

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA
MESTRADO EM ENGENHARIA DA ENERGIA**



***ELABORAÇÃO DE MANCHAS DE
INUNDAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE
SANTA RITA DO SAPUCAÍ / MG,
UTILIZANDO SIG***

Thales Leandro Berti Sarlas

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA
MESTRADO EM ENGENHARIA DA ENERGIA**

THALES LEANDRO BERTI SARLAS

***ELABORAÇÃO DE MANCHAS DE
INUNDAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE
SANTA RITA DO SAPUCAÍ / MG,
UTILIZANDO SIG***

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Itajubá como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Mestre em
Engenharia da Energia

ORIENTADOR: Professor Alexandre Augusto Barbosa

Itajubá - 2010

A minha mãe Gleide e irmãs Dani e Lud, pelo companheirismo e amor.

Ao meu pai, que lá do céu está guiando os meus passos.

À minha noiva, Luciene, pelo carinho e incentivo.

A todos que, de alguma forma, torceram para essa conquista.

Agradeço a DEUS, por tudo que tenho e sou.
Ao meu orientador e amigo, Alexandre, pela confiança e ajuda.
A Prof.(a) Ana Moni, pela ajuda com SPRING.
Ao amigo Adriano Campos, pelos conhecimentos de AutoCad.
Ao amigo Edson Riera, sempre ajudando.
A Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Santa Rita do Sapucaí que
forneceu os dados do município.
Ao Laboratório de Informações Hídricas (LIH) pelo apoio técnico.
A todos os amigos e amigas que de alguma maneira contribuíram para a
elaboração desta.

“A cultura forma sábios, a educação, homens.”

Louis Bonaldi.

Lista de Figuras

Figura 2.1	Perfis de ocupação de áreas inundáveis (Fonte: Internet)	07
Figura 2.2	Geoprocessamento (LAZZAROTTO, 2003)	24
Figura 2.3	Sistema de Informações Geográficas (RÖHM, 2003)	25
Figura 2.4	Função do SIG. Fonte: SERRA (2003)	27
Figura 2.5	Esquema de uma rede de sensores sem fio POF	41
Figura 2.6	Protótipo do POF e MICA2DOT	42
Figura 2.7	Simulação de cheia	42
Figura 2.8	Imagem de satélite TerraSAR-X	44
Figura 2.9	Área de inundação – Sudeste do Texas	45
Figura 2.10	Fluxograma para elaboração do mapa de Risco de Inundação	46
Figura 2.11	Mapa de risco a inundação	47
Figura 2.12	Modelo Digital de Elevação	48
Figura 2.13	Área inundável considerando a cota de 0,5m	49
Figura 2.14	Área inundável considerando a cota de 1,0m	49
Figura 2.15	Área inundável considerando a cota de 2,0m	49
Figura 2.16	Área inundável considerando a cota de 3,0m	49
Figura 2.17	Área inundável considerando a cota de 6,0m	50
Figura 2.18	Área inundável considerando a cota de 8,0m	50
Figura 2.19	Mancha de Inundação para TR = 1 ano. Cota de inundação = 840,76m (MONI SILVA, 2006)	52
Figura 2.20	Mancha de Inundação para TR = 10 anos. Cota de inundação = 845,27m (MONI SILVA, 2006)	53
Figura 2.21	Mancha de Inundação para TR = 100 anos. Cota de inundação = 846,32m (MONI SILVA, 2006)	54
Figura 2.22	Mancha de Inundação para TR = 500 anos. Cota de inundação = 846,83 m (MONI SILVA, 2006)	55
Figura 2.23	Mancha de Inundação para TR = 1000 anos. Cota de inundação = 847,04 m (MONI SILVA, 2006)	56

Figura 2.24	Mancha de Inundação para TR = 1500 anos e Cota de inundação = 847,16 m (MONI SILVA, 2006)	57
Figura 3.1	Localização do Município de Santa Rita do Sapucaí. Fonte: Internet	59
Figura 3.2	Bacia do Município de Santa Rita do Sapucaí. Fonte: BERTI SARLAS	61
Figura 3.3	Localização das primeiras áreas urbanas a serem alagadas. Fonte: BERTI SARLAS	62
Figura 3.3.1	Início de alagamento na Av. Beira Rio	63
Figura 3.4	Régua marcando 6,86m (2007)	63
Figura 3.5	Cheia de 2007, em destaque matriz central da cidade	64
Figura 3.6	Vista parcial da cheia de 2007	64
Figura 3.7	Cheia de 2007 com outra sem alagamento (10/2009)	65
Figura 3.8	Perfil topobatimétrico da seção em Santa Rita do Sapucaí ...	66
Figura 3.9	Características hidráulicas da seção em Santa Rita do Sapucaí	67
Figura 3.10	Curva-chave da seção em Santa Rita do Sapucaí	68
Figura 3.11	Declividade do Rio Sapucaí	71
Figura 3.12	Levantamento altimétrico, com curvas de nível de 1 em 1m – Região Central de Santa Rita do Sapucaí. Fonte: Secretaria do Meio Ambiente de Santa Rita do Sapucaí	74
Figura 3.13	AutoCAD 2006	75
Figura 3.14	SPRING 5.0	77
Figura 3.15	Fluxograma para elaboração de Mancha de Inundação (MONI SILVA, 2006)	80
Figura 4.10	Arruamento de Santa Rita do Sapucaí. Fonte: BERTI SARLAS	92
Figura 4.11	Contorno da mancha de inundação da cheia de 2000. Fonte: BERTI SARLAS	92
Figura A1	Cheia de 2007	103
Figura A2	Cheia de 2007	103
Figura A3	Cheia de 2007	104
Figura A4	Cheia de 2007	104

Figura A5.1	AutoCad 01a. Fonte: BERTI SARLAS	115
Figura A5.2	Spring 01b. Fonte: BERTI SARLAS	117
Figura A5.3	Spring 02b. Fonte: BERTI SARLAS	118
Figura A5.4	Spring 03b. Fonte: BERTI SARLAS	119
Figura A5.5	Spring 04b. Fonte: BERTI SARLAS	120
Figura A5.6	Spring 05b. Fonte: BERTI SARLAS	121
Figura A5.7	Spring 06b. Fonte: BERTI SARLAS	122
Figura A5.8	Spring 07b. Fonte: BERTI SARLAS	123
Figura A5.9	Spring 08b. Fonte: BERTI SARLAS	124
Figura A5.10	Spring 09b. Fonte: BERTI SARLAS	125
Figura A5.11	Spring 10b. Fonte: BERTI SARLAS	126
Figura A5.12	Spring 11b. Fonte: BERTI SARLAS	127
Figura A5.13	Spring 12b. Fonte: BERTI SARLAS	128
Figura A5.14	Spring 13b. Fonte: BERTI SARLAS	128
Figura A5.15	Spring 14b. Fonte: BERTI SARLAS	129
Figura A6	Foto trabalho de campo	131
Figura A7	Foto trabalho de campo	131
Figura A8	Foto trabalho de campo	131
Figura A9	Foto trabalho de campo	131

Lista de Desenhos

DES A4-01	MANCHA – TR 2 ANOS	83
DES A4-02	MANCHA – TR 5 ANOS	84
DES A4-03	MANCHA – TR 10 ANOS	85
DES A4-04	MANCHA – TR 25 ANOS	86
DES A4-05	MANCHA – TR 50 ANOS	87
DES A4-06	MANCHA – TR 100 ANOS	88
DES A4-07	MANCHA – TR 500 ANOS	89
DES A4-08	MANCHA – TR 1000 ANOS	90
DES A4-09	MANCHA – CHEIA DE 2000	91

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Evolução dos métodos de análise de cheias (VIANNA, 2000)	09
Tabela 2.2	Medidas não estruturais para controle de inundações urbanas. Fonte: ENOMOTO, (2000) – Alterado	18
Tabela 3.1	Valores médios das grandezas hidráulicas na seção de monitoramento (para níveis de vazante)	68
Tabela 3.2	As cotas de inundação para alguns TR's, para o Rio Sapucaí. Fonte: BERTI SARLAS	70
Tabela 3.3	As cotas de inundação para cheia de 2000 em seções ao longo do Rio Sapucaí. Fonte: BERTI SARLAS	72
Tabela A1	Cotas de inundação para TR = 2, 5, 10, 25 anos, para as seções de 1 a 29, para o Rio Sapucaí. Fonte: BERTI SARLAS	106
Tabela A2	Cotas de inundação para TR = 2, 5, 10, 25 anos, para as seções de 30 a 60 para o Rio Sapucaí. Fonte: BERTI SARLAS	107
Tabela A3	Cotas de inundação para TR = 50, 500, 1000 anos, para as seções de 1 a 29, para o Rio Sapucaí. Fonte: BERTI SARLAS	108
Tabela A4	Cotas de inundação para TR = 50, 10, 500, 1000 anos, para as seções de 30 a 60, para o Rio Sapucaí. Fonte: BERTI SARLAS	109

Lista de Abreviaturas

AM	Automated Mapping
BDM	Busca por Distância Mínima
CADD	Computer-Aided Drafting and Design
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DEM	Digital Elevation Model
FLDWAV	Dynamic Wave Model Simulation
FM	Facilities Management
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBM-PC	International Business Machines – Personal Computer
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão de Águas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
LIS	Land Information System
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MG	Minas Gerais
MIT	Massachussetts Institute of Technology
MNT	Modelo Numérico de Terreno
POF	Fibra ótica de Plástico

RAM	Random Access Memory
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
TR	Período de retorno

Lista de Símbolos

%	Porcento
σ	Desvio padrão
§	Parágrafo
μ	Medida de vazões máximas
cm	Centímetro
e	Exponencial
km	Quilômetro
Km ²	Quilômetro quadrado
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
Q	Vazão

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Objetivo	2
1.2.	Justificativa	2
1.3.	Limitações	3
1.4.	Estrutura do trabalho	3
2.	REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1.	Inundação	6
2.2.	Inundações urbanas	10
2.3.	Drenagem urbana	12
2.4.	Controle de inundações	15
2.4.1.	Medidas estruturais	16
2.4.2.	Medidas não-estruturais	17
2.5.	Construção de mapas de inundação	19
2.6.	Sistema de informação geográfica	23
2.7.	Mapeamento das áreas inundáveis utilizando um SIG	29
2.8.	Plano diretor	29
2.8.1.	O que é e o que deve ser um plano diretor	29
2.8.2.	Como elaborar um plano diretor	35
2.8.3.	Lei orgânica de Santa Rita do Sapucaí	37
2.9.	Panorama mundial	40
2.10.	Panorama brasileiro	46
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	58
3.1.	Caracterização da área de estudo.....	59

3.1.1. O Município	59
3.1.2. O Rio Sapucaí	60
3.2. Histórico das inundações	62
3.3. Dados	66
3.3.1. Características hidráulicas	66
3.3.2. Cotas de inundação x TR – Período de Retorno	69
3.3.3. Levantamento altimétrico	74
3.4. Programas	75
3.4.1. O AutoCad	75
3.4.2. O SPRING	75
3.4.3. Função e elaboração da mancha de inundação do SPRING.....	77
4. RESULTADOS	81
4.1. Mancha de inundação para Santa Rita do Sapucaí	81
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXO 01	102
A.1 - Fotos da cheia de 2007 em Santa Rita do Sapucaí	103
ANEXO 02	105
A.2 - Tabela de cotas de inundação para alguns TR	106
ANEXO 03	110
A.3 - Arquivo tipo texto com as distâncias e cotas de inundação	111
ANEXO 04	113
A.4 - Tutorial para elaboração da Manchas de Inundação	114
ANEXO 05	130
A.5 - Fotos do trabalho de campo em Santa Rita do Sapucaí/MG.....	131

Resumo

A inundação de áreas urbanas é um problema com o qual a população de Santa Rita do Sapucaí vem sofrendo principalmente nos últimos 20 anos. A cidade está vivenciando um processo de urbanização dos mais intensivos já observados. O aumento populacional desencadeou uma série de elementos, como o aumento das áreas impermeabilizadas. Isso traz como conseqüências, modificações no sistema de drenagem anteriormente existente, propagação das velocidades de escoamento superficial reduzindo os tempos de picos de enchentes. As inundações são eventos naturais, que têm seus efeitos potencializados pela ação antrópica. A ocorrência desse tipo de evento crítico exige algumas medidas, para diminuir as perdas humanas e econômicas. Uma dessas medidas é o mapeamento de áreas inundáveis. Historicamente, a população de Santa Rita do Sapucaí fixou-se nas áreas planas, ocupando o leito maior do rio Sapucaí, sem contar com um planejamento urbano de uso de solo. A determinação de um método para a elaboração de mapas de inundação foi o objetivo principal deste trabalho. A motivação para este estudo surgiu da observação de que os planos diretores atualmente têm inserido em seu contexto a prevenção de inundações. Os mapas de inundação são ferramentas poderosas na visualização das áreas alagadas, pois através deles é possível definir áreas de risco para o zoneamento. A partir do histórico das cheias, do levantamento altimétrico e do sistema de drenagem de Santa Rita do Sapucaí foi possível à geração de manchas de inundação para vários períodos de retorno para esta cidade, através do programa SPRING.

Palavras-chave: Manchas de inundação, SPRING, Plano diretor, enchentes em Santa Rita do Sapucaí.

Abstract

The flooding of urban areas is a problem with which the people of Santa Rita do Sapucaí has suffered especially in the last 20 years. The city is experiencing a process of urbanization of the most intense ever observed. The population increase has fostered a series of elements such as the increase in impermeable areas. This brings the consequences, changes to previously existing drainage system, propagation velocities of runoff by reducing the times of peak floods. Floods are natural events that have effects enhanced by human action. The occurrence of this type of critical event requires some measures to reduce human and economic losses. One such measure is the mapping of flooded areas. Historically, the population of Santa Rita do Sapucaí settled the plains, occupying the largest river bed Sapucaí, excluding urban planning land use. The determination of a method for mapping flood was the main objective of this work. The motivation for this study arose from the observation that the master plans are now embedded in its context to prevent flooding. The flood maps are powerful tools in the visualization of wetlands, because through them it is possible to define risk areas for zoning. From the historic flood of altimetric survey and drainage system of Santa Rita do Sapucaí was possible the generation of patches for various flood return periods for this city, through the SPRING.

Key-words: Flood inundation map, SPRING, Master Plan, floods in Santa Rita do Sapucaí.

Capítulo 1 - Introdução

“O mapeamento de áreas inundáveis representa uma ferramenta importante para direcionamento das expansões urbanas e a ordenação do uso e ocupação do solo, pois se dispendo do zoneamento dessas áreas, pode-se delimitá-las e designá-las para usos adequados” (FIGUEIREDO, 2003, p.1791).

A partir da década de 50, as cidades brasileiras tiveram um crescimento elevado em virtude da industrialização. O grande contingente populacional que hoje habita as cidades exerce uma enorme pressão sobre este espaço, seja através do desmatamento, da ocupação de encostas e ou através da impermeabilização do solo. As áreas urbanas hoje vivenciam graves problemas referentes tanto a processos erosivos como aos movimentos de massa, desencadeados por ocupações irregulares de encostas, de planícies de inundação e de outras áreas de frágil equilíbrio ecológico. A impermeabilização dos solos provoca ainda um aumento significativo no escoamento superficial, causando inundações nas regiões mais próximas do nível de base local e de topografia mais plana (COSTA, 2007).

A previsão de áreas atingidas por inundações é fortemente dependente da topografia, ocupação e mudanças climáticas. Trata-se de um processo dinâmico, complexo tanto no contexto espacial como no temporal.

Para tanto, pode-se, através de modelos hidrodinâmicos associados a Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), elaborar previsões de inundações.

1.1 Objetivo

O objetivo principal desta dissertação é elaborar manchas de inundação para a área urbana de Santa Rita do Sapucaí/MG. Temas como “plano diretor” são também bem destacados. E no final o desenvolvimento de um passo a passo ensinando como trabalhar com o Spring, para que possa ser aplicado em outras áreas urbanas com as mesmas características.

Como objetivos específicos têm-se:

- Mapeamento da cidade de Santa Rita do Sapucaí: elaborar mapas utilizando levantamento topográfico;
- Elaboração de um tutorial no SPRING para manchas de inundação com passo a passo;
- Simulação de manchas de inundações no SPRING, considerando as cheias para vários períodos de retorno;
- Levantamento de cotas de inundação para região de estudo, que servirá de ferramenta para entidades de gerenciamento e controle de inundações (Prefeitura Municipal de Santa Rita do Sapucaí), assim como para o planejamento urbano da cidade, delimitação das zonas urbanas e de expansão urbana, estabelecida por lei no Plano Diretor.

1.2 Justificativa

Em Santa Rita do Sapucaí ainda não se tem nenhum estudo de histórico de cheias feito por pesquisadores, professores ou qualquer trabalho científico. E para minimizar as perdas esporádicas por tais eventos, este trabalho objetiva a elaborar manchas de inundação que servirá de utilidade para estudos. Os resultados obtidos pela mancha de inundação através do SPRING utilizando SIG e as cotas de inundação na área urbana do

município, serão comparados com cotas medidas para cheias históricas da cidade. Assim, poderão ser comparados os dados e verificar a eficiência do programa.

Através das cotas de inundação geradas para a área em estudo, poderão ser definidos pontos sujeitos a alagamento. Essas informações são relevantes, como por exemplos, na elaboração de planos diretores, zoneamento urbano, localização de empresas e subestações.

Assim, a definição de regiões que poderão ser inundadas, sob determinadas condições hidrológicas, torna-se uma ferramenta para tomada de decisão e elaboração do plano diretor.

1.3 Limitações

» Dados: Eles são à base de todo o trabalho, assim, é necessário que sejam de qualidade e confiáveis.

» Hardware: A manipulação de uma grande quantidade de dados e seu processamento exige computadores robustos, para que o processamento seja rápido e os resultados confiáveis;

» Software: A geração de informações requer uma validação entre os resultados obtidos computacionalmente e aqueles oriundos de medição direta, para tanto os programas usados devem ser apropriados, para que sejam capazes de gerar informações corretas e que condizem com a realidade.

O item “Dados” foi a única barreira encontrada para o desenvolvimento do trabalho apresentado, devido uma grande dificuldade para obtê-los.

1.4. Estrutura do Trabalho

A dissertação tem como base a estrutura utilizada por MONI (2006), que aplicou o mesmo estudo na cidade de Itajubá/MG. No Capítulo 02 algumas considerações sobre inundações urbanas, geoprocessamento, plano diretor e uma revisão de alguns artigos publicados sobre manchas de inundação no Brasil e no Mundo.

Capítulo 03 é caracterizado a área em estudo: o município de Santa Rita do Sapucaí – MG, os equipamentos utilizados, o método proposto também como o histórico das inundações, manipulação dos dados obtidos e a descrição dos programas SPRING 5.0, AutoCAD 2006 e suas características.

Capítulo 04 serão apresentados os resultados. Considerando os períodos de retorno de alguns eventos extremos ocorridos na cidade serão elaboradas manchas para tais períodos de retorno. Um tutorial para elaboração de manchas de inundação será descrito detalhadamente no anexo 04. No anexo 05 estão algumas fotos do trabalho de campo realizado em Santa Rita do Sapucaí/MG.

Conclusões e recomendações serão feitas no capítulo 05, além de sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Revisão de Literatura

O desenvolvimento urbano brasileiro tem “protagonizado” um aumento desordenado na frequência das inundações, na produção de sedimentos que levam ao assoreamento dos condutos e canais e na deterioração da qualidade da água. Tais alterações provocam maior volume de água pluvial escoados mais rapidamente, gerando um dos maiores problemas hidrológicos: a ocorrência das enchentes. Quando à precipitação é intensa a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja, a da sua calha normal, resultando inundações das áreas ribeirinhas. Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem as inundações (TUCCI, 2002).

Existe uma distinção conceitual entre os termos enchente e inundação: a diferença fundamental é que o primeiro termo refere-se a uma ocorrência natural, que normalmente não afeta diretamente a população, tendo em vista sua ciclicidade. Já as inundações são decorrentes de modificações no uso do solo e podem provocar danos de grandes proporções mundiais

A relação homem e natureza vêm provocando alterações e impactos no ambiente há muito tempo, existindo uma crescente necessidade de se apresentar soluções e estratégias que minimizem e revertam os efeitos da degradação ambiental e do colapso dos recursos naturais que se observam cada vez com mais frequência.

O problema das inundações em áreas urbanas existe em muitas cidades brasileiras. Seus fatores são tão variados como assoreamento do

leito dos rios, o crescimento desordenado das cidades, desmatamento, sistemas de drenagem deficiente, rompimento de diques ou barragens, planos diretores mal elaborados, fatores climáticos, entre outros. O homem por sua vez procura combater os efeitos de uma cheia nos rios construindo represas, diques, desviando o curso natural dos rios, obras estruturais que requerem altos investimentos. Já as medidas não-estruturais envolvem prevenção que tendem a diminuir as perdas decorrentes das inundações. Educação da população, sistemas de alertas contra cheias, mapeamento das áreas inundáveis, entre outros.

Mesmo com todo esse esforço, as inundações continuam acontecendo, causando prejuízos de vários tipos e grandezas.

2.1. Inundação

Enchentes são fenômenos que ocorrem quando o volume da água que atinge o leito de um rio é superior à capacidade de drenagem de sua calha normal, também chamado de leito menor ou calha principal. Quando essa capacidade de escoamento é superada acontece à inundação das áreas ribeirinhas também denominadas como planícies de inundação ou leito maior do rio (CPRM et al., 2004). As áreas de uma inundação são mostradas na Figura 2.1.

A população de alta renda 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 cheia na região. Quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o investimento e a densificação nas áreas inundáveis. Geralmente a enchente assume características catastróficas. As áreas hoje desocupadas devido a inundações sofrem considerável pressão para serem ocupadas. A ocupação das áreas urbanas impróprias pode ser evitada através do planejamento do uso dos solos das várzeas, o qual deve ser regulado no Plano Diretor Urbano das Cidades (TUCCI, 2002).

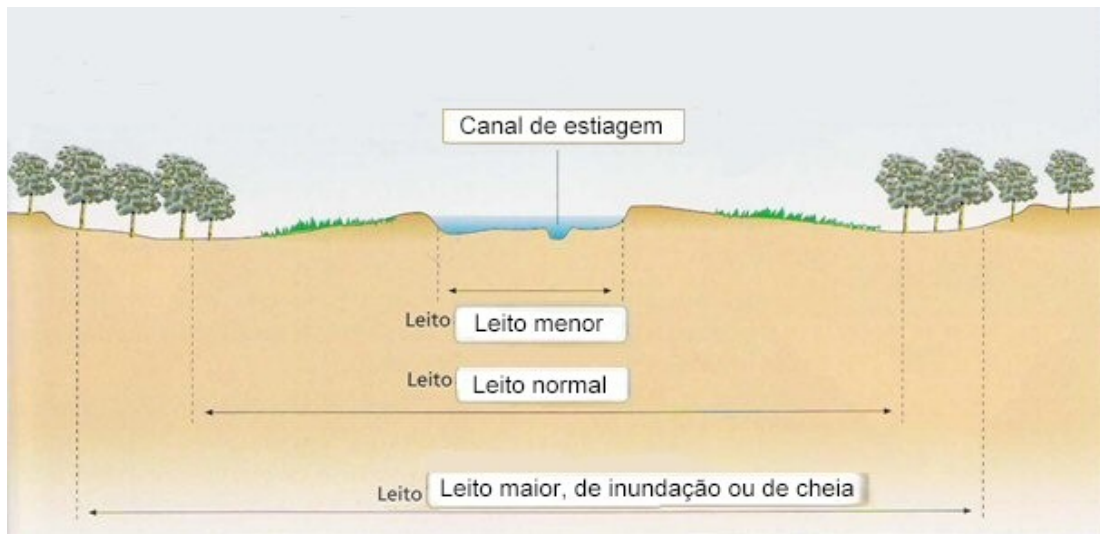


Figura 2.1: Perfis de ocupação de áreas inundáveis
Fonte: http://geportal.no.sapo.pt/meio_natural.htm, 2009.

