamos domínio e também melhoramos a percepção sobre algumas informações, que se tivéssemos encontrado prontas poderiam passar despercebidas. E com isso, acabamos conseguindo contornar um problema de pesquisa com um ganho significativo de aprendizado, quanto à utilização de técnicas que nos proporcionaram maior agilidade e precisão nas informações que apoiaram nossa etapa de análise, garantindo assim maior credibilidade para os diagnósticos e as propostas elaboradas como resultado.

Uma ressalva a ser feita é sobre a necessidade do uso correto das ferramentas computadorizadas para apoiar as análises. Cabe ressaltar que, para serem efetivamente úteis às aplicações em planejamento urbano, os sistemas precisam ser bem alimentados, senão não fornecem as informações corretas que desejamos, ou ainda pior, corre-se o risco de termos as informações distorcidas sobre a realidade que desejamos verificar, o que nos levará a tomar decisões inadequadas para o território sob análise.

Nesta pesquisa, verificamos a utilidade dos mapeamentos elaborados e simulações realizadas a partir da conferência com registros reais de ocorrências na área em estudo. Constatamos que os experimentos demonstram aproximação bastante significativa entre

simulação e realidade, como demonstramos em 2 casos em Pelotas nas Figuras 127 e 128, explorando então a utilização destes recursos nas nossas análises.

A vantagem das simulações digitais é que podem ser utilizadas como parâmetros para antecipação aos eventos de cheia com adoção prévia das medidas de controle necessárias e adequadas para garantir segurança das populações urbanas. Para o planejamento urbano, o uso destas técnicas torna-se ferramenta extremamente útil para o estabelecimento dos usos compatíveis às características do meio físico e a definição de áreas mais adequadas para expansão urbana.

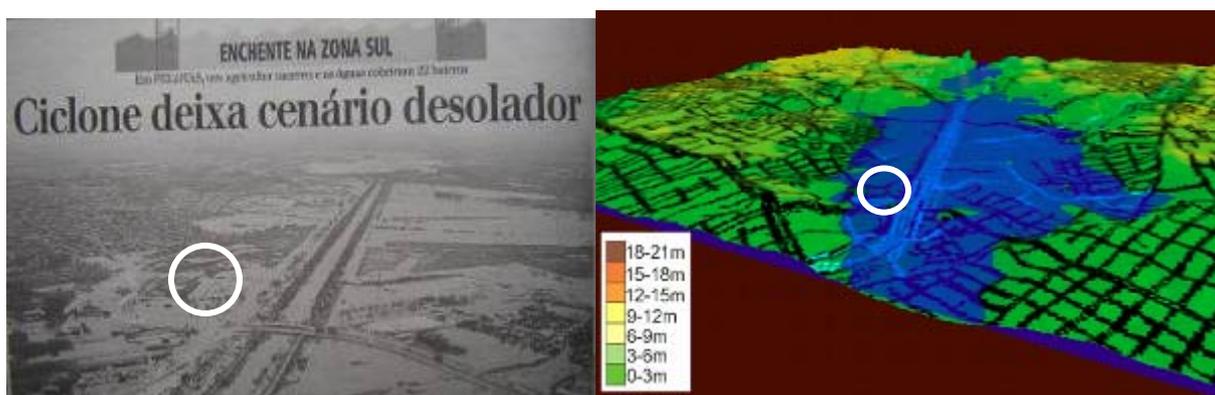


Figura127: Utilidade das simulações para Pelotas, onde situações reais comprovam as representações de risco realizadas; na indicação do Mapa Hipsométrico, confirmação de que a Estação Rodoviária encontra-se na área verde mais baixa, com nível entre 0 e 3m, correspondente à várzea do Santa Bárbara (Elaborado pelo Autor)