MONI (2006) relata que as circunstâncias meteorológicas e hidrológicas propiciam a ocorrência de inundação. Que a informação do comportamento meteorológico de longo prazo é muito pequeno devido ao grande número de fatores envolvidos nos fenômenos meteorológicos e à interdependência dos processos físicos a que a atmosfera está sujeita. As condições hidrológicas que geram a inundação podem ser naturais ou artificiais. As condições naturais são aquelas cuja ocorrência é propiciada pela bacia em seu estado natural. Algumas dessas condições são: relevo, tipo de precipitação, cobertura vegetal e capacidade de drenagem. As condições artificiais são aquelas provocadas pela ação do homem. Alguns exemplos são: obras hidráulicas, urbanização, desmatamento, reflorestamento e uso agrícola.

A bacia rural possui maior interceptação vegetal, maiores áreas permeáveis (infiltração do solo), menor escoamento na superfície do solo e drenagem mais lenta. A bacia urbana possui superfícies impermeáveis, tais como telhados, ruas e pisos, e produz aceleração no escoamento, através da canalização e da drenagem superficial. Os resultados da urbanização sobre o escoamento são: aumento da vazão máxima e do escoamento superficial, redução do tempo de pico e diminuição do tempo de base. A

urbanização e o desmatamento produzem um aumento na frequência da inundação nas cheias pequenas e médias (TUCCI, 2002).

A dificuldade em estimar a vazão de cheia, imprescindível para os dimensionamentos hidráulicos dos projetos de engenharia, motivou o desenvolvimento dos métodos de estimativa de vazão de pico. ROSSI (1992) apud VIANNA (2000)¹ apresenta através da Tabela 2.1, os anos marco de início de utilização dos métodos considerados na evolução das cheias, indicando os objetivos principais para cada método desenvolvido e uma comparação entre os avanços na aquisição de dados hidrológicos e o processamento das novas técnicas.

¹ ROSSI, G. (1992). **Historical Development of Flood Analysis Methods**, in: Rossi, G.; Harmancioglu, N.; Yevjevich, V. (ed) – Coping With Floods.

Tabela 2.1: Evolução dos métodos de análise de cheias (VIANNA, 2000)

Período (anos)	Método de análise de cheia	Principais objetivos			Aquisição e processamento técnico
		Prático		Conhecimento científico	
		Projeto	Previsão		
1750-1850	Formulação Empírica.	X		X	Início das observações regulares de chuva e nível.
1850-1900	Método Racional (Mulaney, 1851).	X		X	Coleta sistemática de dados de chuva e vazão.
	Curvas envoltórias para determinação de cheias (Dickens, 1863).	X			Contador elétrico (1860)
	Linhas Isócronas (Imbeaux, 1898).	X			Venturi (1898)
1900-1945	Método de armazenamento em canais (Fantoli, 1904; Puppini, 1923).	X			Utilização de computadores com leitores de cartão (1900). Aplicações de cálculo diferencial. Aplicação de métodos estatísticos. Primeira geração de Computadores digitais (1943).
	Análise de frequência (Füller, 1913; Foster, 1924; Hazen, 1930).	X		X	
	Hidrograma unitário (Sherman, 1932).	X		X	
	Precipitação máxima provável (NWS, 1937).	X			
	Teoria dos valores extremos (Gumbel, 1941).	X		X	
1945-1970	Modelos conceituais (Nash, 1957; Dooge, 1959).	X	X		Modelos análogos para propagação de cheias (1948).
	Modelo de Stanford (Linsley – Crawford, 1960).			X	Segunda Geração de computadores digitais (1949). Aplicações de análise de sistemas (1956).
	Análise regional de cheias (Dalrymple, 1960).	X		X	Transmissão de dados a longa distância – telefone e rádio (1958). Aplicações de sensoriamento remoto início da década de 60. Sistemas de alerta de cheias através de estações de chuva e de nível (1960).
	Onda cinemática (Wooding, 1960).			X	
	Modelo de escoamento comparado com resultados experimentais (Kibler, Woolhiser, 1970).			X	
1970-	Análise de séries temporais e previsões de tempo (Box, Jenkins, 1970)		X		Sistema de transmissão de dados via satélite (1972)
	Sistema linear com restrições (Natale, Todini, 1973).		X		Radar meteorológico e previsão hidrológica em tempo real (1975)
	Comparação entre modelos hidrológicos (WMO, 1975).		X		Bancos de dados hidrológicos (1979). Métodos ultra-sônicos e eletromagnéticos de medição de vazão (início da década de 70).
	Relatório dos estudos de cheias (UK, NERC, 1975)	X			Microcomputadores e computadores pessoais para processamento de dados (início da década de 80).
	Sistema hidrológico europeu (Beven et al., 1980).			X	
	Hidrograma unitário geomorfológico (Rodríguez-Iturbe, Valdas, 1979).			X	Sistemas de radares e satélites para previsões de curto prazo (1980). Sistemas de informações geográficas em modelos hidrológicos distribuídos (1980).

2.2. Inundações urbanas

ENOMOTO (2004), fala que enchente não é necessariamente catástrofe. É um fenômeno natural dos rios e outros corpos de água. Por outro lado, todo e qualquer rio tem sua área natural de inundação. As inundações passam a ser um problema para o homem quando deixa de respeitar os limites naturais dos rios. A urbanização agrava os efeitos da chuva trazendo consigo o conceito de canalizar e tornar subterrâneo tudo o que se quer esconder. No séc. XIX, o conceito de canalização foi adotado para a drenagem urbana, ficando caracterizado pela construção de vastas galerias subterrâneas onde a drenagem da água era equacionada pela força da gravidade, resultando numa rápida descarga nas áreas urbanas.

No início do século XX, os projetos de canalização foram aprimorados pelo desenvolvimento de modelos matemáticos, hidrológicos e hidráulicos, além da análise estatística de eventos extremos. Paralelamente, o conceito de separação do esgoto das águas da chuva foi amplamente implantado, principalmente por razões sanitárias. Após a década de 1950 e como resultado da intensa urbanização, uma crise nesses sistemas foi percebida, e as conseqüências ainda estão acontecendo. Na década de 1970 o conceito de soluções alternativas e compensatórias para a drenagem urbana foi adotado, principalmente na Europa e América do Norte. Estas soluções ajudaram na compensação dos efeitos da urbanização progressiva sobre os processos hidrológicos. Atualmente, conceitos de preservação do meio ambiente e qualidade de vida também estão sendo levados em consideração diz ENOMOTO (2004).

Com este histórico pode-se perceber como o aumento da densidade populacional de uma comunidade traz problemas de ordem quantitativa na demanda de água para abastecimento público, aumento na geração de resíduos sólidos, poluição dos rios e lençol freático, deterioração da qualidade dos corpos d'água e deterioração da qualidade do ar, o que gera problemas de poluição ambiental. Já o aumento da densidade de ocupação por edificações e obras de infra-estrutura viária, por sua vez, traz

como consequência direta o aumento das áreas impermeáveis, modificando o sistema de drenagem anteriormente existente, incrementando a velocidade de escoamento superficial, reduzindo o tempo de pico de enchentes, amplificando a vazão desses picos, e reduzindo as vazões de recarga do lençol freático.

CHOW, MAIDMENT E MAYS (1988), resumiram os efeitos bem conhecidos da urbanização nos processos hidrológicos de duas maneiras:

- a) a quantidade de água aumenta na mesma proporção em que aumentam as áreas impermeabilizadas e, como consequência, há a redução no volume de água infiltrada;
- b) a velocidade da drenagem superficial e o pico de enchente aumentam devido à maior eficiência do sistema de drenagem.

TUCCI (1995) classificou os impactos provocados pela urbanização em 3 impactos, são eles:

- a) impactos ambientais: ocorrem devido ao aumento da produção de sedimentos, degradações da qualidade da água e contaminação dos aquíferos; suas consequências compreendem o assoreamento da drenagem e o transporte de substâncias poluentes agregadas ao sedimento e a água da chuva;
- b) impacto no balanço hídrico: o balanço hídrico altera-se com o aumento do volume de escoamento superficial e a redução da recarga natural dos aquíferos e da evapotranspiração;
- c) impacto no hidrograma de enchente: a urbanização diminui a infiltração e aumenta o volume que escoar pela superfície.

As inundações urbanas podem ser divididas de acordo com os fatores que as provocam, relatou ENOMOTO (2004). Na várzea natural, as enchentes ocorrem devido à má ocupação das regiões ribeirinhas. Essas regiões, geralmente pertencem ao poder público e são freqüentemente invadidas por sub-habitações e não têm valor imobiliário. Nas áreas

urbanizadas, as ocupações do espaço são normalmente feitas de jusante para a montante. A urbanização geralmente se preocupa com a drenagem da área do loteamento (esgotos pluviais), sem se preocupar com os efeitos para a macrodrenagem. Há, portanto, uma sobrecarga da drenagem secundária sobre a macrodrenagem. As áreas mais afetadas ficam a jusante.

2.3. Drenagem urbana

Ao contrário da área urbana, na área rural a chuva é retida pela vegetação, infiltra-se no subsolo e o que resta escoar pela superfície gradualmente, produzindo um hidrograma com variação lenta de vazão e com picos de enchente moderados, mas nas áreas urbanizadas a impermeabilização reduz a infiltração. Os sistemas de drenagem urbana são sistemas essencialmente preventivos de inundações, principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou em marginais de cursos naturais de água.

Os sistemas de drenagem são classificados de acordo com suas dimensões em sistemas de microdrenagem, também denominados de sistemas iniciais de drenagem, e de macrodrenagem, segundo TUCCI (2000).

A microdrenagem inclui a coleta e a condução das águas superficiais através de pequenas e médias galerias, fazendo ainda parte do sistema todos os componentes para que tal projeto ocorra.

A macrodrenagem inclui, além da microdrenagem, as galerias de grande porte e os corpos receptores, tais como canais e rios canalizados ou não.

Quando um sistema de drenagem não é considerado desde o início da formação do planejamento urbano, é bastante provável que esse sistema ao ser projetado revele-se, ao mesmo tempo, de alto custo e deficiente. É conveniente para a comunidade que a área urbana seja

planejada de forma integrada. Se existirem planos de desenvolvimento regionais, estaduais ou federais, é interessante a perfeita compatibilidade entre o plano de desenvolvimento urbano e esses planos.

Todo plano urbanístico de expansão deve conter em seu bojo um plano de drenagem urbana, visando delimitar as áreas mais baixas e potencialmente inundáveis a fim de diagnosticar a viabilidade ou não da ocupação destas áreas do ponto de vista da expansão dos serviços públicos.

Geralmente a capacidade da microdrenagem é planejada para expulsar água do loteamento, porém a macrodrenagem muitas vezes não está preparada para receber esse acúmulo continuado de ampliação urbana, considerando que não existe nenhuma regulamentação ou planejamento da macrodrenagem.

Um sistema de drenagem adequado proporcionará uma série de benefícios, tais como:

- a) desenvolvimento do sistema viário;
- b) redução de gastos com manutenção das vias públicas;
- c) valorização das propriedades existentes na área beneficiada;
- d) escoamento rápido das águas superficiais, facilitando o tráfego por ocasião das precipitações;
- e) eliminação da presença de águas estagnadas e lamaçais;
- f) recuperação de áreas alagadas ou alagáveis;
- g) maior segurança e conforto para a população habitante ou transeunte pela área de projeto.

Existem ações que influenciam na eficácia das soluções de Drenagem Urbana, conforme cita ANDRADE et al., (1997):

- a) políticas que definam os objetivos a serem alcançados e os meios legais, institucionais, técnicos e financeiros para atingi-los;

- b) políticas de ocupação do solo urbano compatíveis com a política de drenagem urbana, com destaque para ocupação das várzeas de inundação;
- c) processos de planejamento com medidas de curto, médio e longo prazos em toda a bacia;
- d) entidades eficientes para exercer liderança do setor, promovendo a participação pública, estabelecendo critérios e aplicando leis;
- e) domínio de tecnologia adequada para planejamento, projeto, construção e operação das obras;
- f) campanhas de educação e esclarecimento da opinião pública.

Com relação às ações supracitadas, algumas conseqüências devem ser observadas, advindas do comportamento político e administrativo:

- a) tendência em atuar corretivamente em pontos isolados devido a disputas por recursos entre diversos setores da administração urbana;
- b) dificuldade em disciplinar a ocupação do solo devido a conflitos de interesses;
- c) políticas de médios e longos prazos são invariavelmente relegadas a um segundo plano.

2.4. Controle de inundações

O controle de inundações consiste em um repertório de medidas que tem por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuindo os prejuízos causados por inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

A decisão ideal é definida em função das características do rio, do benefício da redução das enchentes e aspectos sociais do seu impacto.

Os princípios para controle de inundações urbanas, segundo TUCCI (1995) são:

- a) considerar a bacia como sistema (as medidas não podem reduzir o impacto de uma área em detrimento à outra);
- b) analisar as medidas de controle no conjunto da bacia (estruturais e não-estruturais);
- c) os meios de implantação das medidas de controle de enchentes são: o PLANO DIRETOR URBANO, as Legislações Municipal, Estadual e Federal, e o Manual de Drenagem.
- d) o horizonte de expansão;
- e) o critério fundamental de não ampliar a cheia natural;
- f) o controle permanente (violação à legislação);
- g) a educação (conscientização e modificação);
- h) a administração da manutenção e controle;
- i) as normas.

As medidas de controle do escoamento da inundações podem ser efetuadas das seguintes maneiras, segundo TUCCI (1995).

- a) por infiltração e percolação: criar espaço para que a água tenha por onde infiltrar;
- b) por armazenamento: para reter parte do escoamento superficial;

c) pelo aumento da superfície eficiente de escoamento: condutos e canais (mais benéfico quando em conjunto com reservatórios de detenção);

d) diques e estações de bombeamento: controle localizado de enchentes (para áreas sem espaço para o amortecimento da inundação).

O estudo do controle de enchente considera tanto os meios estruturais quanto os não estruturais como alternativa para o fornecimento de proteção contra enchente, para a redução dos riscos e importância dos danos

2.4.1. Medidas Estruturais

As medidas estruturais consistem em obras de engenharia implementadas com o objetivo de reduzir o risco de enchentes. Elas modificam o sistema fluvial e são as mais onerosas. TUCCI (1995) as classifica em extensivas ou intensivas. As extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como, por exemplo, 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:

a) aceleração do escoamento: aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros;

b) retardamento do escoamento: reservatórios e as bacias de amortecimento;

c) desvio do escoamento: obras como canais de desvios, construção de diques e polders.

Estas medidas são essenciais e necessárias para a solução de grande parte dos problemas de inundações urbanas. Porém, além de onerosas, não representam por si só soluções eficazes e sustentáveis dos problemas mais complexos de drenagem urbana. As melhores soluções são

alcançadas através de compreensão mais integrada do ambiente urbano e das relações entre os sistemas que o compõem.

2.4.2. Medidas não-estruturais

As medidas não-estruturais defendem a melhor convivência da população com enchentes. Não são projetadas para dar proteção completa, pois isso exigiria uma atuação contra a maior enchente possível.

Constam na tabela 2.2 algumas medidas diferenciadas selecionadas após a consulta de bibliografia especializada e suas descrições.

No Brasil, institucionalmente, a infra-estrutura de microdrenagem é reconhecida como da competência dos governos municipais que devem ter total responsabilidade para definir as ações no setor; ampliando-se esta competência em direção aos governos estaduais, na medida em que crescem de relevância as questões de macrodrenagem, cuja referência fundamental para o planejamento é as bacias hidrográficas. Isto é, devem ser de competência da Administração Municipal os serviços de infra-estrutura urbana básica relativa à microdrenagem e serviços correlatos - incluindo-se terraplanagens, guias, sarjetas, galerias de águas pluviais, pavimentações e obras de contenção de encostas, para minimização de risco à ocupação urbana, já ações de macrodrenagem devem envolver a administração Estadual, uma vez que as bacias hidrográficas geralmente estão localizadas dentro de vários municípios.

Tabela 2.2: Medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas

Medida	Características	Objetivos
Plano diretor	Planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas	Evitar ocupação sem prevenção e previsão
Zoneamento	Conjunto de regras para a ocupação das áreas de maior risco de inundação. É incorporado ao PLANO DIRETOR	Visa à minimização futura de perdas materiais e humanas em face das grandes cheias.
Controle do desmatamento (BEG e MOHD, 1998).	Além do controle do desmatamento, o reflorestamento deve ser feito em todos locais possíveis	Prevenir a erosão e o assoreamento.
Educação Ambiental	Para ser realizado junto à população. A conservação das margens dos arroios, sua vegetação típica e taludes são essenciais.	Conscientizar a população que sofre ou poderá sofrer com as inundações
Medidas de apoio à população (BEG e MOHD, 1998).	Lugares seguros para preservar a pessoa, a família e trabalhos Construção de abrigos temporários, meios de evacuação, patrulhas de segurança.	Inserir nos possíveis atingidos pelas inundações um senso de proteção
Distribuição de informação sobre as enchentes (BEG e MOHD, 1998).	Programa de orientação da população sobre as previsões de enchentes para que ela aprenda a se prevenir contra as cheias.	Aprimorar a qualidade da assistência externa e a reduzir falhas como a falta de informações, a má avaliação das necessidades e formas inadequadas de ajuda.
Reassentamento	Reassentamento de residentes ilegais ocupantes das margens de rios, e de residentes legais nas áreas de enchente.	Retirar a população dos locais de risco
Soluções de mitigação	Promover o aumento das áreas de infiltração e percolação e armazenamento temporário.	Aumentar a eficiência do sistema de drenagem à jusante e da capacidade de controle de enchentes dos sistemas.
Sistema de alerta	Sistema utilizado para prevenir a população com antecedência de curto prazo, em eventos mais raros.	Ajudar no controle das estruturas hidráulicas no sistema do rio, e evitar o pânico.
Construções a prova de enchentes	Pequenas adaptações nas construções.	Reduzir as perdas em construções localizadas nas várzeas de inundação
Seguro contra enchentes	Proteção econômica contra inundações	Diminuir os prejuízos individuais causados pelas inundações
Sistemas hidrológicos	Histórico hidrológico da bacia e modelos que mostram o comportamento hidráulico e hidrológico do sistema do rio.	Fornecer subsídios para os estudos de comportamento da bacia, assim como previsão de cenários futuros.

Fonte: ENOMOTO (2000) - Alterado

2.5. Construção de mapas de inundação

O mapeamento das áreas de risco de inundação é uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de inundações.

O processo de mapeamento utilizando uma base cartográfica confiável e adequada com a localização precisa dos elementos da bacia hidrográfica e de suas características hidráulicas constituem material importante para avanços do setor técnico em relação à população, por serem ilustrativos dos problemas a serem solucionados, uma vez que a população tem dificuldade em perceber o espaço urbano e o sistema de drenagem como um todo.

Segundo TUCCI (2003), os mapas de inundação podem ser de dois tipos:

a) mapa de planejamento: define as áreas atingidas por cheias de tempo de retorno escolhidos;

b) mapa de alerta: informa em cada esquina ou ponto de controle o nível da régua para o qual inicia a inundação. Este mapa permite o acompanhamento da enchente por parte dos moradores, com base nas observações das réguas.

Para NASCIMENTO (1998), um mapa para medidas não estruturais deve ter:

- a) cobertura vegetal;
- b) grau de impermeabilização dos lotes, considerando o seu tipo de utilização;
- c) solo de acordo com seu nível de permeabilidade e com a vulnerabilidade à erosão;
- d) declividade;
- e) informações topográficas com linhas mais densas contornando as áreas críticas;

f) redes de drenagem natural e artificial.

Ainda segundo NASCIMENTO (1998), para mostrar os mapas para a população alguns itens devem aparecer:

- a) divisões para água, com referências que possam existir ao longo das partes mais altas;
- b) localização dos nomes de pontos altamente conhecidos;
- c) uso de logotipos e ícones fáceis de identificar;
- d) declividades, com áreas de alta declividade identificadas por sombras progressivas de cores;
- e) rodovias principais e secundárias;
- f) áreas de inundação (de acordo com dados atuais e probabilidade de ocorrência).

SHIDARAWA (1998), conta que no Japão em 1994 o Ministro da Construção começou a encorajar as prefeituras a publicar um Mapa de Prevenção de Enchentes, que ajudaria a minimizar os prejuízos em caso de inundação, dando informações à população. Este mapa é baseado em um mapa de áreas de inundações.

No início, o governo ficou apreensivo com a possibilidade da população não aceitar os mapas, mas a partir de um questionário, obtiveram estatísticas da boa receptividade dos mapas.

As seguintes informações constaram no mapa:

- a) contornos de possíveis profundidades de água de enchente;
- b) abrigos e seus telefones;
- c) abrigos para idosos, deficientes e crianças;
- d) abrigos temporários de emergência ou lugares para aglomeração;
- e) capacidade de abrigo e número de residentes em cada área;
- f) telefones de escritórios relacionados

- g) modelos de sons de alarme de sirenes e sinos e seus significados;
- h) rota de transmissão de informações oficiais e avisos;
- i) sugestões de refúgios;
- j) lista do que levar quando tiver que fugir;
- k) cuidados com deslizamentos de terra;
- l) histórico das principais enchentes da cidade;
- m) fotografias, hietogramas e hidrogramas de outras enchentes;
- n) características do clima em outras enchentes;
- o) história e natureza do rio.

A construção de mapas de linhas de inundação envolve a coleta de diversas informações. Dentre estas informações, TUCCI (2003), destaca:

- a) nivelamento da régua ao um zero absoluto;
- b) topografia do local;
- c) estudo de probabilidade de inundações de níveis para uma seção na proximidade do local;
- d) níveis de enchente;
- e) seções batimétricas ao longo do rio;
- f) cadastramento de obstruções ao longo do trecho.

O desenvolvimento destes mapas envolve a necessidade de investimento em topografia, incluindo aí a batimetria do local, serviços onerosos.

É necessário saber as vazões para o período de retorno, a partir de dados confiáveis e consistidos, o que no Brasil ainda é difícil de obter.

Em geral, os dados de vazão utilizados correspondem a dados obtidos por modelos hidrológicos, de acordo com o tempo de retorno a ser utilizado e da duração da precipitação.

Os dados de níveis de inundação, geralmente, são obtidos a partir de modelos hidráulicos que, a partir de dados de escoamento permanente ou não permanente e dados geométricos da área estudada, definem quais são os níveis de inundação para cada uma das vazões desejadas.

O resultado final, ou seja, o mapa de inundações é formatado, normalmente, com auxílio de uma ferramenta de geoprocessamento que pode agrupar um número grande de informações, além dos níveis, tais como: arruamento, vegetação, hidrografia, etc.

Segundo TUCCI (2003) para se regulamentar o uso de áreas inundáveis, estabelecendo um zoneamento adequado, é necessário estabelecer o risco de inundação de diferentes cotas das áreas ribeirinhas. Nas áreas de menor risco são permitidas habitações, mas podem ser utilizadas para recreação, desde que o investimento necessário seja baixo e não se danifique como parques e campos esportivos. Para cotas com riscos menores são permitidas construções com precauções especiais, com sistemas de esgoto e viário.