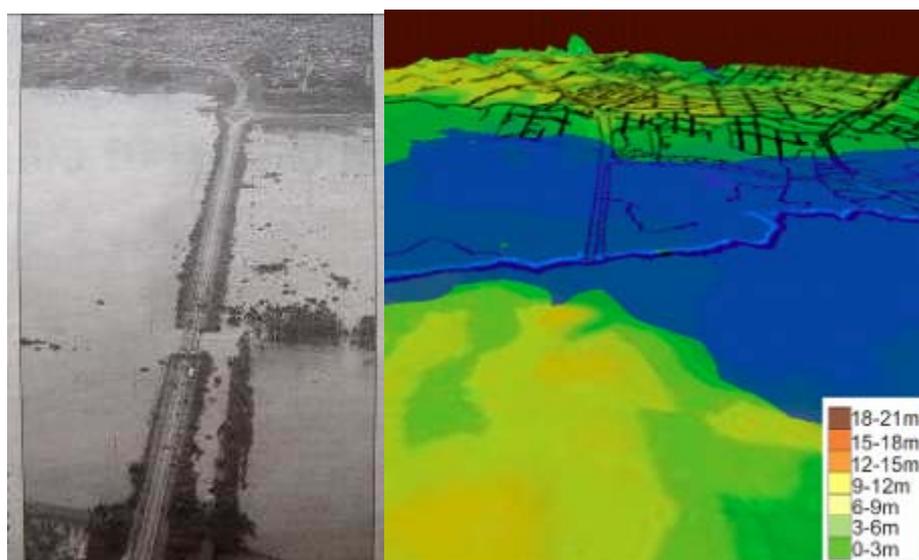


Figura 128: Indicação no Mapa Hipsométrico das ocupações 'seguras' do bairro Fragata, que encontram-se na área amarela mais elevada com níveis de 6 a 9m, correspondente à zona fora dos limites da várzea do Arroio Moreira, e por isso não foram atingidas, como ilustra o registro da cheia de 07 maio de 2004 (Elaborado pelo Autor)

Nas análises, lançamos perguntas complementares às perguntas de pesquisa, com intuito de verificarmos aspectos de causa e consequência para maior compreensão dos fenômenos de inundações ocorridos no município estudado.

Para as 3 perguntas de pesquisa - (a) Que tipo de incompatibilidade, entre uso do solo e meio físico, pode gerar inundações nas cidades? (b) Em que aspectos as diretrizes de planejamento e projeto podem minimizar os conflitos entre uso do solo e o meio físico? (c) Como o geoprocessamento pode auxiliar no planejamento territorial e no controle das inundações das cidades? - encontramos respostas para (a) através de mapeamentos temáticos com indicação dos conflitos, para (b) através de medidas de controle e quadro referencial de projetos e para (c) através das técnicas e procedimentos adotados para confecção e análise dos mapeamentos, apresentados ao longo do trabalho.

Quanto às perguntas complementares em relação ao caso de Pelotas, as questões lançadas e os resultados gerados correspondentes são os seguintes:

1. Quais são e onde estão localizadas as áreas consideradas baixas no território urbano? - Mapa hipsométrico (Figura 120) com demonstração das áreas de terraço e planícies inundáveis;

2. Como é a distribuição da rede hídrica na zona urbana? - Mapa hidrografia (Figura 124) com demonstração das linhas de escoamento natural e canais de drenagem;

3. Como ocorreu a ocupação do território urbano ao longo do tempo? - Mapa de evolução urbana (Figura 135) com demonstração das áreas de expansão desde 1815 a 2000;

4. O quanto estão ocupadas as áreas baixas? - Mapa cadastral viário e imobiliário (Figura 129) com demonstração das áreas urbanizadas;

5. Quais as áreas consideradas de risco? - Mapa das áreas inundáveis (Figura 133) com simulação da planície de inundação da Bacia da Lagoa Mirim em 5m;

6. Existe infra-estrutura adequada para possibilitar ocupação das áreas consideradas de risco? E esta proteção funciona? - Mapa do Sistema de Macrodrenagem e Proteção contra enchentes de Pelotas (Figura 137) com demonstração das áreas protegidas, e simulação em caso de falha do sistema;

7. Como é a relação entre valor do solo e risco ambiental na zona urbana? - Mapa de valor do Solo Urbano (Figura 131) com demonstração das relações entre risco de inundação, densidade e renda da população;

8. Como estão sendo planejadas as expansões? - Mapa das diretrizes do III PDP (Figura 141) com demonstração das zonas de expansão urbana conflitantes com risco de inundações;

9. Quais as áreas mais apropriadas à expansão urbana? - Mapa das Zonas altas e baixas (Figura 146) com demonstração das áreas inundáveis e áreas altas com menor risco de cheias.

Assim, obtivemos as respostas que nos possibilitaram identificar as situações de conflitos de usos que verificamos na fase seguinte de diagnóstico. Destacamos, contudo a falta de conteúdos para melhor aprofundamento de algumas análises, e isso constitui um importante recomendação para a realização de trabalhos futuros. Como exemplo, para melhor apoiar nossas análises, a existência de um estudo geotécnico da zona urbana com indicação de usos recomendados para o território urbano, nos possibilitaria a realização de maior número de cruzamentos para verificação de usos do solo urbano conflitantes, mas os dados de solos sobre o município que pudemos utilizar foram elaborados pela EMBRAPA-CPACT somente para fins agriculturáveis, não atendendo plenamente às necessidades da análise para fins urbanísticos, sendo no entanto, úteis para as decisões paisagísticas.

No diagnóstico sobre Pelotas, fizemos constatações importantes a respeito das ocupações do território urbano. Ressaltamos que os conflitos mais marcantes encontrados são as ocupações em áreas de risco de cotas inferiores a 5m e ocupações em áreas ribeirinhas dos principais canais de drenagem da zona urbana. Verificamos também que, sob o aspecto do planejamento de uso do solo, nas diretrizes do novo Plano Diretor para cidade, áreas definidas como Expansão da Centralidade e Consolidação da Cidade Constituída entram em contradição com as próprias classificações de Áreas Especiais de Interesse Ambiental - AEIA's, e que algumas zonas definidas como áreas de expansão urbana estão sobre territórios de cota inferior a 5m, a maioria sobre os níveis 2 e 3 metros, que foram aqui demonstradas como problemáticas devido à baixa declividade para escoamento, alta concentração de águas pluviais e pelo risco de inundações por estarem localizadas na Planície de inundação da Lagoa Mirim, que tem cota de inundação estimada para o nível de água de 5m.

Isto nos remete à necessidade de revisão urgente de tais diretrizes antes de tornarem-se leis municipais, sob pena do novo Plano mencionado persistir nos mesmos equívocos criados pelo Plano Diretor vigente, de 1980, que induziu à ocupação de áreas que já sofreram inundações. Merece alerta maior a situação de uso conflitante de um hospital universitário em construção na área de várzea do canal Santa Bárbara, nas

imediações da Estação Rodoviária e do aterro sanitário municipal, onde já foram registradas ocorrências de inundação apresentadas aqui nos Anexos.

Casos verificados como estes citados tendem a confirmar que a cidade estudada, assim como outras várias no território brasileiro, ainda encontra-se despreparada para lidar com situações de inundações, mesmo que os casos sejam recorrentes como mostramos nas manchetes em anexo. Estas constatações apontam para uma necessidade ainda maior de compreensão das variáveis envolvidas na urbanização, para que obtenhamos maiores subsídios para apoiar o processo de tomada de decisões referentes às intervenções no território urbano, e este foi o enfoque que procuramos priorizar nas nossas análises.

Realizamos, para isto, a análise na escala urbana e de 2 setores na escala local do território urbano, para identificar quais são essas variáveis e quais encontram-se em conflitos. Ressaltamos, com isso, que as ocorrências estão vinculadas a diversos fatores inter-relacionados, como localização no relevo, grau de impermeabilização do solo da bacia e eficiência dos projetos de drenagem implantados, como pudemos verificar. Logo alertamos que, para adoção de medidas de controle aos conflitos diagnosticados, deve-se sempre considerar que as características diferirão de um setor para outro da bacia enfocada. Nos 2 setores analisados como exemplo, pudemos estabelecer alguns parâmetros de análise que podem ser considerados para outras localidades da cidade, mas com as devidas adequações às características que o meio físico apresenta. Portanto, faz parte das recomendações o cuidado da realização de análises específicas para cada caso do território urbano, conforme o setor da bacia abordado e, da mesma forma, conforme as características inerentes a cada município que estiver sendo avaliado.

Estas constatações tratam de importantes informações que podem auxiliar na orientação e regramento do uso do solo para diminuição do risco de inundações subsidiando, sobretudo, o processo de planejamento territorial urbano de Pelotas, e proporcionando bases teóricas e metodológicas para uma abordagem sobre o tema das inundações para as cidades de uma maneira geral, através dos experimentos de análise aqui demonstrados.

Os resultados demonstraram que atendemos aos objetivos enunciados, pois a possibilidade de constatar as relações de conflito entre usos incompatíveis com a drenagem que geram inundações, através dos mapeamentos temáticos que possibilitaram as análises realizadas, nos trouxe como resultados o diagnóstico dos conflitos identificados que servem de base para a adoção de medidas de controle mais apropriadas para minimizar o problema das inundações, em Pelotas especificamente.

Neste trabalho foram realizadas algumas reflexões sobre as limitações da proteção que as obras de engenharia oferecem para ocupações de risco. Defendemos a idéia de que, independentemente da área de atuação de cada intervenção profissional no ambiente, as soluções mais adequadas e menos catastróficas visam adequar as ocupações ao convívio equilibrado com o regime natural das águas, com suas variações de nível dos cursos d'água, sem ocupação das margens e sem obstrução do escoamento, com tratamento paisagístico das margens com vegetação para evitar erosão e que proporcionem um escoamento compatível com o volume de água a ser escoado. Procurando sempre que for realmente necessária uma intervenção física, fazer com que as modificações se aproximem ao máximo da condição natural antes da área ser urbanizada, como emprego de pisos permeáveis que facilitem infiltração da água no solo reduzindo o volume de água na rede de drenagem e retardando o escoamento para jusante da bacia.

Em linhas gerais, a atenção nas soluções urbanas que interferem na drenagem deve estar voltada sempre para a redução do volume de água na rede de escoamento, pois isto tende a evitar o extravasamento dos cursos d'água nas áreas mais baixas da bacia.