2.6. Sistema de informações geográficas

Geoprocessamento pode ser entendido como um conjunto de tecnologias que tem como objetivo coletar e tratar informações espaciais para um fim específico. Cada aplicação de geoprocessamento é executada por um sistema específico, que recebe o nome de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Um sistema de geoprocessamento tem por objetivo o processamento de dados referenciados geograficamente, desde a coleta até a geração e a exibição das informações por meio de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais e gráficos, entre outros.

LAZZAROTTO (2002) descreve Geoprocessamento como o conjunto de pelo menos quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial, são elas:

Técnicas para coleta de informação espacial: Cartografia, Sensoriamento Remoto, GPS, Topografia Convencional, Fotogrametria, levantamento de dados alfanuméricos;

Técnicas de armazenamento de informação espacial: Banco de dados – Orientado a Objetos, relacional, Hierárquico, etc;

Técnicas para tratamento e análise de informação espacial: Como Modelagem de Dados, Geoestatística, Aritmética Lógica, Funções Topológicas, Redes;

Técnicas para o uso integrado de informação espacial: Como os sistemas GIS – Geographic Information Systems, LIS – Land Information System, AM/FM – Automated Mapping / Facilities Management, CADD – Computer-Aided Drafting and Design.

Com isso o Geoprocessamento pode ser representado pela figura 2.2.



Figura 2.2: Geoprocessamento (LAZZAROTTO, 2002)

O geoprocessamento está relacionado com o processamento de dados georreferenciados, possuindo referência de localização, enquanto um Sistema de Informações Geográficas (SIG) processa dados gráficos e não gráficos com ênfase nas análises espaciais e nas modelagens de superfícies. Logo abaixo se apresenta os conceitos e as principais características do SIG.

A evolução dos Sistemas de Informações Geográficas está associada a diversas fases de evolução da humanidade em busca da representação do seu mundo real. As primeiras aplicações dos SIGs ocorreram no início dos anos sessenta do século XX e buscavam soluções para os problemas de gerenciamento de dados espaciais georreferenciados, relativos ao uso da terra, dos recursos naturais e das análises ambientais (RÖHM, 2003, p.1).

Diversas universidades e instituições se interessaram pelos Sistemas de Informações Geográficas e contribuíram para o avanço da comunidade de geoprocessamento, desenvolvendo tecnologias como a mesa digitalizadora, as plotters e a computer-aided drafting criada pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Porém, foi somente na década de noventa do século XX que a tecnologia de geoprocessamento se difundiu e se estabeleceu definitivamente, em função dos avanços da informática, das linguagens de computação e das áreas de sensoriamento remoto e processamento de imagens.

CALKINS e TOMLINSON (1977) apud RÖHM (2003) descrevem:

“Os Sistemas de Informações Geográficas são seqüências ordenadas de operações, desenvolvidas para auxiliar o usuário nas tarefas de observar, coletar, armazenar e analisar dados, com a finalidade de dar apoio aos processos de decisões”.

Conforme CÂMARA (2005), o termo sistemas de informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. A principal diferença de um SIG para um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos.

Os sistemas de informações geográficas são desenvolvidos para trabalhar com dados georreferenciados, e são compostos por um banco de dados que opera com estes tipos de dados espaciais e por um conjunto de operações que os beneficia, afirma (RÖHM, 2003).

De acordo com a afirmação anterior, um Sistema de Informação Geográfica pode ser exemplificado na figura 2.3:

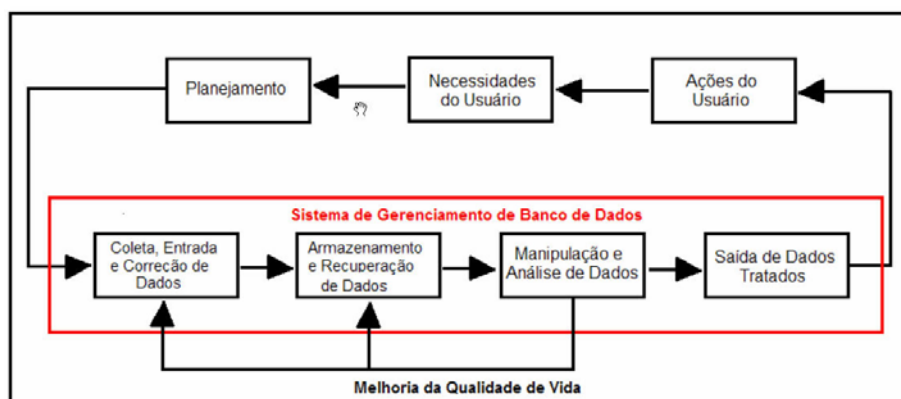


Figura 2.3: Sistema de Informações Geográficas (RÖHM, 2003)

Com o objetivo de melhoria da qualidade de vida do ser humano, o Sistema de Informações Geográficas é caracterizado por blocos de ações do usuário, os quais demonstram suas necessidades. A partir destas necessidades se desdobra o planejamento; em seguida, o sistema gerenciador de banco de dados coleta, armazena, manipula, analisa e através destas informações é possível a utilização dos dados resultantes deste processo de melhoria de qualidade de vida.

Como se percebe, as definições do SIG possuem diversas características que refletem a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e mostram a interdisciplinaridade de sua utilização. Vale destacar duas características importantes:

- SIGs possibilitam a integração, em um único banco de dados, das informações geográficas geradas de infinitas fontes, tais como dados cartográficos, dados censitários, cadastro urbano e rural, imagens de satélites, etc e

- SIGs disponibilizam ferramentas para a recuperação, a manipulação e a visualização das informações armazenadas, através de formas de análise e manipulação.

Sistemas de informações geográficas podem ser divididos em duas gerações:

1ª) Geração (“CAD Cartográfico”): caracteriza-se por sistemas herdeiros da tradição de Cartografia, com suporte de banco de dados limitado e cujo paradigma típico de trabalho é o mapa.

2ª) Geração de SIGs (“banco de dados geográfico”): chegou ao mercado no início da década de 90 e caracteriza-se por ser concebida para uso em ambientes cliente-servidor, acoplado a gerenciadores de bancos de dados relacionais e com pacotes adicionais para processamento de imagens.

Os Sistemas de Informações Geográficas podem ser utilizados em muitas aplicações: Planejamento e Gestão Urbana e Regional, Meio

Ambiente, Infra-estrutura, Agricultura, Segurança, Transportes, Educação e Marketing.

Os SIGs podem ser classificados de acordo com as suas funções, das quais se destacam como principais a captura de dados, a análise, o armazenamento de dados, a visualização, a consulta e a saída, conforme a figura 2.4 a seguir:

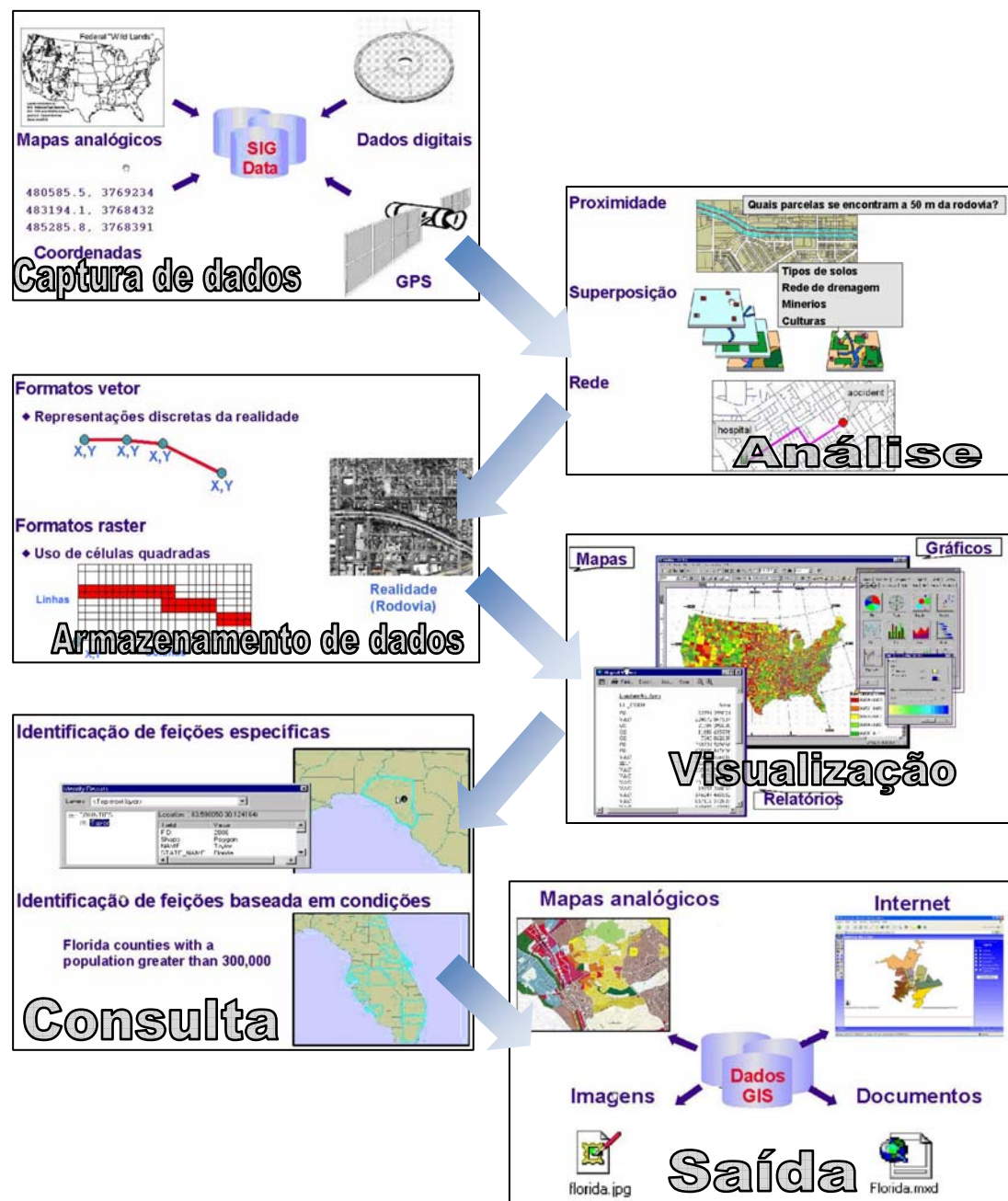


Figura 2.4: Função do SIG

Fonte: SERRA (2003), Montagem: BERTI SARLAS

DRUCK et al. (2004) cita em seu livro alguns programas especializados em análise espacial e SIGs:

- ✓ IDRISI: Realiza análise geo-estatísticas; possui interface com o ambiente GSTAT;
- ✓ GRASS: Realiza análise geo-estatísticas; possui interface com o ambiente GSTAT;
- ✓ GSTAT: Ambiente para desenvolvimento de programas em geo-estatística, escrito em C; possui interface com IDRISI e GRASS;
- ✓ SpaceStat: Software para análise espacial de áreas, com ênfase em técnicas de regressão espacial; possui interface com ArcView;
- ✓ SPRING: Software de geoprocessamento de propósito geral, com funções de processamento de imagens, modelagem de terreno, álgebra de mapas e consulta a bancos de dados geográficos; possui interface com SpaceStat e suas funções de geo-estatística utilizam a GSLIB;
- ✓ ArcGIS Geostatistical Analyst: Extensão do ArcGIS (software de geoprocessamento de propósito geral).

Vários são os programas de SIG, cada um com determinadas características. Dentre os citados acima está o programa que foi utilizado nesta dissertação: o SPRING. Alguns dos motivos que levaram a escolha de tal programa para ser usado foram às seguintes:

- ✓ Trata-se de um programa livre, disponível em www.dpi.inpe.br/spring;
- ✓ Apresenta funções específicas na área de processos hidrológicos, modelagem numérica de terreno, entre outras;
- ✓ Possui um sistema de ajuda rápido e eficiente, oferecido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE);
- ✓ Permite alterações em seu código fonte, de acordo com determinadas necessidades dos usuários (fato ocorrido nesta dissertação);
- ✓ Apresenta uma interface amigável e simples.

2.7. Mapeamento de áreas inundáveis utilizando um SIG

Mapeamento das planícies de inundação através de um SIG consiste basicamente no relacionamento entre o modelo digital de terreno (MDT) da área em estudo, também chamado de modelo numérico de terreno (MNT), e os perfis da linha d'água dos eventos de cheia com diferentes probabilidades de excedência (CPRM, 2004).

2.8. Plano diretor

O planejamento urbano mais efetivo no Brasil é algo bastante novo e que existe de forma isolada em alguns municípios. Alguns gestores municipais, diante do quadro de crescimento desordenado e das possibilidades de utilizar ferramentas que visam à melhoria da qualidade de vida dos seus municípios vêm trabalhando neste sentido. Para tal, priorizam como ações a elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento, Leis de uso e Parcelamento do solo urbano, entre outras.

Atualmente, os municípios têm autonomia para escolher em qual direção caminhar no que se refere ao planejamento urbano e isto varia de acordo com suas possibilidades econômicas para este investimento. Esta autonomia é importante, pois um bom planejamento e gestão de questões urbanas implicam no bom conhecimento da realidade local.

2.8.1. O que é e o que deve ser o plano diretor

Plano diretor é uma lei municipal, obrigatória para os municípios com cidade de população superior a 20.000 habitantes e que deve ser o instrumento básico da política municipal de desenvolvimento e expansão urbana, a qual tem como objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes (Constituição Federal de 1988, artigo 182).

O plano diretor é um instrumento eminentemente político, cujo objetivo deverá ser o de dar transparência e democratizar a política urbana. Três aspectos importantes do plano diretor são relatados por BRAGA (1995), são eles:

1º) A sua característica política. Geralmente o plano diretor é vendido como um produto eminentemente técnico, de difícil elaboração e entendimento por leigos, devendo, sua elaboração estar a cargo de especialistas em urbanismo e demais ciências esotéricas na qual a participação do agente político é encarada como uma excrescência, algo a ser evitado a todo custo, a bem da racionalidade do plano. Tal concepção tecnocrática do planejamento, até bem pouco tempo hegemônica, deve ser afastada. A técnica tem um papel fundamental no planejamento, mas não é tudo. Se um plano for muito bom tecnicamente, mas inviável politicamente, não será executado; o mesmo se dá ao inverso, as propostas de um plano podem ser muito justas politicamente, mas se não tiverem nenhuma viabilidade técnica de serem implementadas, não passam de demagogia barata. É necessário que haja um equilíbrio entre os aspectos técnicos e políticos do planejamento.

2º) O aspecto da transparência. Este é o aspecto mais importante. O principal objetivo do plano diretor é o de dar transparência à política urbana, na medida em que esta é explicitada num documento público, em uma lei. Tornar públicas as diretrizes e prioridades do crescimento urbano, de forma transparente, para a crítica e avaliação dos agentes sociais, esta é a principal virtude de um bom plano diretor. Diretrizes e prioridades para o crescimento e expansão urbana, sempre houve, com plano ou sem plano, a diferença é que com um plano, estas devem ficar mais claras. O plano diretor deve ter o papel de um livro de regras no jogo da cidadania, que até hoje tem obedecido à lei do mais forte.

3º) O da democratização, é fundamental, pois só ele garante a transparência necessária das regras do jogo. A democratização do processo de elaboração do plano diretor é garantida, ao menos em tese, pela própria

constituição federal, que torna a obrigatória a participação das entidades representativas da sociedade no processo de planejamento municipal (art. 29, inciso X).

Esclarecida a questão política do plano diretor, o aspecto técnico tem havido muito engano em torno do plano diretor, que tem uma significação ideológica bastante clara.

Primeiro, ao tornar o plano diretor uma peça técnica, elide a participação da sociedade civil e, pior ainda, justifica, pela aparente neutralidade científica, tomadas de decisões que vão favorecer determinadas camadas da sociedade em detrimento de outra.

Um bom exemplo desse mecanismo perverso se dá nas normas de uso e ocupação do solo que promovem uma verdadeira segregação social no espaço urbano, afastando as populações mais pobres das áreas nobres da cidade com índices e padrões de uso e ocupação restritivos.

Outro engano tecnocrática refere-se à necessidade de extensos e exaustivos estudos técnicos, precedentes à elaboração das diretrizes do plano diretor. Tais estudos técnicos, muitas vezes pouco tem de técnicos, e, via de regra, pouco influenciam as diretrizes do Plano, que geralmente já estão decididas antes deste começar a ser elaborado. Os estudos técnicos são necessários sim, mas somente na medida em que dão subsídios e/ou avaliam a viabilidade técnica das propostas discutidas politicamente.

Em geral, mais de 50% do tempo, e dinheiro, gastos na elaboração de planos diretores, são empregados em levantamentos e estudos que têm um efeito muito mais cosmético do que prático na determinação das diretrizes do plano. Além de representar um desperdício de tempo e dinheiro, este emaranhado de tabelas, gráficos e mapas inúteis, tem geralmente o efeito de dificultar o entendimento por parte dos leigos, das propostas, dificultando a participação mais efetiva da sociedade, comprometendo assim a transparência e democratização do plano. Assim que por mais tecnicista que possa parecer o plano, ele esconde, na verdade, intenções políticas muito concretas.

Mas e o conteúdo do Plano diretor? Do que especificamente deve ele tratar?

A Constituição diz:

Segundo a Constituição Federal, a política de desenvolvimento e de expansão urbana, da qual o plano diretor é o instrumento básico, deve expressar as exigências fundamentais de ordenação da cidade (art. 182). Pois bem, na política de desenvolvimento urbano o texto constitucional, inclui a habitação, o saneamento básico e os transportes urbanos (art. 21, XX), e a mencionada ordenação da cidade é definida no seu Título III, Capítulo IV, Dos municípios, diz:

“ART 30. Compete aos municípios:

VIII – “Promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano”.

Deste modo deve o plano diretor, minimamente, dispor sobre os seguintes tópicos:

- uso do solo urbano;
- expansão urbana;
- parcelamento do solo urbano;
- Habitação;
- saneamento básico;
- transportes urbanos.

Além destes, a Carta Magna define ainda, mais um objeto a ser tratado pelo plano diretor, a delimitação das áreas urbanas onde o poder público municipal poderá exigir dos proprietários de solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado, a promoção do adequado aproveitamento, sob pena, sucessivamente de: parcelamento ou edificação compulsórios; imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana progressivo no tempo e desapropriação com pagamento mediante títulos da dívida pública (art. 182, par. 4º).

O conteúdo constitucional do plano diretor tem um caráter eminentemente urbanístico, o que seria ponto pacífico se a sua obrigatoriedade da elaboração fosse limitada apenas aos municípios metropolitanos. No entanto, a maioria absoluta dos municípios obrigados a elaborar seu plano diretor, possui características muito mais rurais do que urbanas. Transporte urbano é assunto de suma importância em certas cidades, o transporte na zona rural é muito mais crítico. O mesmo se dá com o controle do uso do solo urbano.

Em São Paulo a constituição determinou a obrigatoriedade da inclusão da zona rural na abrangência territorial do plano diretor. Embora alguns especialistas em direito urbanístico considerem que a Carta Estadual extrapolou em suas atribuições (MUKAI, 1990:154 e LEITE, 1991:273), pois não poderia determinar o conteúdo ou forma dos planos diretores municipais, não é vedado aos municípios, se assim o julgarem necessário, que incluam a zona rural como objeto do plano diretor.

O plano diretor deve considerar a zona rural, e não há lei que proíba isso, conforme coloca LEITE (1991:273):

...não se pode assegurar que o plano diretor só deve considerar a zona urbana, a cidade, já que o desenvolvimento desta depende daquela, ou seja, a zona rural. Assim, o Município pode e deve considerar todo o seu território para promover o seu desenvolvimento urbano... O que o município não pode é promover uma política agrária e instituir um zoneamento rural.

No mesmo sentido, nos afirma (GODOY, 1990, p. 218)

No caso específico do plano diretor, por exemplo, é inquestionável o direito de a administração municipal dispor da área rural para decidir sobre reserva de mananciais, a fim de garantir o abastecimento de água, sobre bota fora de lixo domiciliar coletado, áreas de lazer

e sobre chácaras de recreio, para ficarmos nos casos mais evidentes. Desta forma, a competência municipal do uso e ocupação do solo rural, fora da específica destinação agro-pecuária, permite condições de incluir, no plano diretor, a área conveniente à atividade decorrente da vida da cidade.

Uma outra questão que sempre levantada em qualquer discussão entre planejadores: o plano deve ser de detalhe ou de diretrizes gerais? Qual o nível de abordagem das questões arroladas acima?

O plano diretor, como o próprio nome indica é um plano de diretrizes e, como tal, deve estabelecer diretrizes, metas e programas de atuação do poder público nas diversas áreas atinentes à sua atribuição. Os projetos e leis ordinárias decorrentes de tais diretrizes serão elaborados a posteriori.

É importante observar, no entanto, que tais diretrizes devem de fato dirigir a política urbana, e para tanto devem ser claras, objetivas e detalhadas para que não se tornem apenas uma carta de boas intenções, genéricas e de pouco significado prático. Quanto mais claras e objetivas forem às diretrizes do plano diretor, tanto melhor para a sua implementação.

Importante que: se o plano vai ser mais ou menos detalhista, deve depender única e exclusivamente das condições objetivas de elaboração do plano diretor encontradas em cada município.

O que se pode concluir sobre o conteúdo do plano diretor é que sendo ele obrigatório para municípios de características demográficas, socioeconômicas, geográficas e políticas tão diferenciadas, não deve haver um conteúdo específico padronizado, devendo este ser determinado de acordo com as características socioeconômicas, políticas e geográficas do município, dentro dos critérios básicos estabelecidos constitucionalmente, ou seja: estabelecer as diretrizes básicas da política de desenvolvimento e expansão urbana, compreendida dentro dos seguintes tópicos: uso do solo urbano, expansão urbana, parcelamento do solo urbano, saneamento

básico, habitação e transportes urbanos, podendo ou devendo, ainda, tratar dos problemas atinentes à zona rural.

2.8.2. Como elaborar um plano diretor que de certo

O plano diretor deve ser elaborado pela própria municipalidade. Nunca deverá ser encomendado a uma empresa ou órgão público ou privado. No máximo poderá haver uma parceria, ou assessoria para assuntos técnicos específicos, mas os agentes da administração local deverão participar efetivamente de todas as etapas de elaboração, pois só assim terão plenas condições e interesse em implementar o plano diretor.

Não é necessária muita assessoria técnica para a elaboração de um plano diretor. Qualquer prefeitura (ou pelo menos a maioria delas) é capaz de, com um mínimo de ajuda, elaborar um plano diretor na medida de suas necessidades. O Plano diretor deve ser do tamanho do município, nem maior, nem menor. Municípios pequenos em geral possuem um corpo técnico pequeno, mas os problemas urbanos também são (salvo exceções) de menor complexidade. BRAGA (1995), diz: “O que adianta um pequeno município do interior contratar uma empresa de planejamento da Capital para elaborar um plano diretor que nem o prefeito nem os vereadores serão capazes de entender”.

Afirmção acima não quer dizer que se possa prescindir da competência técnica para a elaboração do plano diretor. O que quer dizer é que os temas básicos tratados em um plano diretor como: controle do uso do solo, expansão urbana, parcelamento do solo, habitação, transportes e saneamento básico, são assuntos simples para qualquer municipalidade, em maior ou menor grau. A diferença é que quando tais temas são discutidos em um plano diretor, devem ser pensados de maneira integrada e numa perspectiva de médio e longo prazo e dentro de uma escala de prioridades.