Como destaque, pudemos comprovar a importância de adotar como unidade territorial de análise a escala da bacia hidrográfica, como prevê a Política Nacional de Recursos Hídricos, para melhor compreensão dos problemas setorializados das cheias urbanas. Da mesma forma, a necessidade de elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana - PDDUs e a incorporação de seus componentes nas diretrizes dos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano. Também verificamos o grande potencial do uso do SIG para elaboração de mapeamentos e diagnósticos urbanos, que comprovou possuir ferramentas de grande utilidade e eficiência, que possibilitam subsidiar atividades de planejamento territorial que visem adequação dos usos do solo aos condicionantes hídricos.

Todas as informações apresentadas foram elaboradas com intuito de abordarmos as intervenções realizadas no território urbano que geram incompatibilidades com os sistemas de drenagem a ponto de provocar inundações. O método e técnicas de análise e diagnóstico empregados aqui tratou de estudo para um caso específico, mas com as devidas adaptações, pode vir a ser utilizado para aplicação em estudos e avaliações de outros municípios. Apesar de nos limitarmos a desenvolver as análises sob enfoque dos interesses urbanísticos, consideramos que as constatações que demonstramos possuem relevância para avaliação por parte de grupos multidisciplinares, que normalmente constituem as equipes que tratam da gestão territorial.

Nesse sentido, esperamos que as informações aqui apresentadas sirvam efetivamente de subsídios a profissionais de diversas áreas do conhecimento que atuam no planejamento e gestão do território urbano, no sentido de fornecer apoio ao processo de tomada de decisões, e que possam auxiliar na adoção de soluções que venham minimizar efetivamente os inúmeros transtornos ocasionados pela ocorrência de inundações nas cidades (Figura 129).



Figura 129: Interrupção do tráfego gerado pelas inundações urbanas registradas em São Paulo/SP (Acervo do autor)

Como recomendações para continuidade e realização de estudos futuros, sugerimos que:

a) Seja estudado um método específico voltado para planejamento e gestão da drenagem urbana utilizando rotinas em ambiente SIG, já que esta pesquisa limitou-se a identificar aplicações de apenas algumas das técnicas úteis ao planejamento territorial, diante de várias possibilidades de manipulação de dados e representações que estas ferramentas disponibilizam. Nesse sentido, pode ser aprimorado o método de análise aqui proposto, no sentido de aumentar o número de variáveis envolvidas para incrementar um banco de dados, gerando assim novas visualizações das informações espacializadas sobre o território urbano;

b) Seja aprofundada a pesquisa de novas geotecnologias e a utilidade de suas aplicações no planejamento urbano, para que possam apoiar as análises trazendo maior agilidade e precisão aos diagnósticos urbanos e, assim auxiliar com maior eficiência o processo de tomada de decisões a respeito das intervenções sobre o território das cidades;

c) Seja elaborada a Carta Geotécnica para o município de Pelotas, como a realizada pelo IPT em São Paulo, com especificação de usos e recomendações para o solo urbano, considerando a existência de levantamento de solos feito pela EMBRAPA;

d) Sejam definidas medidas de controle para drenagem urbana de acordo com as situações específicas analisadas em cada setor do território urbano, sempre levando em consideração as diferenças entre as características do meio físico encontradas nas localidades de cada município.

e) Sejam aprofundadas as análises aqui apresentadas para elaboração de propostas detalhadas em escalas maiores (Figura 130), como a realização de projetos de intervenção ao nível do pedestre, com soluções localizadas para parques urbanos e passeios públicos, por exemplo.



Figura 130: Ilustrações da proposta Parque Urbano na Orla do Rio Taquari-RS (Elaborado pelo autor)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, S. Urbanização de Encostas: Crises e Possibilidades. O Morro da Cruz como um Referencial de Projeto de Arquitetura da Paisagem. Tese de Doutorado. Curso de Arquitetura e Urbanismo/FAU-USP. 1999.
- ANA - Agência Nacional das Águas. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>> Acessado em 04 agosto 2004.
- ARONOFF, S. Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa, Canadá, 1989.
- ARRIADA, E. Pelotas: Gênese e Desenvolvimento Urbano (1780-1835). Pelotas: Armazém Literário, 1994.
- ASCE - American Society of Civil Engineers. Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. New York, 1992.
- BARROS, R. M. Previsão de Enchentes para o Plano Diretor de Drenagem Urbana de São Carlos (PDDUSC) na Bacia Escola do Córrego do Gregório. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. USP, São Carlos-SP. 2005.
- BOOTH, W. C. A arte da pesquisa. São Paulo: Martins Fontes. 2000.
- BRASIL, Ministério das Cidades. Cadernos MCidades. Brasília: 2004.
- BRASIL. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Estudo de viabilidade técnico-econômica das obras de defesa de Porto Alegre, Canoas e São Leopoldo contra as inundações. Porto Alegre, 1968.
- BURROUGH, P. A. Principles of Geographical information systems for land resources assessment. Calrendon Press, Oxford. 1994.
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de Áreas Impermeáveis de MacroBacias Urbanas. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, 1994.
- CAMPANA, N. A. Impacto da urbanização nas cheias urbanas. Tese de Doutorado. Porto Alegre : UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 1995.
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Diluvio basin, Porto Alegre. Brazil. Urban Water. 2001.
- CERRI, L.E.S.; AMARAL, C.P. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S. e BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1998
- CHOW, V. T. Hydraulic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins, Urbana : University of Illinois Engineering Experiment Station, 1962.
- COLLISCHONN, W. Simulações hidrológicas em Grandes bacias. Tese de doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS. 2001
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R. T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? Journal of Hydrology 245, 2001.
- CONSTITUIÇÃO FEDERAL BRASILEIRA DE 1988. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/bdtextual/const88/const88.htm>>. Acesso em 10 junho 2005.

- CORMIER, N. Green Infrastructure: A Natural Systems Approach to Water in the City - Nathaniel S. Cormier (ASLA-EUA). Palestra proferida no VIII ENEPEA - Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil. São Paulo-SP. FAUUSP, 2006.
- COSTA, L. M. Águas urbanas: os rios e a construção da paisagem . In: Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo,VI, Anais. Recife, 2002.
- CRUZ, M. C.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH. 2000.
- CRUZ, M. Otimização do controle do escoamento na bacia hidrográfica urbana. ABRH. 2002.
- DIAS, L. E. e GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: Dias, L.E. e Mello, J. W. U (eds), Recuperação de Áreas Degradadas. Viçosa: UFV, 1998
- DNOS. Sistema de Proteção contra Enchentes de Pelotas. Relatório do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS). Fevereiro, 1987.
- DSG - Diretoria do serviço Geográfico do Exército brasileiro. Cartas Topográficas do Estado do Rio Grande do Sul. 1964.
- EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 1998.
- FORMAN, R. T.T. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.
- FRANCO, S. C. Porto Alegre : guia histórico. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1992.
- FRANCO, M. A. R. Desenho Ambiental: uma introdução à arquitetura da paisagem com o paradigma ecológico. São Paulo: Annablume, 1997.
- GENZ, F. Parâmetros para a previsão e controle de cheias urbanas. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre-RS. 1994.
- HOFFMAN, Albrecht. Floods and their Origin in the Medieval World of Thought.Symposium on River Flood Defence. v1. Kassel: Herkules Verlag, 2000.
- HOUGH, M. Naturaleza y Ciudad: Planificación Urbana y Procesos Ecológicos. Gustavo Gilli. Barcelona, 1998.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acessado em abril de 2006.
- IGBP - The International Geosphere-Biosphere Programme. Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle.: A Study of Global Change, Report n.27. Estocolmo, 1993.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acessado em setembro de 2005.
- International Development Initiative of McGill University. Disponível em: <<http://www.mcgill.ca/ids> >. Acessado em 18 março 2005.
- IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre: 1ª fase. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 5 vols, 2000.

- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente. Condicionantes do Meio Físico para o Planejamento da ocupação Urbana. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1980.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2006.
- ITEPA - Instituto Técnico de Pesquisa e Assessoria. Banco de Dados da Zona Sul – RS. Universidade Católica de Pelotas. Pelotas, RS. EDUCAT, 2006.
- JOHNSON, R. C. Effects of Upland Afforestation on Water Resources: The Balquhiddy Experiment 1981-1991. Institute of Hydrology, Report N.116, 1991.
- KARNAUKHOVA, E. Proposta de cartografia geológica aplicada ao planejamento territorial. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC, 2003.
- LAKATOS, E. M. e MARCONI, M. A. Fundamentos da Metodologia Científica. 5a. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- LOCH, R. E. N. Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis. Ed. UFSC, 2006.
- LYLE, J. T. Design for Human Ecosystems . Nova York , Van Nostrand Reinhold , 1985.
- MACEDO, S. S. Os espaços livres de edificação e o desenho da paisagem urbana. In: II SEDUR – Seminário sobre Desenho Urbano no Brasil. Anais. São Paulo: FAPESP, 1986.
- MCHARG, I. L. Design with nature. New York: Natural History Press, 1992.
- MCT/CGE – Ministério de Ciência e Tecnologia / Centro de Estudos e Gestão Estratégica; Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Brasília, 2002.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003.
- MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental – Ed. ABES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2002.
- MOTA, S. Urbanização e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- MOURA, A. C. M. Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano. Belo Horizonte, Ed. da Autora, 2003.
- NAÇÕES UNIDAS. International Strategy for Disaster Reduction; Living with Risk: Turning the tide on disasters towards sustainable development - World Disaster Reduction Campaign. Geneva, 2003.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration. SRTM - Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em < <http://srtm.usgs.gov> >. Acessado em julho de 2005.
- NETO, A. L. C. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos. 4ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Opportunities in the hydrologic sciences. Washington: National Academy Press. 1991.