As dificuldades de ordem técnica, como a escolha de uma opção mais viável economicamente ou de uma que cause menores problemas de

impacto socioambiental, podem ser superadas com o apoio técnico de órgãos públicos, como as universidades, ou mesmo de consultores privados idôneos. As dificuldades mais difíceis de serem superadas, no entanto, são de ordem mais política, pois é necessário romper com as práticas clientelistas e imediatistas (eleitoreiras) que caracterizam, infelizmente, o processo de tomada de decisão em todos os setores da administração pública.

Deverá haver uma participação efetiva da comunidade, através de suas entidades representativas na elaboração do plano diretor. A forma mais aconselhável de participação de tais entidades é através de um Conselho de Planejamento, no qual terão assento representante de entidades de classe, universidades, associações de moradores, representantes do poder público e outros. O conselho de planejamento tem como atribuições: convocar membros da administração pública direta ou indireta para prestar esclarecimentos sobre projetos ou atos administrativos ao nível de suas competências e convocar audiências públicas para a discussão de projetos de impacto social. Como condição fundamental, sem a qual qualquer outra é inútil, que é a necessidade de que a administração municipal tenha interesse legítimo em elaborar o plano diretor, ou seja, que o veja como um instrumento, dentro de um processo de planejamento democrático mais amplo, que possibilite um aprimoramento da gestão territorial do município e não somente como uma imposição legal ou um modismo. Com algumas doses de interesse público, criatividade e profissionalismo, é possível se chegar a um bom plano diretor (BRAGA, 1995).

2.8.3. Lei orgânica de Santa Rita do Sapucaí - MG

Ao Município compete prover tudo quanto diga respeito ao seu peculiar interesse e ao bem estar de sua população cabendo-lhe, privativamente, dentre outras, a atribuição de elaborar o Plano Diretor.

TÍTULO VI - Da Ordem Econômica

CAPÍTULO I - Da Atividade Econômica

SEÇÃO I - Da Política Urbana

SUBSEÇÃO II - Do Plano Diretor

Art. 188 - O Plano Diretor, aprovado pela maioria dos membros da Câmara Municipal, conterá:

I - exposição consubstanciada das condições econômicas, financeiras, sociais, culturais e administrativas do Município;

II - objetivos estratégicos, fixados com vista à solução dos principais entraves ao desenvolvimento social;

III - diretrizes econômicas, financeiras, administrativas, sociais de uso e ocupação do solo, de preservação do patrimônio, ambiental e cultural, visando atingir os objetivos estratégicos e as respectivas metas;

IV - ordem de prioridades, abrangendo objetivos e diretrizes;

V - estimativa preliminar do montante de investimentos e dotações financeiras necessárias à implantação das diretrizes e consecução dos objetivos do Plano Diretor, segundo a ordem de prioridade estabelecida;

VI - cronograma físico-financeiro com previsão dos investimentos municipais.

Parágrafo Único: - Os orçamentos anuais, as diretrizes orçamentárias e o plano plurianual serão compatibilizados com as prioridades e metas estabelecidas no Plano Diretor.

Art. 189 - O Plano Diretor definirá áreas especiais, tais como:

I - área de urbanização preferencial;

II - área de reurbanização;

III - área de urbanização restrita;

IV - área de regularização;

V - áreas destinadas á implantação de programas habitacionais;

VI - áreas de transferências do direito de construir.

§ 1º - Áreas de urbanização preferencial são destinadas a:

a) aproveitamento adequado de terrenos não edificados, subutilizados ou não utilizados observados o disposto no Art. 182, § 4º, incisos I, II e III da Constituição Federal;

b) implantação prioritária de equipamentos urbanos e comunitários;

c) adensamento de áreas edificadas;

d) ordenamento e direcionamento da urbanização;

§ 2º - Áreas de reurbanização são as que, para a melhoria da condições urbanas, exigem novo parcelamento do solo, recuperação ou substituição de construções existentes.

§ 3º - Áreas de urbanização restrita são aquelas de preservação ambiental em que a ocupação deve ser desestimulada ou contida em decorrência de:

a) necessidade de preservação de seus elementos naturais;

b) vulnerabilidade a intempéries, calamidades e outras condições adversas;

c) necessidade de proteção ambiental e de preservação do patrimônio histórico, artístico, arquitetônico, cultural, arqueológico e paisagístico;

d) proteção aos mananciais, represas e margens de rios;

e) manutenção do nível ocupação da área.

§ 4º - Áreas de regularização são ocupadas por população de baixa renda, sujeitas a critérios especiais de urbanização, bem como a implantação prioritária de equipamentos urbanos e comunitários.

§ 5º - Áreas de transferência de direito de construir são as passíveis de adensamento, observados os critérios estabelecidos na lei de parcelamento, ocupação e uso do solo.

Art. 190 - A transferência do direito de construir pode ser autorizada para o proprietário do imóvel considerado de interesse de preservação ou destinado à implantação de programa habitacional.

§ 1º - A transferência pode ser autorizada para o proprietário que doar ao Poder Público, imóvel para fins de implantação de equipamentos urbanos ou comunitários, bem como de programa habitacional.

§ 2º - Uma vez exercida a transferência de construir, o índice de aproveitamento não poderá ser objeto de nova transferência.

Art. 191 - A operacionalização do Plano Diretor dar-se-á mediante a implantação do sistema de planejamento e informações, objetivando a monitoração, a avaliação e o controle das ações e diretrizes sociais.

2.9. Panorama Mundial

Em alguns países, afetados por cheias, são desenvolvidas normas para a elaboração de projetos de mapeamento, planos de emergência, monitoramento de cheias, entre outros.

Disponíveis técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas para recuperar a amplitude das inundações e os estágios de água a partir do espaço, e posteriormente, tentar integrá-los com modelos hidrodinâmicos para uma avaliação mais rigorosa de tais modelos ou melhoria das previsões de inundação.

A) Estudo de caso: Singapura, 2008

Na Universidade Nacional de Singapura, testes de sistema de monitoramento vêm sendo desenvolvido por KUANG et al., (2008) e tem demonstrado o uso bem sucedido de um sensor base de fibra óptica de plástico para a detecção do nível líquido.

O sistema consiste em um sensor de fibra óptica de plástico (POF), interligadas a uma rede sem fio wireless (MICA2DOT) que é transmitida a uma estação base para análise de dados, figura 2.5.

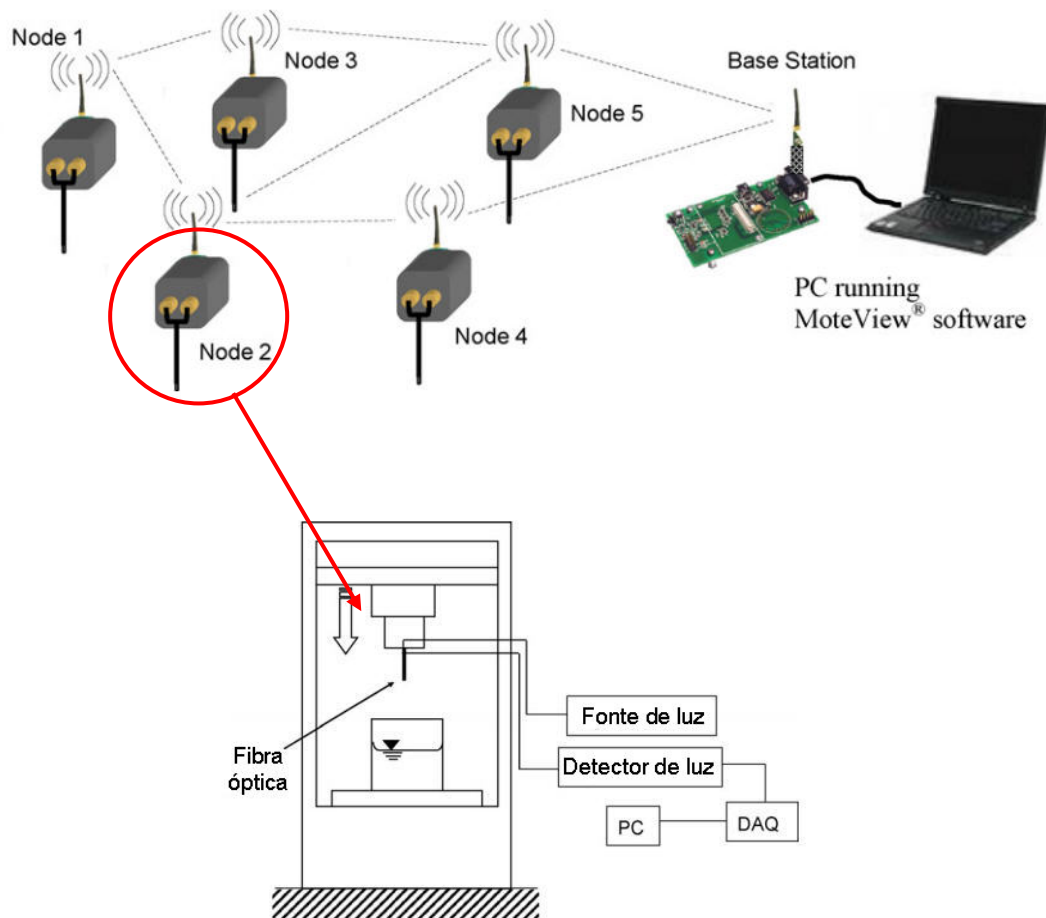


Figura 2.5: Esquema de uma rede de sensores sem fio POF

Um protótipo do sensor sem fio foi construída (figura 2.6), tornando-o possível para implantar uma unidade autônoma em vários pontos de monitoramento, conforme necessário. Uma simulação de enchente monitoramento foi realizada em um tanque de 24m x 10m x 9m, onde quatro destes sensores sem fio de fibra óptica foram usados para detectar o nível da água subindo no tanque conforme mostra a figura 2.7.

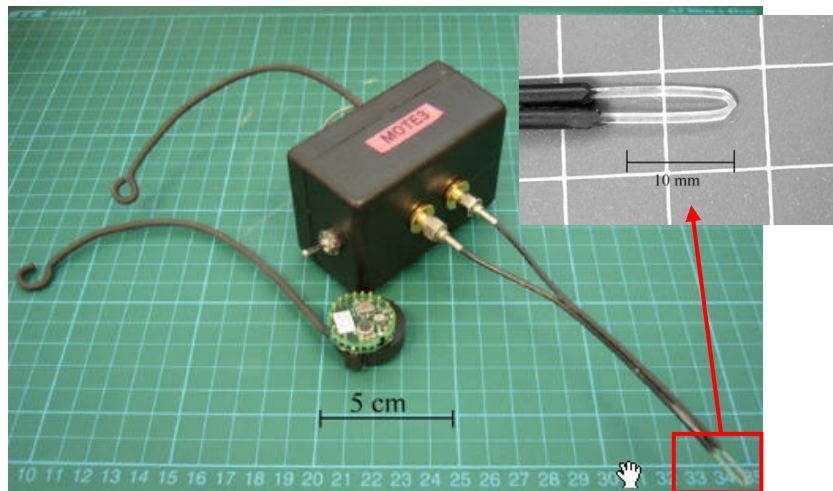


Figura 2.6: Protótipo do POF e MICA2DOT

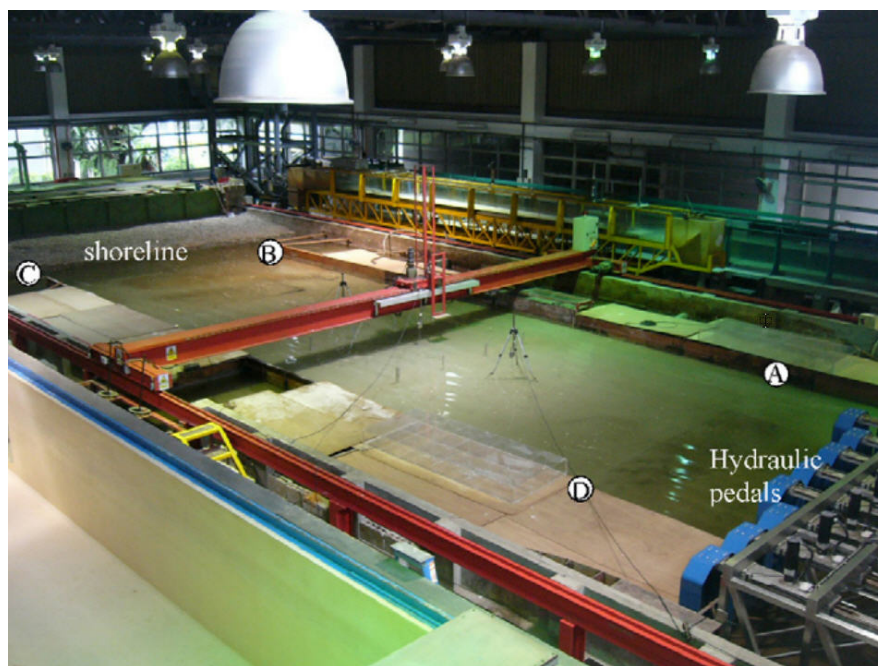


Figura 2.7: Simulação de cheia

A novidade do trabalho está na integração bem sucedida da plataforma wireless para um sensor de nível POF para fins de aplicações de monitoramento de cheias.

B) Estudo de caso: Gloucester / Cheltenham - Inglaterra

SCHUMANN (2009), fala que a capacidade de controlar as inundações com sensores instalados em aviões e satélites tem sido conhecida há décadas. Lançamentos de satélites e da disponibilidade de fotografias aéreas permitiram o estudo do potencial para apoiar o controle de inundações. Estudos notáveis têm sido feitos em integração de dados a partir destes instrumentos com a modelagem de inundação desde o final dos anos 1990. Existe agora um consenso entre as agências espaciais de reforçar o apoio que os satélites podem oferecer. Esta tendência tem estimulado mais pesquisas nessa área, e um progresso significativo foi alcançado nos últimos anos na promoção da nossa compreensão das maneiras em que o sensoriamento remoto pode suportar ou até mesmo avançar na modelagem de inundação.

Em um sentido muito semelhante, argumentam que os cientistas têm muito a ganhar a partir de observações de satélite atuais e futuras missões à prestação (global) conjuntos de dados hidrológicos que poderiam ser usados para avaliar os modelos de processo.

Além disso, espera-se que as medições por satélite combinadas com modelos que permitem a integração direta desses dados que servirão de base para a assimilação de dados de sensoriamento remoto, por exemplo, em sistemas operacionais de previsão de cheias.

A figura 2.8, um subconjunto de um TerraSAR-X, mostra a inundações de 2007 na Inglaterra. Coletada em 25 de julho de 2007, a imagem mostra as cidades de Gloucester (baixo) e Cheltenham (médio direito) durante a enchente. Note que os edifícios individual dentro da área inundada são facilmente identificáveis, o que permitiu a detecção de inundação em áreas urbanas com imagens SAR de alta resolução como de espaço.

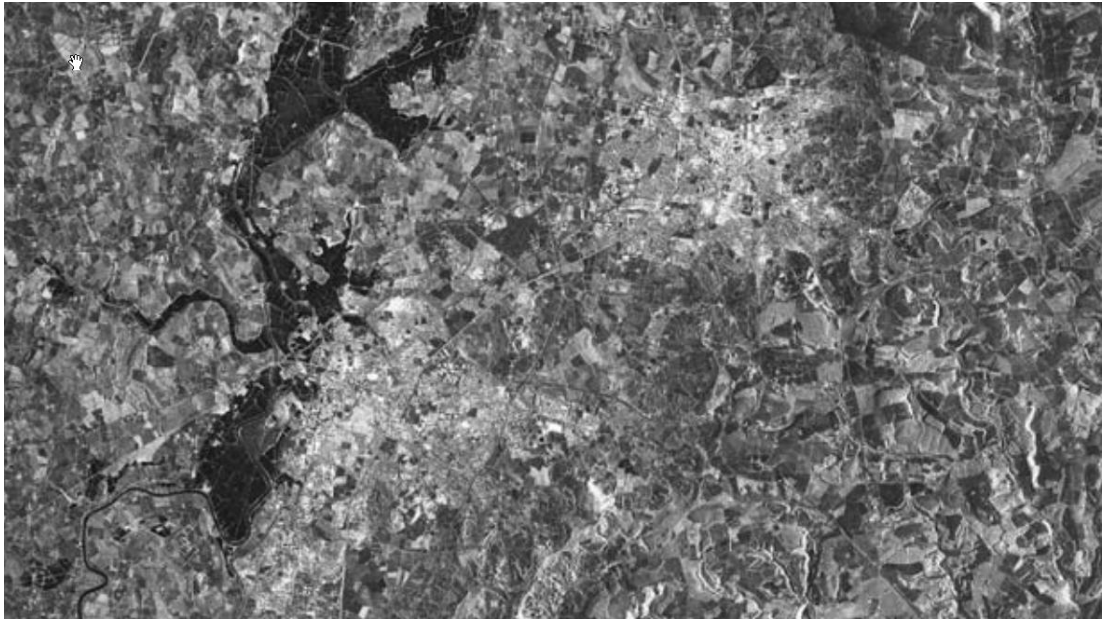


Figura 2.8: Imagem de satélite TerraSAR-X
Fonte: Schumann et al., 2009.

C) Estudo de caso: Texas

Este estudo foi desenvolvido para elaboração de um mapa SIG baseado na inundação de 1998 que é considerado um dos mais importantes eventos hidrológicos ter ocorrido no interior do Estado do Texas, na história recente. Fluxos associados a esta inundação foram de tal magnitude que ultrapassou largamente a vazão de pico de 100 anos em vários locais.

O Serviço Nacional de Meteorologia modelo de ondas dinâmicas (FLDWAV) foi contatado para reconstruir o evento de 1998. As elevações máximas de água de superfície foram calculadas pela FLDWAV para mapear a extensão da área do dilúvio em ambiente SIG.

Conhecimentos adquiridos a partir deste estudo está sendo incorporada a previsão das inundações, missão do Serviço Meteorológico Nacional, West Gulf River Forecast Center, localizado em Fort Worth, Texas.

O estudo abrange o baixo Guadalupe, drenagem do rio que está localizado no sudeste do Texas (figura 2.9). Os locais a montante da área de estudo são o rio em Guadalupe Gonzales e dois afluentes, Peach Creek e

Creek Sandies. A localização a jusante do rio em Guadalupe Victoria. O local intermediário é o rio Guadalupe em Cuero.

O escopo deste projeto consistiu em duas componentes: O desenvolvimento de uma simulação hidráulica utilizando FLDWAV no rio Guadalupe para inundação de 1998. E a integração das elevações máximas de água de superfície calculada pelo FLDWAV em um ambiente GIS para desenvolver os mapas de inundação.

Digital Elevation Model (DEM)

Lower Guadalupe River Basin

October, 1998 Flood
Maximum Water Surface Elevation
Dynamic Wave Model Simulation (FLDWAV)

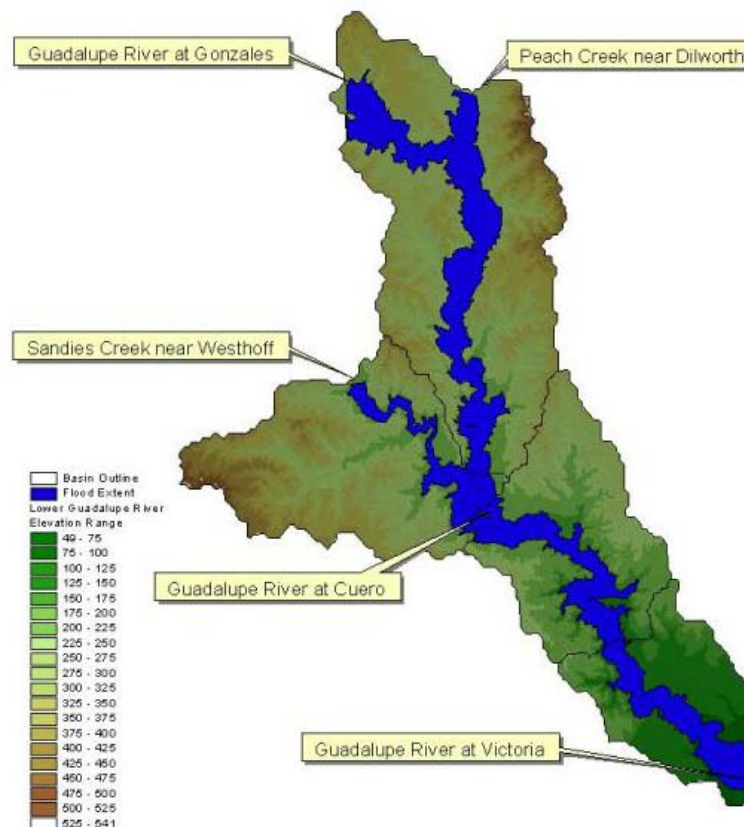


Figura 2.9: Área de inundação – Sudeste do Texas

2.10. Panorama Brasileiro

A) Estudo de caso: Itabuna – Bahia

Mapas de inundação se configuram em um instrumento importante na prevenção, zoneamento urbano, planos diretores, controle e gestão das inundações, pois através deles é possível definir as áreas de risco e com isso apresentar as regiões mais afetadas. Itabuna município localizado ao sul da Bahia, com cerca de 97,20% (IBGE, 2000) de sua população vivendo na zona urbana, vem sofrendo com as constantes cheias do rio Cachoeira.

Em geral, ocorrem cheias anuais que inundam, principalmente, trechos de ocupação subnormal ao longo do rio. Abaixo o fluxograma para elaboração do mapa de risco de inundação.

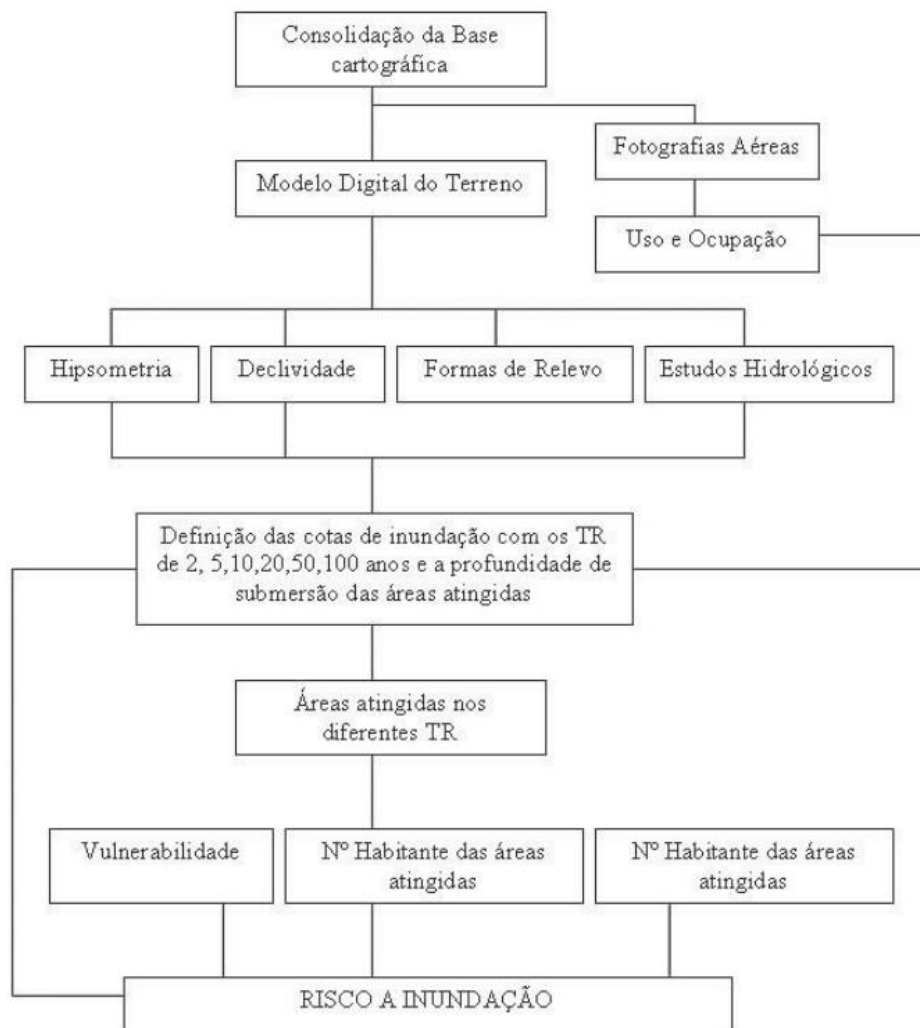


Figura 2.10: Fluxograma para elaboração do mapa de Risco de Inundação.

A partir da análise do Mapa de Risco a Inundação (Figura 2.11) é possível verificar que os níveis simulados foram bem representados nas áreas subnormais que se encontram às margens do rio Cachoeira. Essas áreas são as mais atingidas e se caracterizam pela ocorrência de graus de risco alto e muito alto.

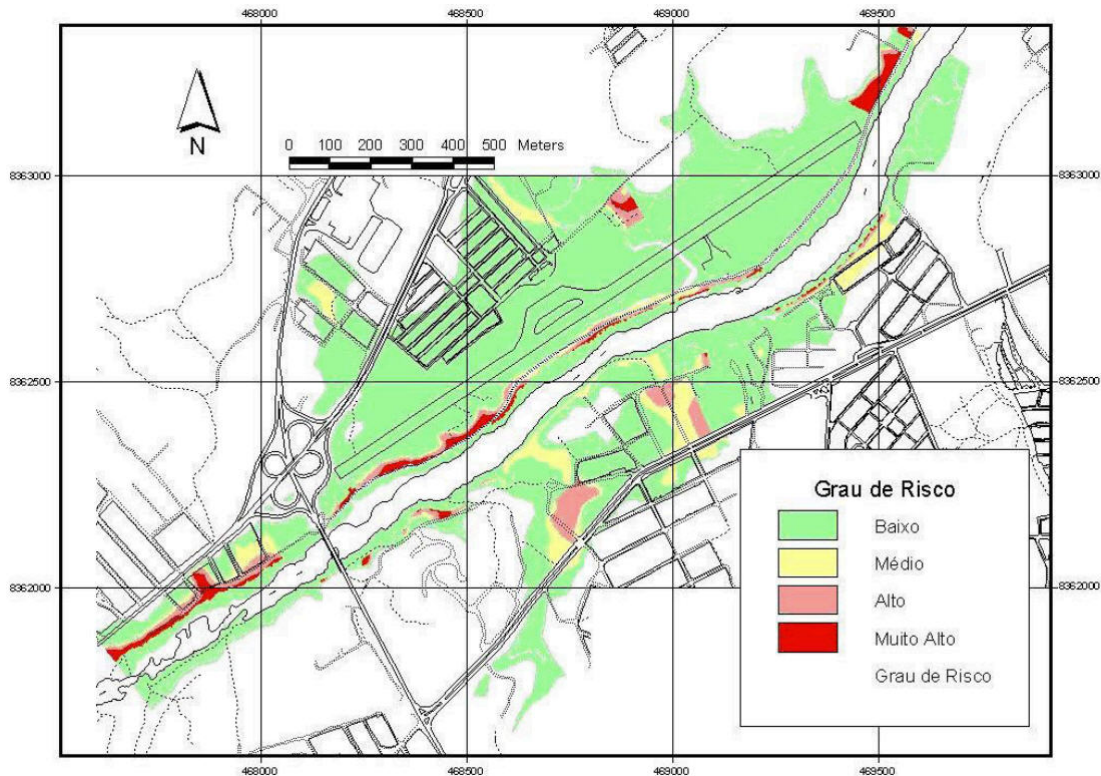


Figura 2.11: Mapa de risco a inundação.
Fonte: HORA, 2009.

C) Estudo de caso: Caratinga – Minas Gerais

Em Caratinga, como na maioria dos municípios brasileiros, não há uma organização adequada para que se tenha uma ocupação ordenada do perímetro urbano. No ano de 2006 o município foi obrigado a elaborar um plano diretor para estabelecer alguns direcionamentos sobre a ocupação e uso do solo urbano e rural. Um dos mais graves problemas sofrido pelo município se refere às inundações das áreas baixas em anos que choveu acima da média.

Em 2004 a cidade começou a ter problemas quando o nível do rio aumentou 1,5 metros.

O município de Caratinga se transformou de uma pequena cidade em meados dos anos cinqüenta do século XX numa típica cidade média no início do novo século, com todos os problemas e benefícios que isto acarreta. A cidade teve um rápido crescimento populacional, sendo que em 1958 era o sexto mais populoso do estado e hoje ocupa o 37º lugar.

Conforme o Modelo Digital de Elevação (MDE) que pode ser visto na figura 2.12 percebe-se a predominância de baixas altitudes na área onde se localiza o perímetro urbano, variando de 560 a 600 m. Isto confirma a preferência das pessoas pela ocupação das áreas mais planas como o leito maior do rio. Os cenários de inundação foram obtidos considerando as cotas de 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 6,0 e 8,0 metros, representados pelas figuras 2.13 a 2.18.

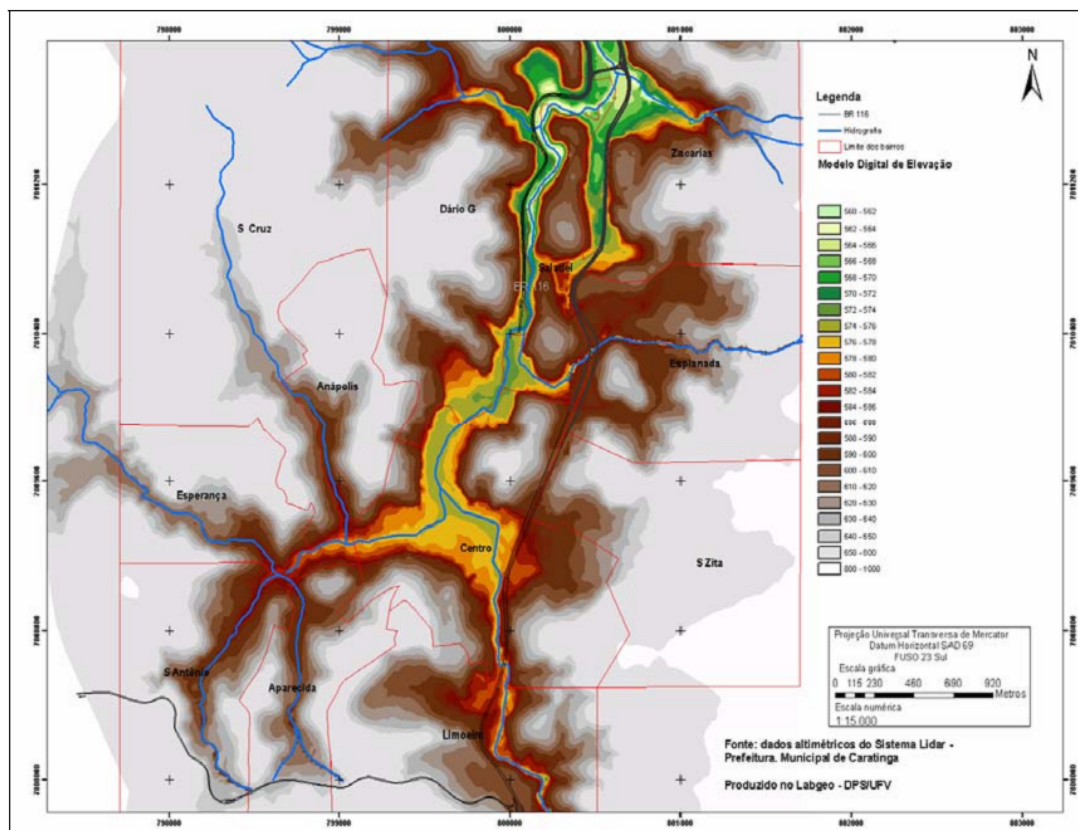


Figura 2.12: Modelo Digital de Elevação.

Fonte: COSTA, 2007.

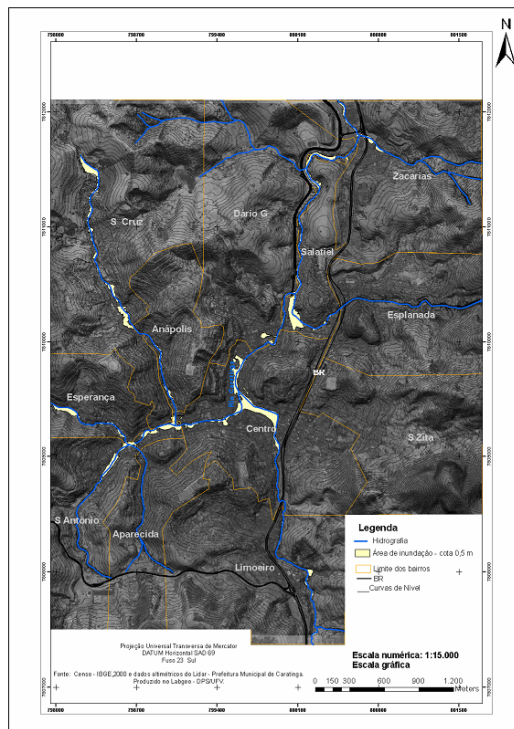


Figura 2.13: Área inundável considerando a cota de 0,5 m.
Fonte: COSTA, 2007.

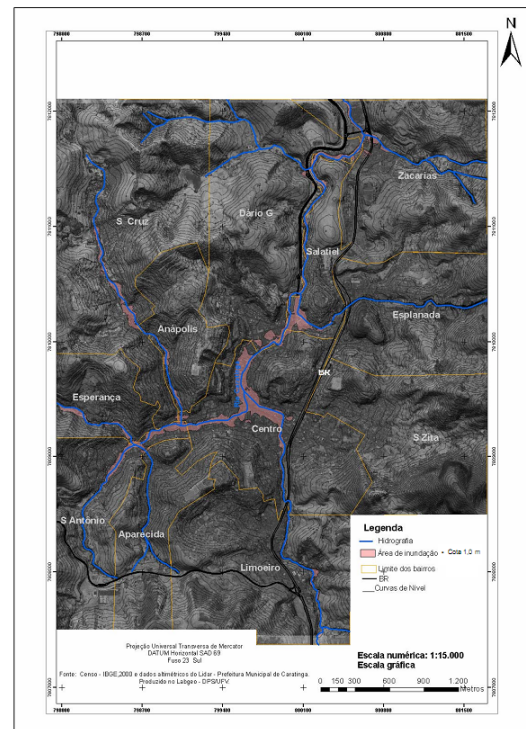


Figura 2.14: Área inundável considerando a cota de 1,0 m.
Fonte: COSTA, 2007.

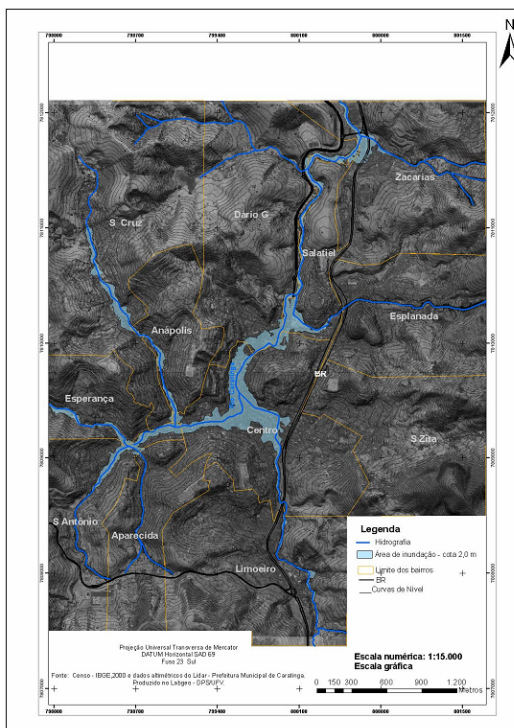


Figura 2.15: Área inundável considerando a cota de 2,0 m.
Fonte: COSTA, 2007.

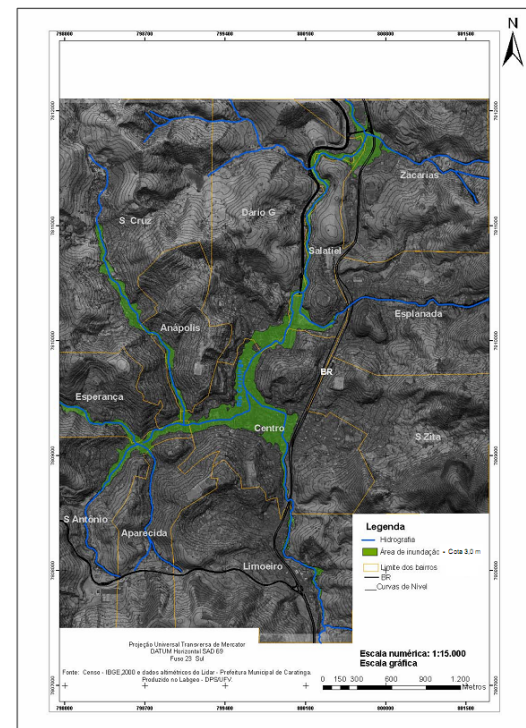


Figura 2.16: Área inundável considerando a cota de 3,0 m.
Fonte: COSTA, 2007.

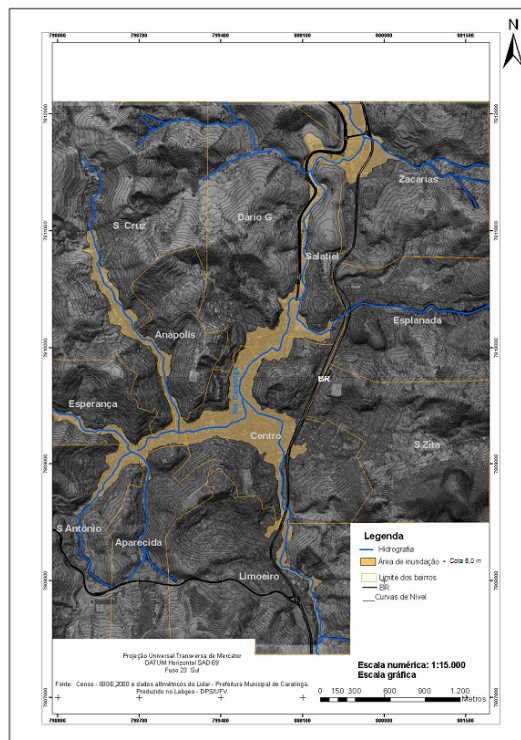


Figura 2.17: Área inundável considerando a cota de 6,0 m.

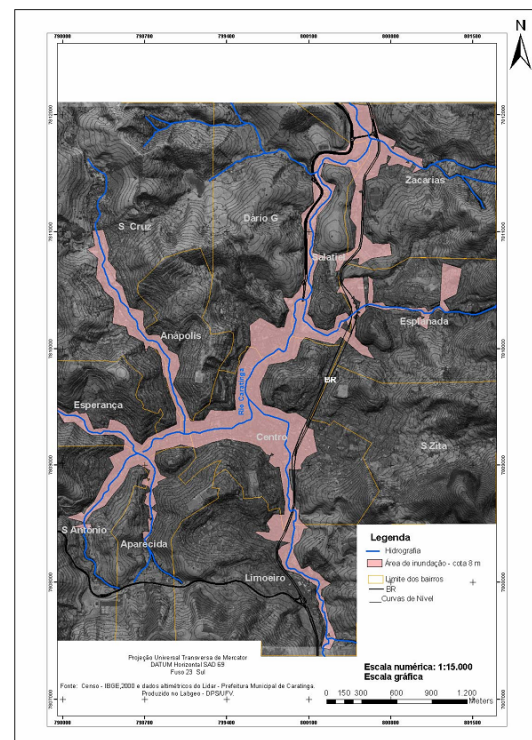


Figura 2.18: Área inundável considerando a cota de 8,0 m.

D) Estudo de caso: Itajubá – Sul de Minas Gerais

A cidade de Itajubá convive com o problema de cheias há muitas décadas, sendo bastante vulnerável às inundações. Desde sua fundação, sofre com problemas de inundações. De acordo com MORAES (2003) foram 74 eventos de cheia, desde 1821. Sendo algumas consideradas de grande porte e algumas localizadas. PINHEIRO (2005) apresentou um levantamento técnico sobre esses eventos em Itajubá, além do levantamento de algumas características hidráulicas do Rio Sapucaí dentro do município de Itajubá.

A planície de inundação apresenta uma topografia favorável às ocupações pelas atividades antrópicas, com seus terrenos planos, sendo praticamente a única área passível de desenvolvimento, no domínio dos vales encaixados e estreitos da Serra da Mantiqueira. No caso do rio Sapucaí, fica notável a crescente ocupação a partir da foz do rio de Bicas, inicialmente, com estabelecimentos rurais, culturas irrigadas e pastagens, evoluindo, progressivamente, para a zona urbana da cidade de Itajubá.

MONI (2006) desenvolveu um estudo na elaboração de mancha de inundação para Itajubá utilizando SIG para TR de 1, 10, 100, 500, 1000 e 1500 anos, com o programa SPRING.

As figuras abaixo apresenta o resultado obtido por MONI (2006).

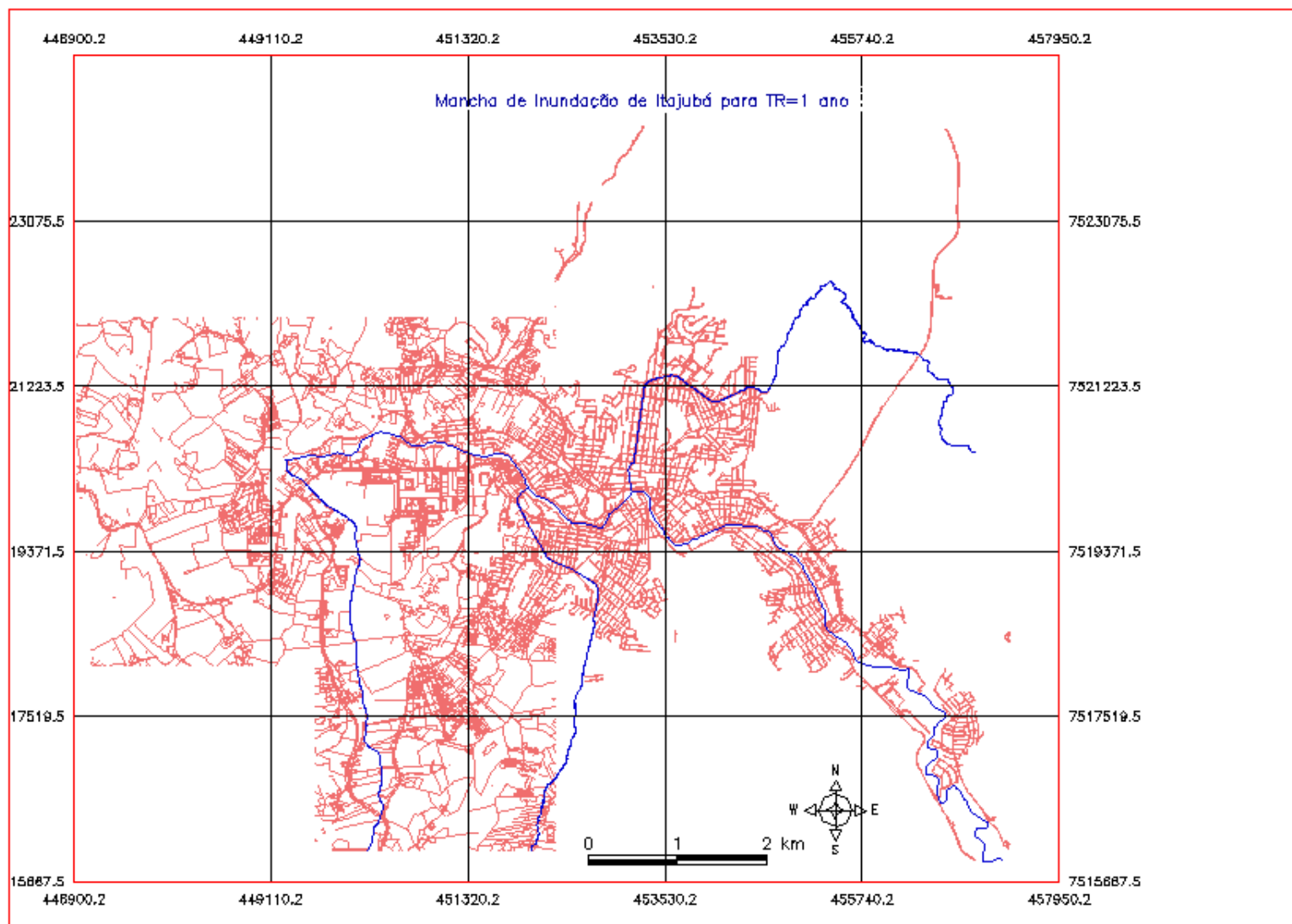


Figura 2.19: Mancha de Inundação para TR=1 ano. Cota de inundação=840,76m. Fonte: MONI SILVA, 2006.

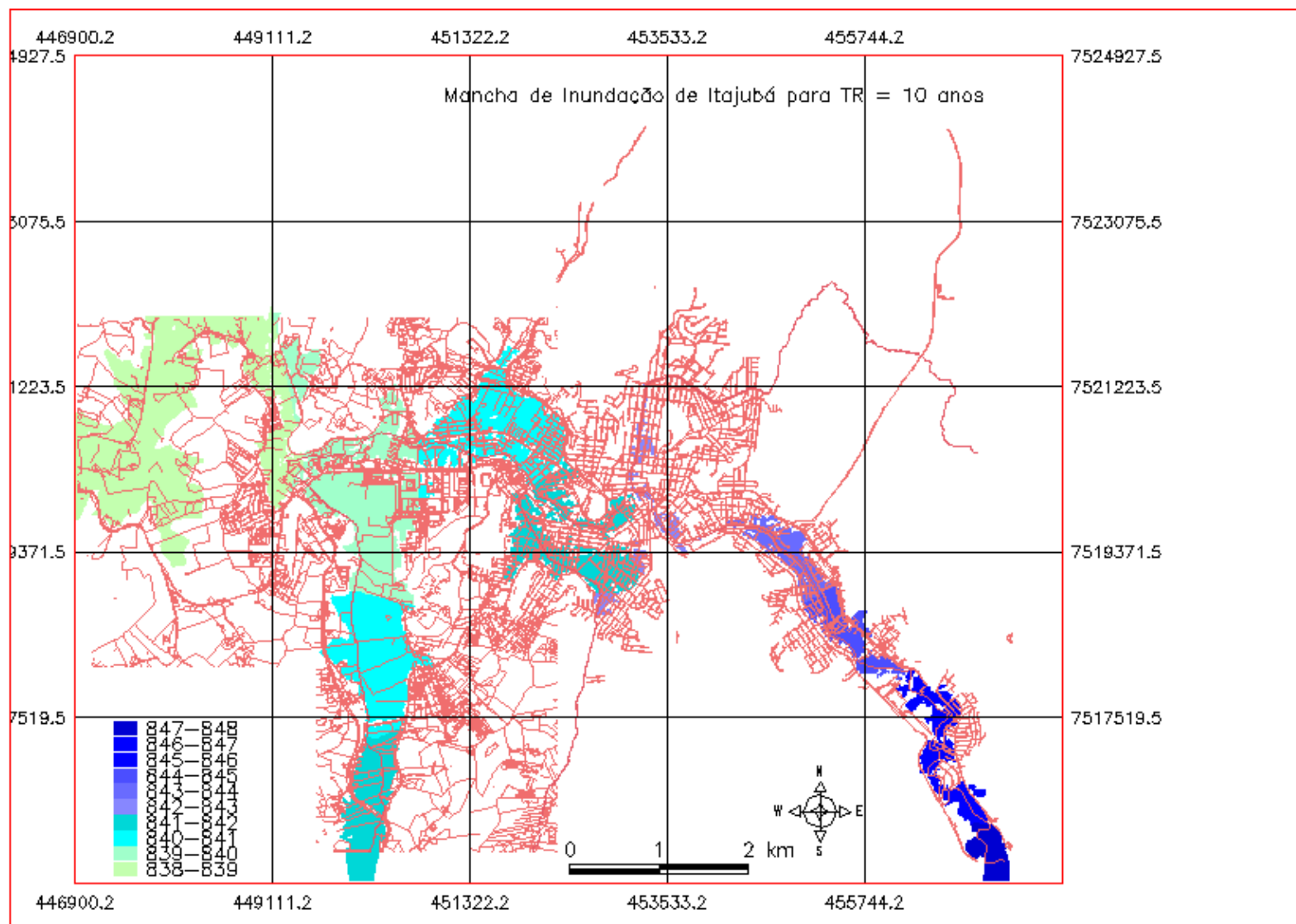


Figura 2.20: Mancha de Inundação para TR=10 anos. Cota de inundação=845,27m. Fonte: MONI SILVA, 2006.