- OHNUMA JR., A. A. Medidas de controle do escoamento urbano através de cenários de planejamento para a bacia do Alto Tijuco Preto, São Carlos- SP. In: VI Encontro Nacional de Águas Urbanas. Belo Horizonte, 2005.
- PMP - Prefeitura Municipal De Pelotas. Levantamento Aerofotogramétrico. Levantamento aerofotográfico e restituição digital da Zona Urbana. Prefeitura Municipal de Pelotas. Agosto, 1995.
- PMP - Prefeitura Municipal de Pelotas. Dados do acervo Municipal. 2005.
- POLIDORI, M. C. Crescimento Urbano e Ambiente - Um estudo exploratório sobre o futuro das cidades. Tese de Doutorado. Porto Alegre – RS. Ed. UFRGS, 2005.
- PÓLIS – Instituto Pólis. Estatuto da Cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2001.
- PORTO, R. L. L. Hidrologia Ambiental. São Paulo: Ed. USP. ABRH, 1991.
- PORTO R. K., ZAHED F., GIKAS. A. N. Análise de Cheias Complexas. Manual do Usuário. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, São Paulo-SP, 1993.
- PROST, A. The Management of Water Resources, Development and Human health in the Humid Tropics. In: Hydrology and Water Management in Humid Tropics. Cambridge University Press, 1992.
- RODRIGUES FILHO, L. C. S. S.. Bacias hidrográficas - Nova gestão de recursos hídricos. Assessoria especial do meio ambiente, Área de planejamento. BNDES. 1998.
- RODRIGUES, R.; LEITÃO F. H. Matas Ciliares . Conservação e Recuperação. São Paulo, EDUSP, 2000.
- ROLNIK, R. Planejamento Urbano nos anos 90: novas perspectivas para velhos temas. In: SILVA, K. P. A cidade contemporânea: tendências e conceitos. Bauru: UNESP: Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação: Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, 1995.
- ROTARY CLUB PELOTAS NORTE. Saneamento básico na cidade de Pelotas: situação atual e prioridades. Relatório de consultoria. Rotary Club Pelotas Norte, 2001.
- RUANO, M. Ecurbanismo entornos urbanos sostenibles, 60 proyectos. Ecurbanism sustainable human settlements, 60 case studies. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.
- SANEP – Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas. Sistema de Drenagem e Proteção contra Enchentes de Pelotas. Relatório de Projeto. 2000.
- SILVA, C. S., VIEGAS FILHO, J. S., PARFITT, C. M. Mapeamento das áreas inundáveis na zona urbana de Pelotas: um instrumento orientador para planejamento do uso e ocupação do solo. Monografia de Especialização. Curso Gestores Regionais de Recursos Hídricos - UFPEL. Pelotas, 2004.
- SILVEIRA, A. L. L. Hidrologia Urbana no Brasil, in : BRAGA, B.; TUCCI, C.E.M.; TOZZI, M., 1998, Drenagem Urbana, Gerenciamento, Simulação, Controle, ABRH Publicações nº 3, Editora da UFRGS, Porto Alegre, 1998.
- _____. Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre. 4º Seminário de Hidrologia Urbana e Drenagem. Belo Horizonte. ABRH. 1999.
- SILVEIRA, A. L. L ; CRUZ, M. C.; TUCCI, C. E. M. Controle do escoamento em lotes urbanos com retenção. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. (orgs) Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre. Ed. UFRGS. 2000.