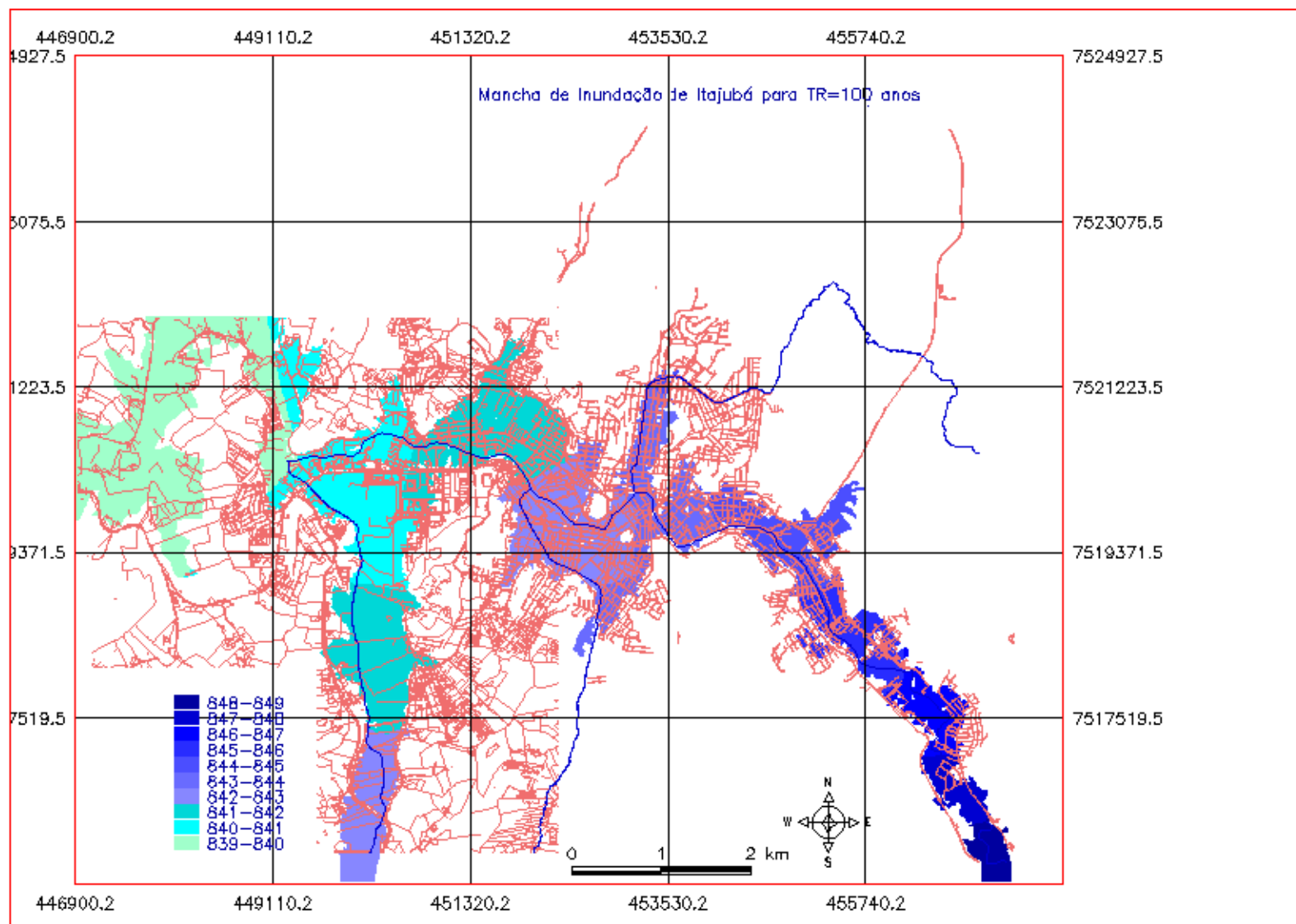


Figura 2.21: Mancha de Inundação para TR=100 anos. Cota de inundação=846,32m. Fonte: MONI SILVA, 2006.

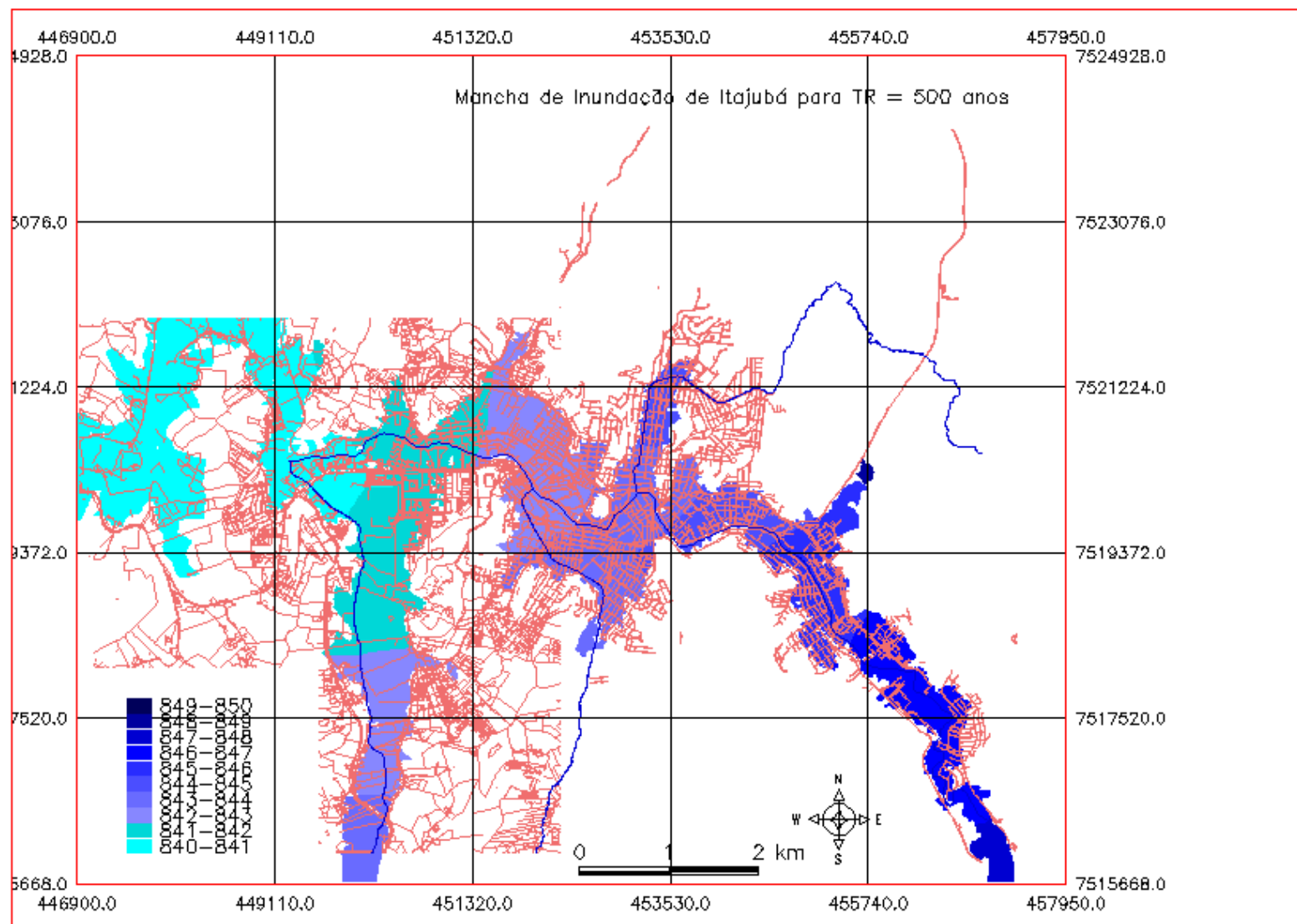


Figura 2.22: Mancha de Inundação para TR=500 anos. Cota de inundação=846,83m. Fonte: MONI SILVA, 2006.

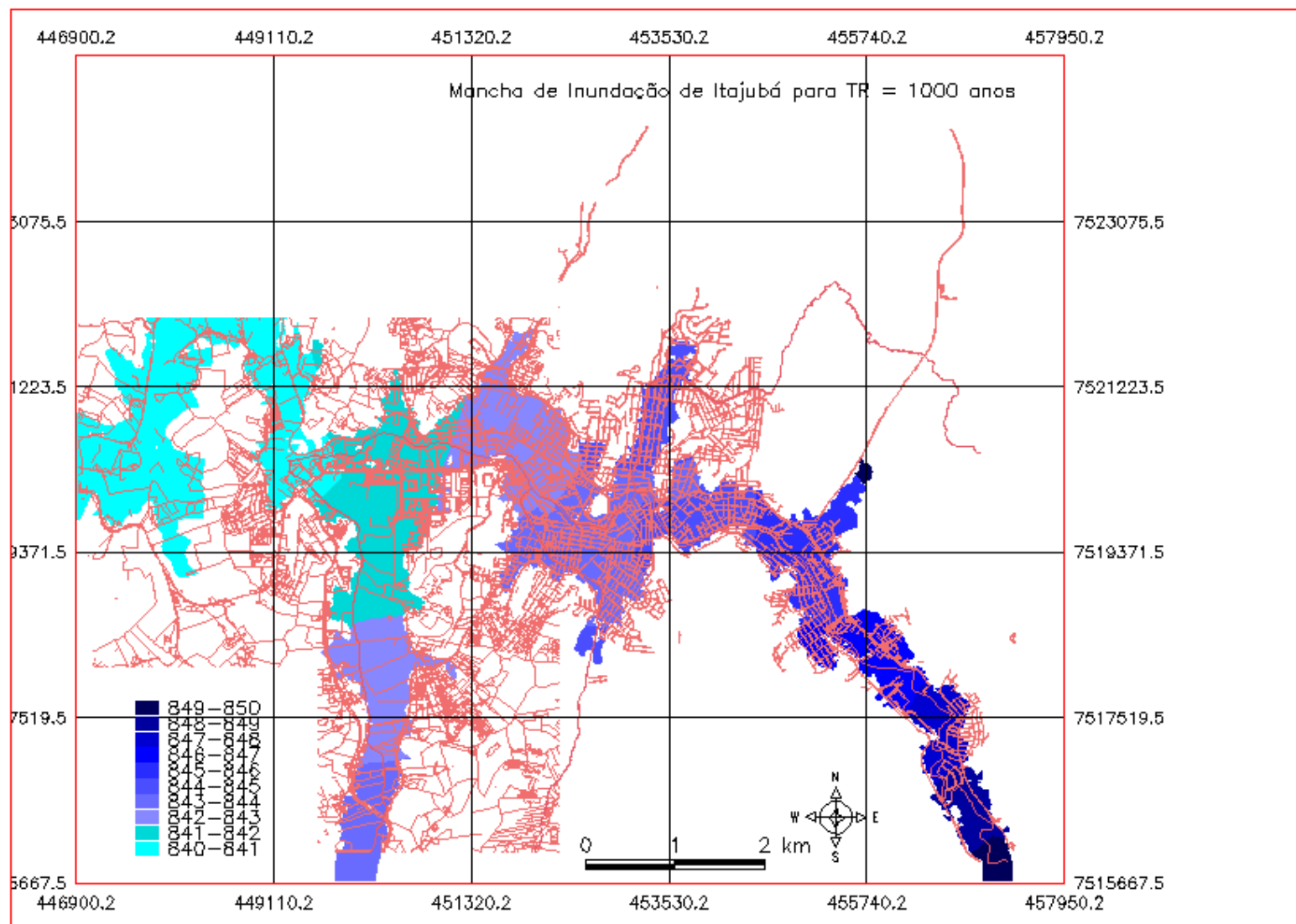


Figura 2.23: Mancha de Inundação para TR=1000 anos. Cota de inundação=847,04 m. Fonte: MONI SILVA, 2006.

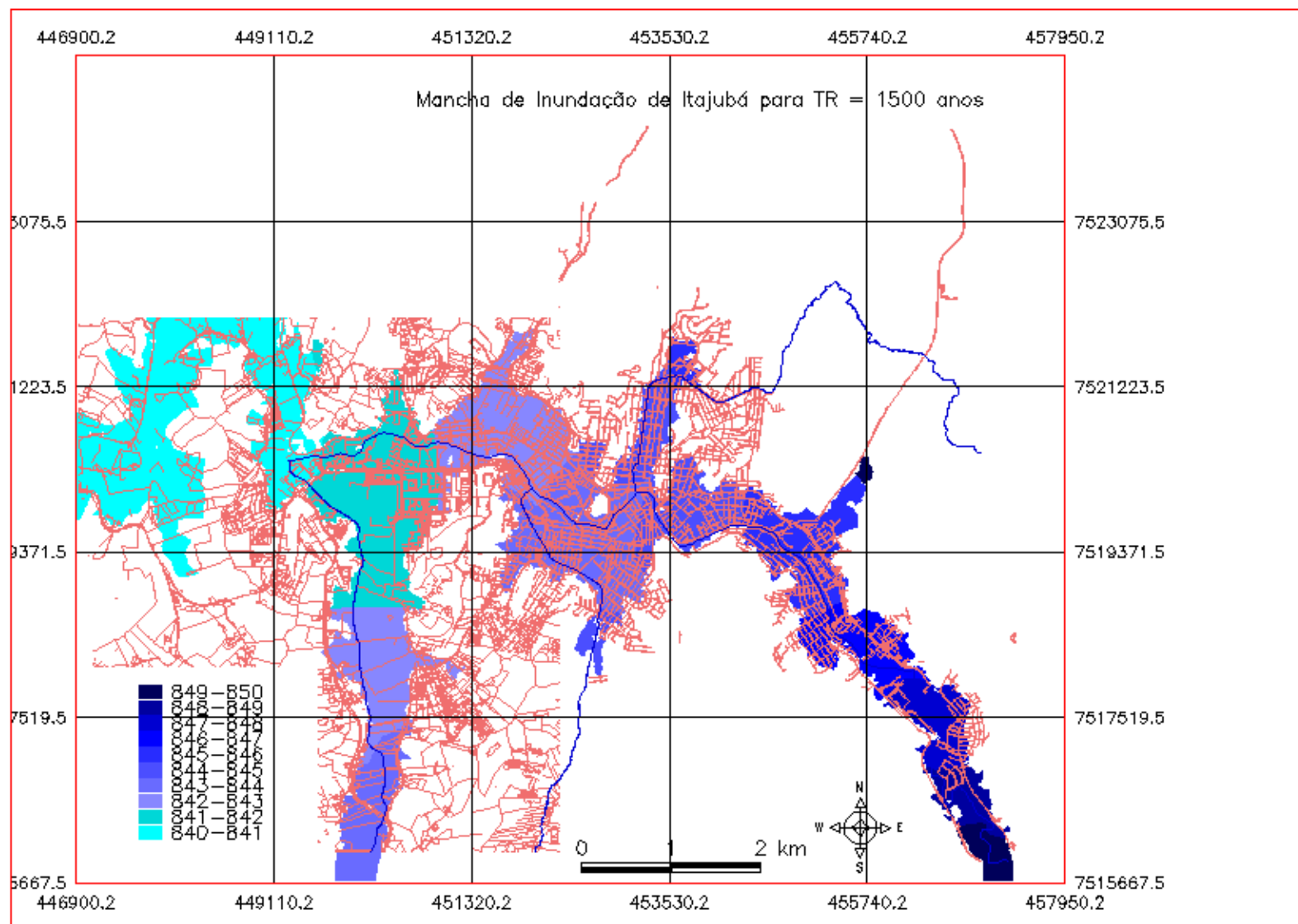


Figura 2.24: Mancha de Inundação para TR=1500 anos e Cota de inundação=847,16 m. Fonte: MONI SILVA, 2006.

Capítulo 3 – Materiais e Métodos

O município de Santa Rita do Sapucaí – MG vem sofrendo há mais de 100 anos com as enchentes. O Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM) registrou em um relatório várias inundações nos anos de 1874 a 2007 entre os municípios de Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre. Estudos afirmam que a ocupação da planície do rio Sapucaí nessas cidades é irreversível.

Este capítulo apresenta a localização do município de Santa Rita do Sapucaí; a caracterização da Bacia Hidrográfica que Santa Rita está localizada. O conjunto de fotos da cheia de 2007; também apresenta o levantamento da declividade do Rio Sapucaí no perímetro urbano. Os programas utilizados, os dados coletados em campo, para tanto propõe a elaboração de manchas de inundação para a área urbana do município de Santa Rita do Sapucaí.

Para a elaboração da mancha de inundação foram necessários:

- ✓ Dados hidrológicos;
- ✓ Levantamento altimétrico;
- ✓ Medições das inundações (Prefeitura Municipal);
- ✓ Cotas de Inundações, para vários períodos de retorno;
- ✓ Os programas: AutoCad e SPRING;
- ✓ Equipamentos: Estação total (Leica TS02), DGPS (Magellan ProMark X) e um aparelho para medir a vazão (Q-liner).

3.1. Caracterização da área de estudo

3.1.1. O Município

A área de estudo localiza-se no município de Santa Rita do Sapucaí – Minas Gerais, que está compreendida numa área de 321 Km², com altitude de 821 m e temperatura entre 6° e 32° C. Com uma localização geográfica privilegiada conforme mostra a figura 3.1, em uma das regiões que mais se desenvolve no país, Santa Rita do Sapucaí tem fáceis meios de comunicação com os 3 maiores centros econômicos e comerciais do Brasil. Atualmente é Comarca Intermediária e dista, em linha reta 316 Km da Capital do Estado, Belo Horizonte. Situa-se em região onde se alternam montanhas e vales que formam a Bacia do Sapucaí.



Figura 3.1: Localização do Município de Santa Rita do Sapucaí
Fonte: <http://www.pmsrs.mg.br/localizacao.asp>, 2009.

A topografia da região de Santa Rita do Sapucaí está inserida no domínio do Planalto Dissecado do Sul de Minas Gerais, caracterizado por um planalto decorrente dos movimentos de ascensão e subsidências de

blocos, comuns na região da Mantiqueira. Ocorrem cristas com até 1.600 m e, entre estas, predominam colinas de topos arredondados, vertente côncavo convexo e extensas planícies alunionares. O município de Santa Rita do Sapucaí apresenta-se plano (15%), ondulado (65%) e montanhoso (20%).

Os solos das áreas mais elevadas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolos, ambos distróficos com horizonte A moderado, textura argilosa, fase floresta subperenifólia em relevo ondulado a forte ondulado. Depósitos de “talus” são comuns nas encostas mais abruptas, caracterizados por sedimentos coluvionares pouco coesos, presença abundante de fragmentos rochosos e horizonte orgânico incipiente. Estes depósitos mostram grande instabilidade, sendo mantidos estáveis graças à cobertura arbórea. Nas várzeas predominam os solos hidromórficos.

O clima da região define duas estações, uma chuvosa (verão) e outra seca (inverno), com um curto período de estiagem de junho a setembro, com significativa redução térmica, a precipitação média anual fica em torno de 1500 mm. Santa Rita do Sapucaí fica às margens do Rio Sapucaí, a 22 km de Pouso Alegre, 42 km de Itajubá e 90 km de Varginha. De acordo com IBGE (2007), Santa Rita do Sapucaí possui 34.246 habitantes.

3.1.2. O Rio Sapucaí

O Rio Sapucaí é a artéria principal do corpo de 46 cidades, 43 no estado de Minas e 3 no estado de São Paulo. O Rio Sapucaí em sua bacia vivem mais de meio milhão de pessoas (Empório de notícias, 2008). A Bacia hidrográfica do Sapucaí é uma sub-bacia do rio Grande que, por sua vez, pertence à bacia do rio Paraná. O rio Paraná pertence à bacia do Prata que, após margear a Argentina, deságua no Oceano Atlântico. A bacia do Sapucaí engloba micro regiões do Vale do Paraíba Paulista, Alto da Mantiqueira, Planalto Mineiro e Furnas. O rio Sapucaí é o principal rio da

3.2. Histórico das Inundações

As cheias no município de Santa Rita do Sapucaí existem há muito tempo e é algo que vem preocupando as autoridades municipais, bem como a população que se fixou nas áreas planas, ocupando o leito maior do rio, sem contar com planejamento urbano de uso do solo.

Em Santa Rita do Sapucaí, como na maioria dos municípios brasileiros, não há uma organização adequada para que se tenha uma ocupação ordenada do perímetro urbano.