- SIMONS, D. B. Flood flows, stages and damages. Fort Collins. Colorado State University. 1977.
- SOUZA, C. F., DAMASIO, C. P. Os primórdios do urbanismo moderno : Porto Alegre na administração Otávio Rocha. In : PANIZZI, W. M., ROVATTI, J. F., ed., Estudos urbanos : Porto Alegre e seu planejamento. Porto Alegre : Editora da UFRGS. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1993.
- SPIRN, A. W. O Jardim de Granito. A natureza no desenho da cidade . São Paulo, EDUSP, 1995.
- SUDERSHA. Medidas não-estruturais. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba. 2002.
- TOENSMANN, Frank. About the History of Flood Defence: The Northern Hesse Example. Symposium on River Flood Defence. v1. Kassel: Herkules Verlag, 2000.
- TUCCI, C.E.M.; GENZ, F.; Comportamento Hidrológico. in: Hidrossedimentologia do Alto Rio PARAGUAY, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, FEMA/MT Fundação do Meio Ambiente do Mato Grosso, SEMA, Secretaria do Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul, MMA, Ministério do Meio Ambiente, 1996.
- TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 2, n.2, p. 5-12. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997.
- _____. Hidrologia. Ciência e Aplicação. EDUSP, São Paulo-SP. 2001.
- _____. Gerenciamento da Drenagem Urbana. RBRH V 7 N.1, 2002.
- TUCCI, C. E. M. BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
- TUNDISI, J.G. Água no século 21: enfrentando a escassez. IIE, Rima (no prelo), 2003.
- UEHARA, K. Necessidade de Estudos de Novos Critérios de Planejamento de Drenagem de Várzea de Regiões Metropolitanas. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos. 1985.
- UNESCO. Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos – Water for People, Water for Life. UNESCO, 2003.
- URBONAS, B.; ROESNER, L.A.,. Hydrologic Design for Urban Drainage and Flood Control. In: Handbook of Hydrology. D.R. Maidment (ed.), 1993.
- URBONAS, B.; STAHERE, P. Stormwater Best Management Practices and Detention, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- VILLANUEVA, A. O. N.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrodinâmica integrada do escoamento em redes de drenagem urbana e nas ruas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos; ABRH, 2001.
- WEIMER, G. A capital do positivismo. In : PANIZZI, W. M., ROVATTI, J. F., ed. Estudos urbanos: Porto Alegre e seu planejamento. Porto Alegre: Editora da Universidade: Prefeitura Municipal, 1993.
- WIKIPÉDIA. Verbetes Fértil Crescente. Disponível em:<<http://pt.wikipedia.org/wiki>>. Acessado em setembro de 2007.
- ZHOU, C. GIS monitors our fragile Earth. In: GIS World. vol.11, nº 10, Fort Collins-CO-USA, 1998.

ANEXOS

ANEXO A: Comparação entre efeitos das enchentes de 1956 e 2004.

Jornal Diário Popular/ 08 maio 2004

ANEXO B: Matéria de capa de jornal do Estado do RS sobre inundação em Pelotas.

ZERO HORA/ 09 maio 2004

ANEXO C: Imprensa noticia necessidade de convívio da população com as cheias recorrentes.

Jornal Diário Popular/ 10 maio 2004

ANEXO D: Relato de moradora que vivenciou os 2 maiores episódios de inundação em Pelotas

e constatação da falha no sistema de proteção.

Jornal Diário Popular/ 10 maio 2004

COMPARE AS TRAGÉDIAS



1956

Chuva - Em regiões como a Cascata, o índice pluviométrico chega a 210,6 milímetros.

Antes da enchente - O verão concentra longos períodos de chuva, o que torna os terrenos impermeáveis e agrava a situação.

Atingidos - Pelo menos quatro mil pessoas.

Abrigos - Pavilhões da Sociedade Agrícola, quartel do 4º Batalhão de Polícia Militar e Estação da Viação Férrea.

Ações de saúde - O epidemiologista Paulo Becker Pinto, do Departamento Estadual de Saúde, visita Pelotas. Na bagagem, soro antitetânico, vitaminas e vacinas contra difteria.

Verbas da União - 50 milhões de cruzeiros são repassados.

Notícia nacional - A enxurrada de Pelotas pára nas páginas da revista Manchete, que também destaca o excesso de águas no Rio de Janeiro.



2004

Chuva - Em 12 horas, 140,4 milímetros caem sobre Pelotas. Até o dia 7, o acumulado do mês bate nos 292, quase o triplo da média normal para todo maio, que é de cem milímetros.

Antes da enchente - A região de Pelotas é castigada por três meses de estiagem, que começa a ser amenizada em abril. A Barragem Santa Bárbara fica 1,74 metro abaixo do nível normal.

Atingidos - Cerca de 11 mil pessoas em 2,1 mil residências.

Abrigos - Ginásio do Colégio Municipal Pelotense e Secretaria de Cidadania e Direitos Humanos - Pavilhão da antiga Cosulati.

Ações de saúde - Mais de 120 agentes percorrem os locais mais afetados e coletam amostras de lama e água. O trabalho preventivo quer verificar a existência do vírus da hepatite e da bactéria da leptospirose.

Verbas da União - O relatório encaminhado à Defesa Civil aponta R\$ 5,5 milhões em prejuízos. Para acessar recursos do Fundo Federal, primeiro os dados devem ser aprovados.

Notícia nacional - A situação de emergência ganha destaque em todo o país através de periódicos, como Folha de São Paulo e telejornais, como o Jornal Nacional - da Rede Globo.

Michelle Ferreira

Há 48 anos a Pelotas de mais de 150 mil habitantes entra em colapso. Uma enchente, de características e conseqüências semelhantes a que agora assola o município, atinge larga extensão territorial - e rápido. Desalojados, cortes de energia elétrica, interrupções no abastecimento de água, acessos rodoviários bloqueados e mortes. Mais de 20 mortes em 1956; A enxurrada muda o cenário da Pelotas reconhecida fora do Estado pela próspera economia baseada na agroindústria. Só na praça 20 de Setembro e adjacências, os empresários acumulam prejuízos superiores a 30 milhões de cruzeiros.

Tudo preparado para mais um Carnaval na Princesa do Sul. Sábado, 11 de fevereiro, 1956. Por volta do meio-dia, uma tromba d'água cai sobre o município e acaba com qualquer clima de folia. O transbordamento do arroio Santa Bárbara leva à calamidade pública. Em poucas horas, pelo menos quatro mil pessoas ficam inundadas. Pedidos de socorro ecoam da vila Castilho à região da Cerquinha, da Marechal Floriano ao Simões Lopes, da Barão de Santa Tecla à Uruguai. O Fragata é praticamente isolado.

Enquanto forma-se o mitinho de salvamento - do qual participa o Clube de Natação e Regatas Pelotense - há os primeiros registros de morte. Cadáveres são encontrados em fundo de quintais, sarjetas e portas de casas. Até às 17h do dia 16, 23 casos são contabilizados.

Com o principal prédio da Usina Light - na praça 20 de Setem-

bro - entre os alagados, Pelotas passa cerca de uma semana sem energia elétrica. A população, de aproximadamente 158 mil habitantes, sofre às escuras. O fornecimento de água potável também sofre interrupções. O sistema rodoviário é outro que não escapa à avalanche: na ponte do Retiro ruíram 35 metros de aterro, 30 quilômetros da estrada Pelotas-Canguçu são castigados, assim como as últimas pontes na rodovia para Jaguarão. Os dois milhões e 500 mil cruzeiros liberados pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (Daer) são insuficientes à obra. Pelo menos até o final do mês persistem os estragos.

A enxurrada, que em regiões como a Cascata atingiu 210,6 milímetros, é considerada a mais violenta da história de Pelotas. Como a fênomeno de 2004, o de 1956 também vira notícia nacional (leia quadro).

UM DRAMA PELOTENSE - As situações A cidade se reflete no DP

Reprodução DP





Testemunha lembra os dois episódios

Em cima do telhado, a lavadeira de roupas do 9º Batalhão de Infantaria Motorizado (BIMTz) grita por socorro. Junto aos vizinhos da vila Castilho, Jovelina Corrêa Nunes não tem mais onde se refugiar. Espera a chegada de barcos e botes. A água já tomou conta das casas. Até porcos, terneiros e cachorros dividem espaço com a população. Parece 2004, mas é 1956. A pelotense nascida na Colônia Santo Antônio sofre o primeiro baque em decorrência de enxurradas. Perde praticamente tudo.

No dia 7 de maio, ao ver a cena se repetir - agora devido ao transbordamento da Barragem Santa Bárbara -, a aposentada novamente precisa esperar por resgate. Escalar paredes, subir em árvores, equilibrar-se sobre tábuas. Hipóteses descartadas. Aos 92 anos e com dificuldades de locomoção, sente o desespero redobrar. Se não fosse carregada, morreria dentro da residência compartilhada com a filha Idema. Os clamores foram atendidos. Saiu de lá transportada numa charrete.

"Mais uma vez a enchente veio sem pedir licença", contou ao **Diário Popular**, na casa de parentes, no bairro Navegantes II, onde aguarda até que a rotina se reestruture na estimada vila Castilho. "Com a graça de Deus tudo ficará bem", exclamava ao folhar a velha revista de 1956. As mãos enrugadas confirmavam o que ela tem a contar e guardar. (MF)



toda a área central - está bem concebido para proteger a cidade do canal São Gonçalo. Ele não culpa a autarquia pelo que passou. "Eles tinham uma bomba-relógio na mão. Foi uma sorte os níveis da barragem e do canal estarem baixos antes daquelas chuvas", acrescenta.

Na opinião do diretor da Agência Lagoa Mirim, o episódio serviu de alerta para a necessidade de um reestudo técnico do sistema como um todo. "Soube que eles já estão providenciando isso. Acredito que estão no caminho certo", apóia.

BARRAGEM

Também o nível da Barragem Santa Bárbara estava baixo devido à seca. O mananci-

al, que tem capacidade para armazenar cerca de 12 milhões de metros cúbicos, estava 1,88 metro abaixo do normal (confira na ilustração abaixo a área de contribuição do manancial). Como sua profundidade é bastante irregular - em alguns pontos tem sete metros e em outros quatro - fica difícil estimar a quantidade de água que ficou ali armazenada e deixou de evadir para áreas urbanas da cidade.

"Caso a barragem estivesse no nível normal, toda esta água teria descido pelo canal numa velocidade bem maior e chegado a invadir diversas outras partes da cidade", acredita o diretor-presidente do Sanep, Nilo Gularte.

Ele explica que as áreas atingidas pela enxurrada estão em zonas consideradas baixas e próximas do curso do canal Santa Bárbara. "A vila Farroupilha e a vila Castilho, entre outras, não deveriam ser habitadas. Elas são consideradas zonas de risco e sempre estarão sujeitas a inundações".
alerta.