Um dos mais graves problemas sofrido pelo município se refere às inundações das áreas baixas em anos que choveu acima da média. De acordo com os dados fornecidos pela Secretária de Meio Ambiente da cidade, a Av. Beira Rio começa a ser alagada acima de 3 m (Régua de medição de nível) em alguns pontos, até 5 metros a cidade não tem perigo e acima de 5 m começa aparecer água em algumas ruas próximas ao final da rua “Deodato Seda”, “Francisco Nascimento”, esquina com a rua “Capitão Vicente” e rua” Ribeiro do Vale”, conforme mostra a figura abaixo:

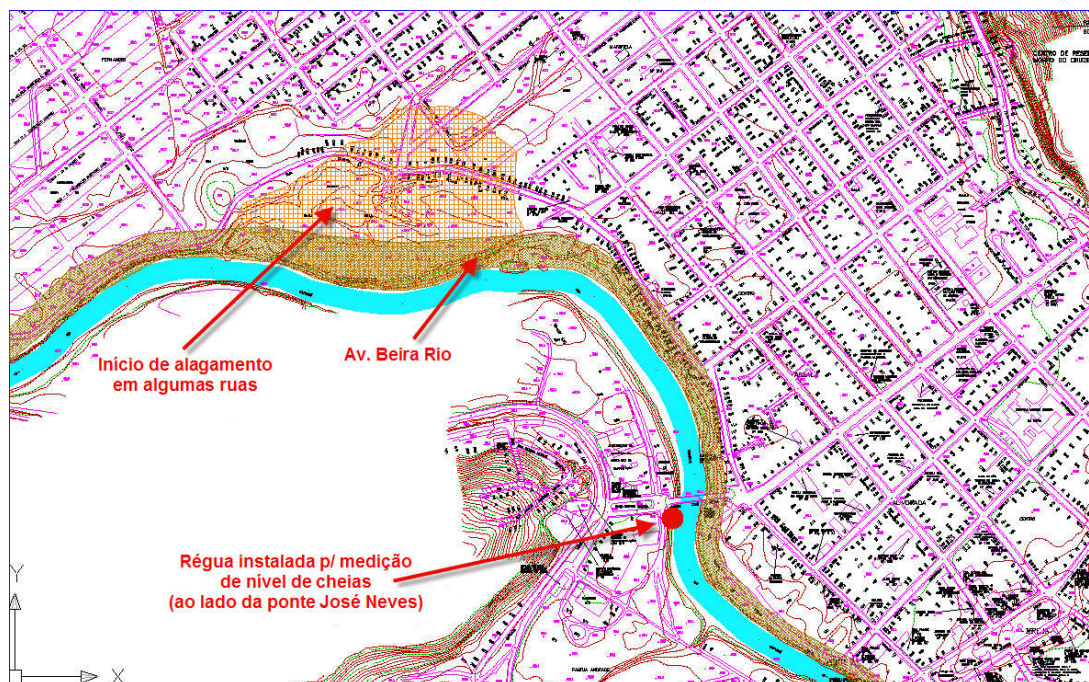


Figura 3.3: Localização das primeiras áreas urbanas a serem alagadas.
Fonte: BERTI SARLAS

A figura 3.3.1 mostra mais um ponto de início de alagamento no decorrer da Av. Beira Rio (Praça Alcides Mendes Pereira)



Figura 3.3.1: Início de alagamento na Av. Beira Rio

As fotos¹ apresentadas a baixo mostram a cheia ocorrida em 2007 umas das mais atuais de grande porte ocorridas em Santa Rita do Sapucaí, onde o nível de cheia atingiu 6,86m conforme mostra a foto tirada em uma das régua de medição acoplada à ponte José Neves. (Cota da cheia: 821,076m)

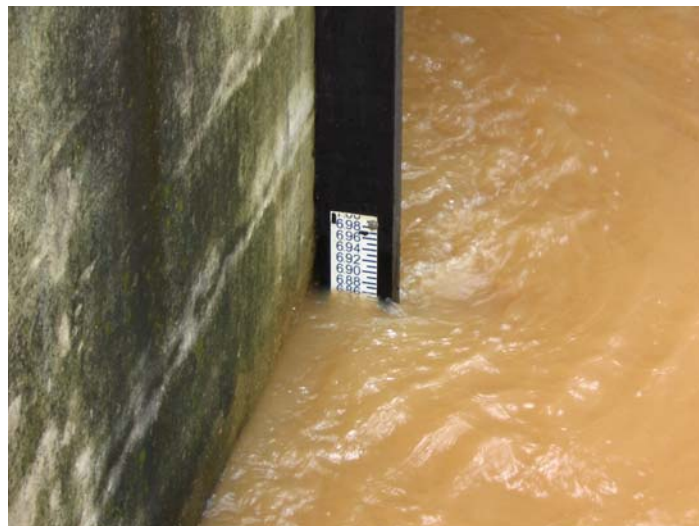


Figura 3.4: Régua marcando 6,86m (2007)

¹ As fotos das cheias de 2007 foram cedidas pela Secretaria de Meio Ambiente de Santa Rita do Sapucaí - MG. No Anexo 01 mais fotos da cheia de 2007.



Figura 3.5: Cheia de 2007, em destaque matriz central da cidade



Figura 3.6: Vista parcial da cheia de 2007

A seguir uma foto comparando a cheia de 2007 com outra tirada no mês de outubro de 2009.



Figura 3.7: Cheia de 2007 com outra sem alagamento (10/2009)

3.3. Dados

3.3.1. Características hidráulicas

Para a seção transversal do rio, é preciso que conheçamos algumas características hidráulicas necessárias para cálculos de nível d'água e vazão. Este levantamento é o topobatimétrico, que fornece a conformação da seção transversal; os cinemáticos: que são as velocidades na seção do canal e os dinâmicos: estimativa do coeficiente de rugosidade de Manning.

O levantamento topobatimétrico objetiva a determinação da área da seção para cada nível d'água encontrado. O levantamento da seção em Santa Rita do Sapucaí pode ser observado na figura abaixo:

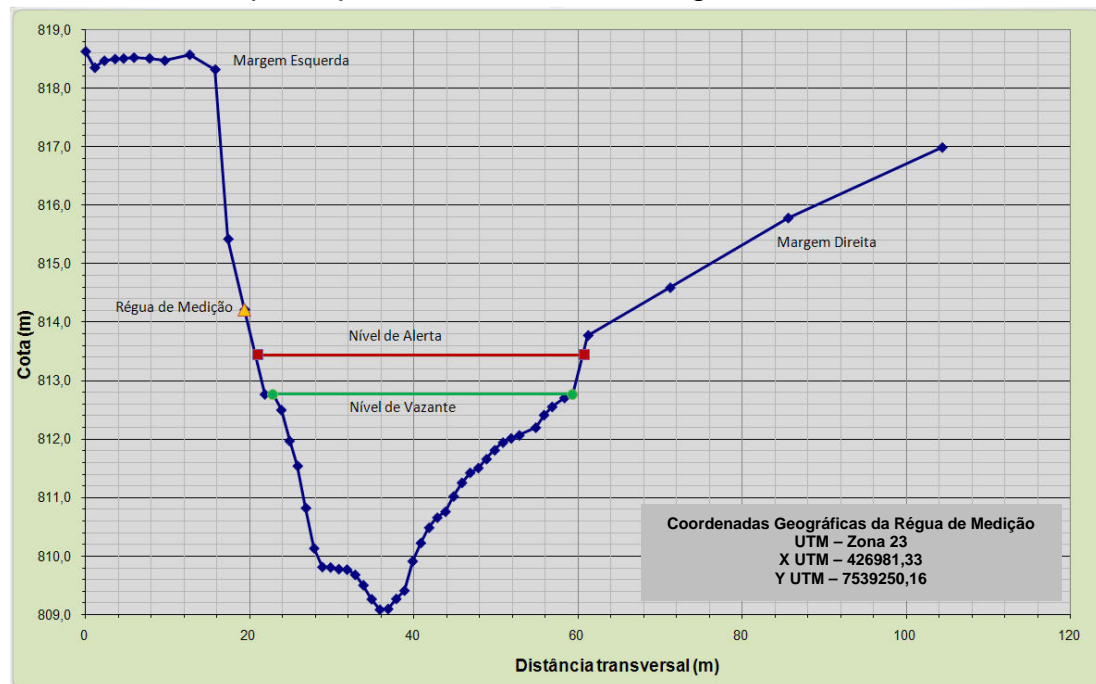


Figura 3.8: Perfil topobatimétrico da seção em Santa Rita do Sapucaí

O levantamento topobatimétrico foi obtido a partir de uma estação total, utilizada para conformidades das margens e o Qliner utilizado para vazões e conformidade do rio como mostra os gráficos gerados pelo Qliner na figura 3.9. Na tabela 3.1 são mostradas as grandezas hidráulicas da seção trabalhada.

```

Site:                : THALES SRS
Operator:            : amc
Date/Time            : 21-07-2009 12:15:23 -> 13:11:53
Discharge(m³/s)      : 35.457 +/- 0.29
Width(m)             : 35.00   Mean Velocity(m/s) : 0.413
Area(m²)             : 85.910   Mean depth(m)    : 2.45
Gauge Start:         : 0.00     End:              : 0.00
Section method:      : MID       Measure method:    : Powerlaw
Surface Factor:      : --        Ice Factor:         : --
    
```

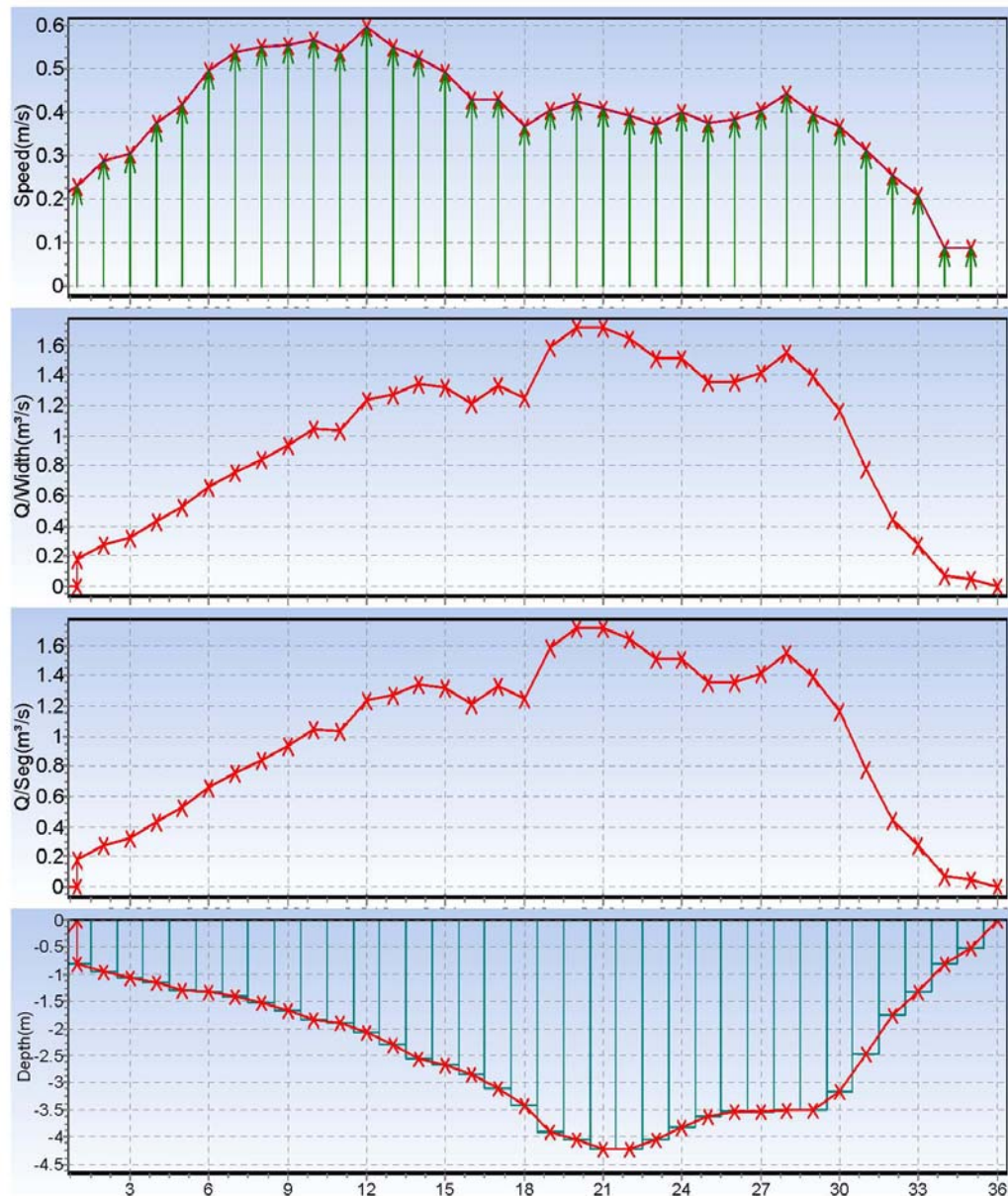


Figura 3.9: Características hidráulicas da seção em Santa Rita do Sapucaí

Tabela 3.1: Valores médios das grandezas hidráulicas na seção de monitoramento (para níveis de vazante)

Dados obtidos	Santa Rita do Sapucaí
Vazão [m ³ /s]	35,5 ± 0,3
Velocidade [m/s]	0,41
Área de escoamento [m ²]	86
Largura de topo do escoamento [m]	35
Profundidade [m]	2,4

Baseado no programa elaborado por BARBOSA & MATOS (2004) de geração de curvas-chave, construiu-se a curva-chave apresentada na forma Cota x Vazão da seção em estudo.

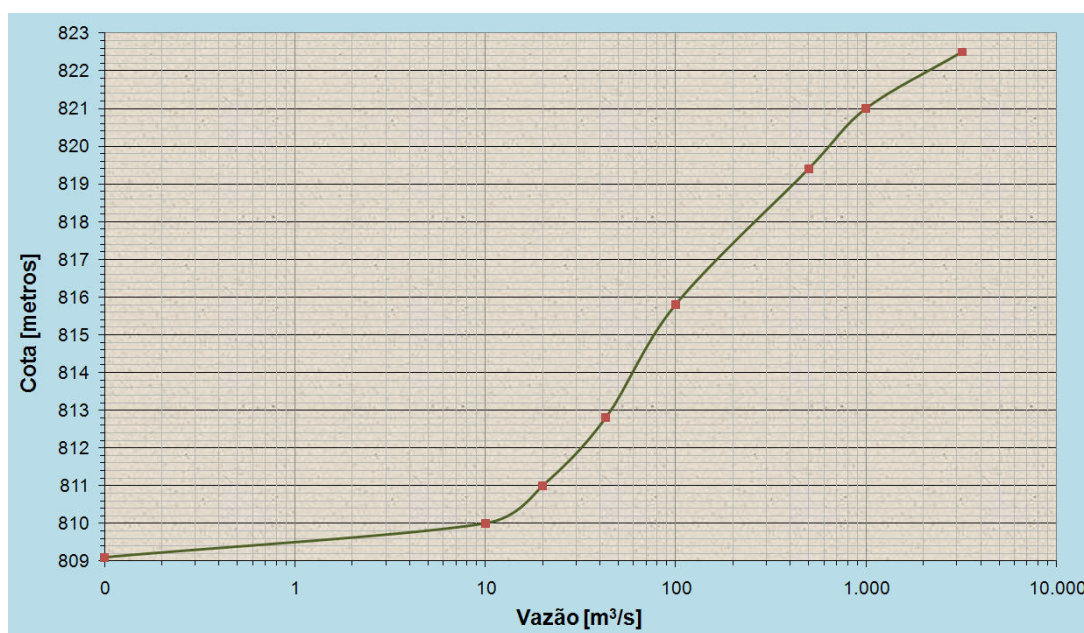


Figura 3.10: Curva-chave da seção em Santa Rita do Sapucaí

3.3.2. Cotas de Inundação x TR – Período de Retorno

Os tempos de recorrência foram obtidos por meio da regionalização da curva de tempo de retorno da seção hidráulica situada em Santa Rita do Sapucaí, no Rio Sapucaí.

Os tempos de retorno para a seção trabalhada foram calculados pelo Ajuste de Gumbel:

$$TR = \frac{1}{1 - e^{-e^{\frac{Q - \mu + 0,45\sigma}{0,78\sigma}}}}$$

Onde: TR é o tempo de retorno para vazões máximas em [anos];

Q são as vazões para um determinado período em [m³/s];

μ é média das vazões máximas para o período considerado em [m³/s];

σ é o desvio padrão das vazões máximas para o período em [m³/s];.

Para a transformação dos tempos de retorno dessa seção calculada para a estação de monitoramento de Santa Rita do Sapucaí foi utilizada a seguinte relação:

$$TR_n = f\left(\frac{A_{drenagem\ n}}{A_{drenagem\ SRSapucaí}}, TR_{SRSapucaí}\right)$$

Onde: TR_n é o tempo de retorno para cada um dos estações de monitoramento em [anos];

$TR_{SRSapucaí}$ é o tempo de retorno para a seção Santa Rosa em [anos];

$A_{drenagem}$ é a área de drenagem para cada um das estações de monitoramento em [km²];

$A_{drenagemSRSapucaí}$ é a área de drenagem para a seção de Santa Rita do Sapucaí.

Para elaboração das manchas são necessários alguns dados e tabelas, que devem ser calculados previamente.

Considerando seção estudada como referência e a curva-chave do Rio Sapucaí, pode-se construir a Tabela 3.2:

Tabela 3.2: As cotas de inundação para alguns TR's, para o Rio Sapucaí.

TR	Q	Cotas de inundação
[anos]	[m³/s]	[m]
2	296	817,10
5	591	817,60
10	815	817,85
25	1110	818,10
50	1334	818,25
100	1558	818,40
500	2077	818,65
1000	2300	818,75

Onde TR são os períodos de retorno mais usados em projetos de construção civil e na elaboração de planos diretores. No Anexo 02 estão todas as tabelas usadas, para o curso d'água (Rio Sapucaí).

As cotas de inundação para seção foram calculadas, considerando a declividade do Rio Sapucaí que foi calculada no decorrer de cinco pontos do rio que corta o município de Santa Rita do Sapucaí, conforme mostra a figura 3.11.

Para o cálculo da TR da cheia de 2000, entrou-se com sua cota de 822,56m no gráfico “curva-chave” (figura 3.10) para obtermos sua vazão e com isso aplicou-se na fórmula de sua TR (obtida pela estação de monitoramento em Santa Rita do Sapucaí), conforme mostra abaixo:

$$TR = 0,8.e^{0,0031.Q}$$

Onde sua vazão (Q) da cheia de 2000 foi de 3200 [m³/s], logo obteve uma TR de 16266 [anos].

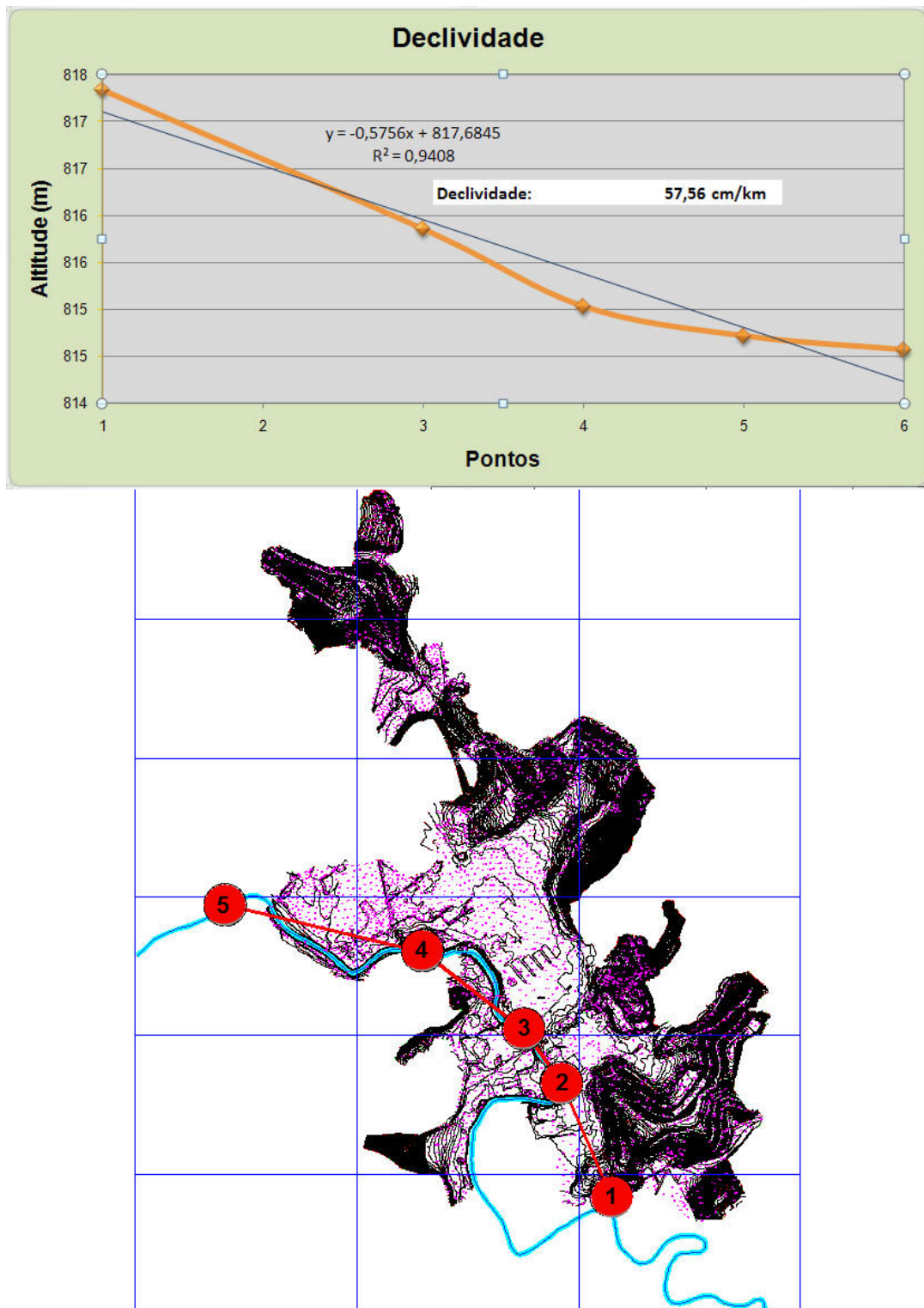


Figura 3.11: Declividade do Rio Sapucaí

Na Tabela 3.3 é apresentado um exemplo das tabelas com as cotas de inundação geradas para as várias seções ao longo do Rio Sapucaí, para a cheia de 2000.

Tabela 3.3: As cotas de inundação para cheia de 2000 em seções ao longo do Rio Sapucaí. Elaborado por BERTI SARLAS.

Rio	Distância	Cota	Distância	Trecho	
RIO_SAPUCAI	0	820,7093			
RIO_SAPUCAI	295,4750	820,8794	295,4750	1	2
RIO_SAPUCAI	441,4846	820,9634	146,0096	2	3
RIO_SAPUCAI	559,1518	821,0312	117,6672	3	4
RIO_SAPUCAI	738,6796	821,1345	179,5278	4	5
RIO_SAPUCAI	878,0778	821,2147	139,3982	5	6
RIO_SAPUCAI	1.048,2389	821,3127	170,1611	6	7
RIO_SAPUCAI	1.178,4438	821,3876	130,2049	7	8
RIO_SAPUCAI	1.330,9525	821,4754	152,5087	8	9
RIO_SAPUCAI	1.500,9747	821,5733	170,0222	9	10
RIO_SAPUCAI	1.654,4464	821,6616	153,4717	10	11
RIO_SAPUCAI	1.816,9259	821,7551	162,4795	11	12
RIO_SAPUCAI	1.937,4978	821,8245	120,5719	12	13
RIO_SAPUCAI	2.134,8214	821,9381	197,3236	13	14
RIO_SAPUCAI	2.264,5456	822,0128	129,7242	14	15
RIO_SAPUCAI	2.415,0567	822,0994	150,5111	15	16
RIO_SAPUCAI	2.555,1872	822,1801	140,1305	16	17
RIO_SAPUCAI	2.684,1387	822,2543	128,9515	17	18
RIO_SAPUCAI	2.850,8349	822,3503	166,6962	18	19
RIO_SAPUCAI	2.993,8099	822,4325	142,9750	19	20
RIO_SAPUCAI	3.225,6611	822,5660	231,8512	20	21
				Régua	
RIO_SAPUCAI	3.303,8874	822,6110	78,2263	21	22
RIO_SAPUCAI	3.453,0227	822,6969	149,1353	22	23
RIO_SAPUCAI	3.610,6902	822,7876	157,6675	23	24
RIO_SAPUCAI	3.767,3356	822,8778	156,6454	24	25
RIO_SAPUCAI	3.898,6616	822,9534	131,3260	25	26
RIO_SAPUCAI	4.052,6543	823,0420	153,9927	26	27
RIO_SAPUCAI	4.214,2455	823,1350	161,5912	27	28
RIO_SAPUCAI	4.342,4237	823,2088	128,1782	28	29
RIO_SAPUCAI	4.513,4360	823,3072	171,0123	29	30
RIO_SAPUCAI	4.641,7695	823,3811	128,3335	30	31
RIO_SAPUCAI	4.815,7572	823,4813	173,9877	31	32

Tabela 3.3: As cotas de inundação para cheia de 2000 em seções ao longo do Rio Sapucaí. Elaborado por BERTI SARLAS. (Continuação)

Rio	Distância	Cota	Distância	Trecho	
RIO_SAPUCAI	4.961,64	823,5652	145,8808	32	33
RIO_SAPUCAI	5.136,65	823,6660	175,013	33	34
RIO_SAPUCAI	5.253,11	823,7330	116,4578	34	35
RIO_SAPUCAI	5.416,97	823,8273	163,8573	35	36
RIO_SAPUCAI	5.560,93	823,9102	143,9676	36	37
RIO_SAPUCAI	5.708,83	823,9953	147,8924	37	38
RIO_SAPUCAI	5.840,32	824,0710	131,4901	38	39
RIO_SAPUCAI	5.979,11	824,1509	138,7888	39	40
RIO_SAPUCAI	6.184,97	824,2694	205,8663	40	41
RIO_SAPUCAI	6.322,35	824,3485	137,3787	41	42
RIO_SAPUCAI	6.443,28	824,4181	120,9296	42	43
RIO_SAPUCAI	6.595,63	824,5058	152,3485	43	44
RIO_SAPUCAI	6.786,12	824,6154	190,4968	44	45
RIO_SAPUCAI	6.916,13	824,6902	130,0013	45	46
RIO_SAPUCAI	7.032,66	824,7573	116,5334	46	47
RIO_SAPUCAI	7.215,21	824,8624	182,5547	47	48
RIO_SAPUCAI	7.341,96	824,9353	126,7442	48	49
RIO_SAPUCAI	7.538,75	825,0486	196,7958	49	50
RIO_SAPUCAI	7.676,34	825,1278	137,5884	50	51
RIO_SAPUCAI	7.832,19	825,2175	155,8514	51	52
RIO_SAPUCAI	7.947,95	825,2841	115,7562	52	53
RIO_SAPUCAI	8.075,86	825,3578	127,9109	53	54
RIO_SAPUCAI	8.245,32	825,4553	169,454	54	55
RIO_SAPUCAI	8.420,37	825,5561	175,0547	55	56
RIO_SAPUCAI	8.546,62	825,6287	126,2482	56	57
RIO_SAPUCAI	8.685,09	825,7084	138,4686	57	58
RIO_SAPUCAI	8.824,28	825,7886	139,1948	58	59
RIO_SAPUCAI	9.046,70	825,9166	222,419	59	60

3.3.3. Levantamento Altimétrico

A Secretaria municipal de meio ambiente de Santa Rita do Sapucaí forneceu o levantamento altimétrico que não estava completo.

O material, disponibilizado em formato digital, estava dividido em arquivos com curvas de nível de 1 em 1 m (em vários arquivos contendo altimetria);

Na Figura 3.12 é apresentado um trecho do município retirado dos arquivos de curvas de nível de 1 em 1 m (região central de Santa Rita do Sapucaí).

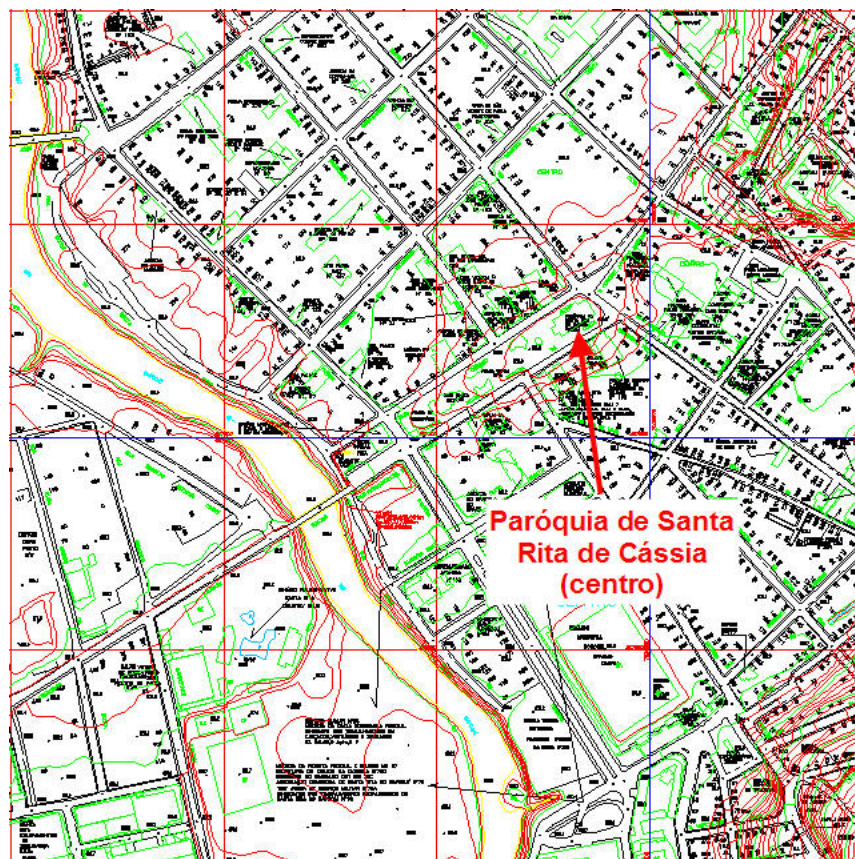


Figura 3.12: Levantamento altimétrico, com curvas de nível de 1 em 1m - Região Central de Santa Rita do Sapucaí
Fonte: Secretaria do Meio Ambiente de Santa Rita do Sapucaí.

3.4. Programas

3.4.1. O AutoCad

AutoCAD é um software criado e comercializado pela Autodesk, desde 1982. É utilizado principalmente para a elaboração de peças de desenho técnico em duas dimensões e para criação de modelos tridimensionais. Além dos desenhos técnicos, o software vem disponibilizando, em suas versões mais recentes, vários recursos para visualização em diversos formatos. É amplamente utilizado em arquitetura, design de interiores, engenharia mecânica, engenharia geográfica e em vários outros ramos da indústria. O AutoCAD é atualmente disponibilizado apenas em versões para o sistema operacional Microsoft Windows, embora já tenham sido comercializadas versões para UNIX e Mac OS.

A partir da versão R14 (publicada em 1997) potencializa a expansão de sua funcionalidade por meio da adição de módulos específicos para desenho arquitetônico, SIG, controle de materiais, etc. O AutoCad é um programa que cada vez ganha mais adeptos devido a sua funcionalidade em várias áreas da engenharia. Muito útil em topografia, o AutoCAD é uma ferramenta poderosa em desenhos topográficos. Neste trabalho a maioria dos arquivos fornecidos e trabalhados como dados altimétricos, arruamento, topobatimetria, foram gerados no AutoCad.

Arquivos do quais posteriormente foram utilizados no programa SPRING. A versão utilizada foi AutoCad 2006.

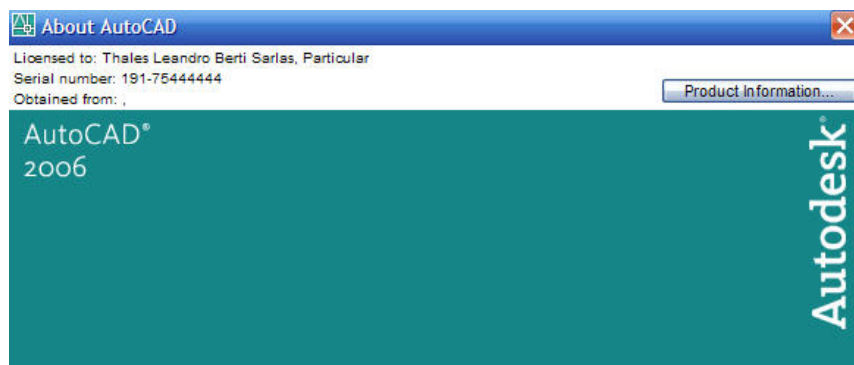


Figura 3.13: AutoCAD 2006

3.4.2. O SPRING

O produto SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) é um banco de dados geográfico de 2º geração, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- ✓ Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- ✓ Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realizar a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- ✓ Prove um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- ✓ Consegue escalonabilidade completa, isto é, ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

Para alcançar estes objetivos, o SPRING é baseado num modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações.

Outra característica, considerada extremamente importante, é que a base de dados é única, isto é, a estrutura de dados é a mesma quando o usuário trabalha em um micro computador (IBM-PC) e em uma máquina RISC (Estações de Trabalho UNIX), não havendo necessidade alguma de conversão de dados. O mesmo ocorre com a interface, a qual é exatamente

a mesma, de maneira que não existe diferença no modo de operar o produto SPRING.

A motivação básica para o desenvolvimento do SPRING baseia-se em duas premissas: integração de dados e facilidade de uso. No primeiro caso, constatamos que a complexidade dos problemas ambientais do Brasil requer uma forte capacidade de integração de dados entre imagens de satélite, mapas temáticos e cadastrais, e modelos numéricos de terreno. Adicionalmente, muitos dos sistemas disponíveis no mercado nacional apresentam alta complexidade de uso e demandam tempo de aprendizado muito longo.

Os objetivos do sistema SPRING são:

- ✓ Integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica.
- ✓ Utilizar modelo de dados orientado-a-objetos, que melhor reflete a metodologia de trabalho de estudos ambientais e cadastrais.
- ✓ Fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos.

A versão utilizada do SPRING,



Divisão de Processamento de Imagens

Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE)
São José dos Campos, Brasil
www.dpi.inpe.br



Figura 3.14: SPRING 5.0

3.4.3. Função e elaboração da Mancha de Inundação do SPRING

O método proposto é o mesmo utilizado por MONI (2006), é um processo simples de interpolação, por:

- Vizinho mais próximo.

Ou seja, para cada posição do terreno, o método busca a cota de inundação mais próxima e compara o valor da cota com o valor de altimetria daquela posição, já se a altimetria for um valor menor ou igual ao valor da cota, naquela posição haverá inundação. Esse método proposto é chamado de Busca por Distância Mínima – BDM, que necessita de dados de entrada como: altimetria, rede hidrográfica e cotas de inundação. A seguir algumas considerações sobre os dados de entrada, o método e as possíveis visualizações de resultados.

Dados de entrada:

- Altimetria: A partir de mapas altimétricos da área a ser analisada, foram gerados modelos numéricos de terreno – MNT, de grade regular retangular. Quanto menor os espaçamentos entre as células, melhor o resultado e maior o tempo de processamento.
- Rede Hidrográfica: o rio deve ser representado por uma única linha que será um objeto cadastral no SPRING. Este objeto terá um atributo que conterà o nome do rio, informação necessária para vincular o rio ao conjunto correspondente de cotas de inundação arquivado em arquivo próprio.
- Cotas de Inundação: Os valores de cotas de inundação foram obtidos através da prefeitura de Santa Rita do Sapucaí.

Metodologia

A idéia básica utilizada na delimitação da mancha de inundação é a expansão da mancha a partir das cotas de inundação. Os passos listados a seguir mostram como é realizado este procedimento.

1. Uniformização da representação vetorial dos rios (se houver mais de um);
2. Determinação da posição de cada cota de inundação na representação vetorial do rio correspondente;
3. Interpolação de novas cotas de inundação;
4. Delimitação da mancha de inundação a partir das cotas de inundação originais e interpoladas.

Visualização

O primeiro resultado é a grade de inundação gerada diretamente pelo processo de expansão descrito anteriormente. Outro resultado é a criação de um plano de informação temático que permita ao especialista visualizar o resultado de forma mais amigável, em relação à grade de inundação. Uma outra forma de mostrar o resultado é por meio de um fatiamento que crie um plano de informação temático com mais de uma classe. Dessa forma, pode-se melhorar a análise visual em termos do crescimento da mancha de inundação e não somente em relação à área por ela abrangida. MONI (2006).

Para elaboração da mancha de inundação foi usado os programas AutoCad 2006 e SPRING 5.0 conforme o esquema apresentado na figura 3.15.

Lembrando que o tempo de processamento consumido na geração das manchas é variável considerando a quantidade de dados, o computador utilizado, o tipo de dados e a metodologia empregada.

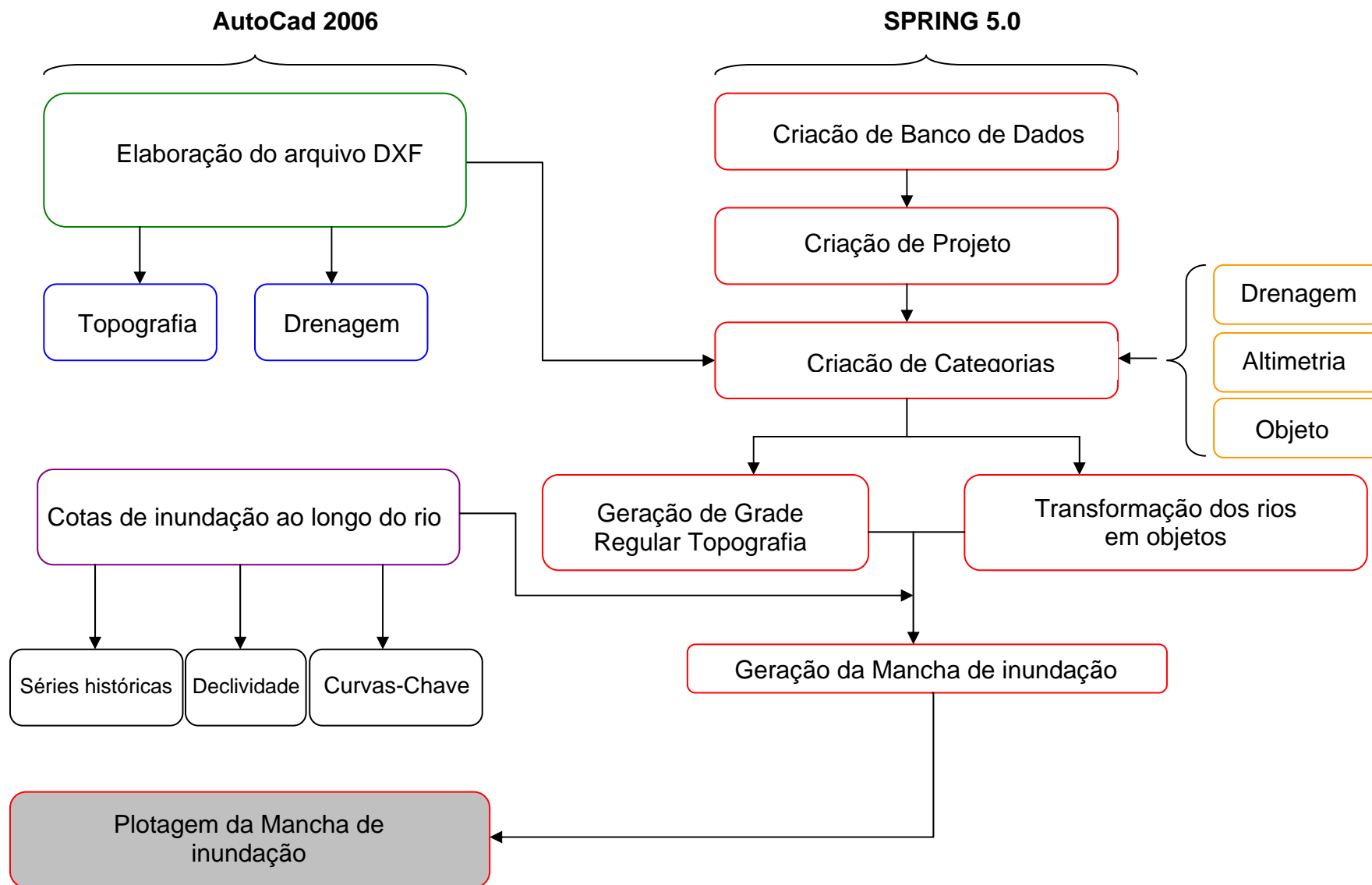


Figura 3.15: Fluxograma para elaboração de Mancha de Inundaçã. Fonte: MONI SILVA. Modificado: BERTI SARLAS (2010)

Capítulo 4 – Resultados

Foram gerados 9 mapas mostrando as áreas de inundação para 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 e 1000 anos de período de retorno mais a cheia do ano de 2000. A partir da análise dos mapas é possível comparar a área inundável de uma mancha em relação à outra.

- Mancha de inundação para TR de 5 anos em relação a mancha de TR de 2 anos: aumento de 29,51% de área inundável;

- Mancha de inundação para TR de 10 anos em relação a mancha de TR de 5 anos: aumento de 33,37% de área inundável;

- Mancha de inundação para TR de 25 anos em relação a mancha de TR de 10 anos: aumento de 6,86% de área inundável;

- Mancha de inundação para TR de 50 anos em relação a mancha de TR de 25 anos: aumento de 11,14% de área inundável;

- Mancha de inundação para TR de 100 anos em relação a mancha de TR de 50 anos: aumento de 5,79% de área inundável;

- Mancha de inundação para TR de 500 anos em relação a mancha de TR de 100 anos: aumento de 13,50% de área inundável;

- Mancha de inundação para TR de 1000 anos em relação a mancha de TR de 500 anos: aumento de 1,22% de área inundável;

- Mancha de inundação da cheia de 2000 em relação a mancha de TR de 1000 anos: aumento de 62,22% de área inundável;

A partir dos resultados deste trabalho serão apresentados:

- As manchas de inundação que foram geradas para o município de Santa Rita do Sapucaí para determinados TR e a cheia de 2000;
- No anexo 04, o tutorial para elaboração de manchas usando a função “Mancha de Inundação”.

4.1. Mancha de Inundação para Santa Rita do Sapucaí

Algumas considerações devem ser feitas com relação às manchas elaboradas:

- ✓ Foi considerado o principal curso d’água que atravessa o Município de Santa Rita do Sapucaí: Rio Sapucaí. Se houver mais rios é só seguir o passo a passo e acrescentar;
- ✓ A área de estudo refere-se apenas ao município de Santa Rita do Sapucaí;
- ✓ Em alguns arquivos topográficos com curvas de 1 em 1 metros foram complementados com curvas de nível de 20 em 20 metros;
- ✓ As cotas de inundação, coletadas para elaboração das manchas referem-se à que a prefeitura coletou na régua nas respectivas cheias.

A seguir serão apresentadas as manchas de inundação para o perímetro urbano de Santa Rita do Sapucaí.

As figuras 4.10 e 4.11 possibilita a visualização e quantificação através de imagem coletada no Google Earth e georeferenciadas no AutoCad a abrangência da cheia de 2000 que arrasou Santa Rita do Sapucaí.

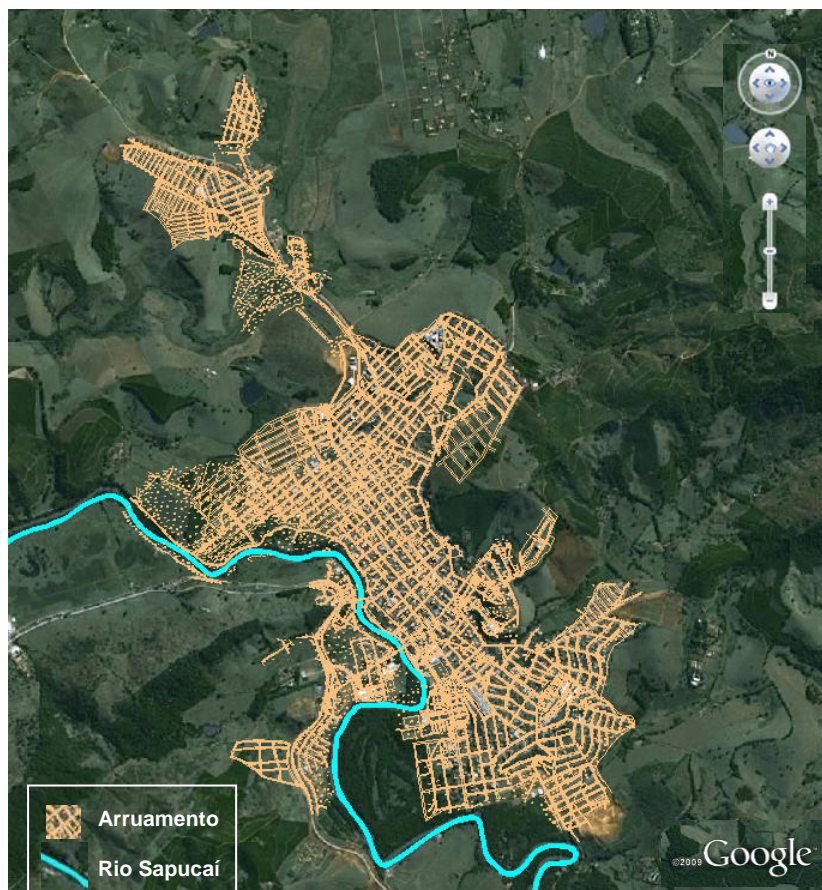


Figura 4.10: Arruamento de Santa Rita do Sapucaí

Fonte: BERTI SARLAS

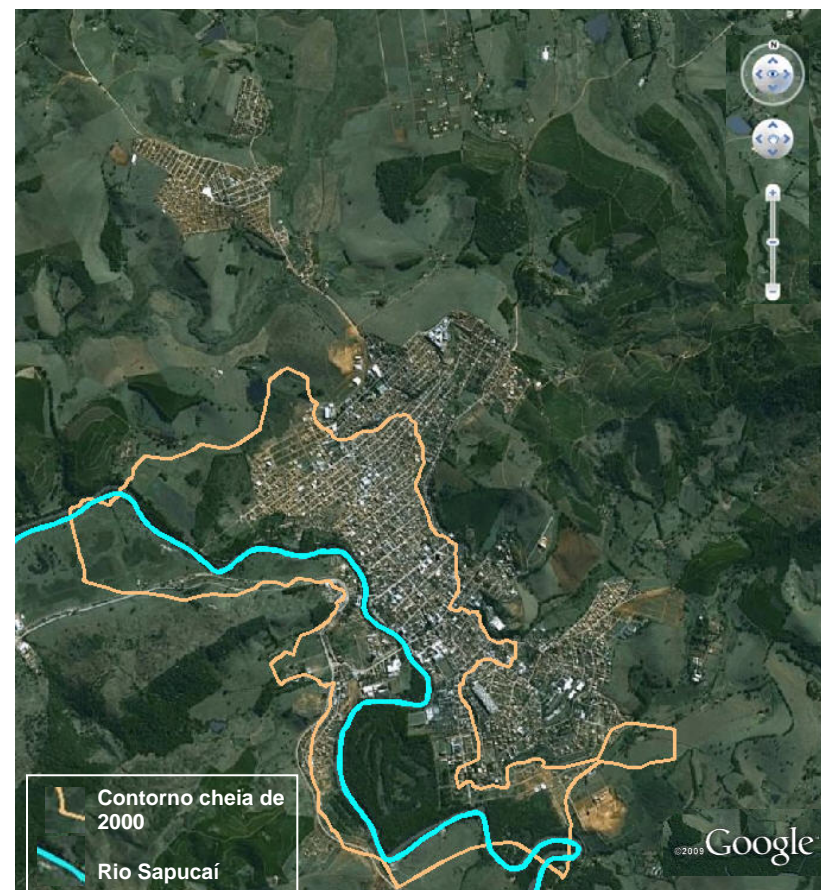


Figura 4.11: Contorno da mancha de inundação da cheia de 2000

Fonte: BERTI SARLAS

Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações

As inundações urbanas têm sido motivo de grande preocupação para a população atualmente, principalmente para os moradores de Santa Rita do Sapucaí no qual pude estabelecer contato no decorrer do trabalho de campo.

As medidas de controle de inundação são de grande diversidade. A elaboração de mancha de inundação é uma importante ferramenta de suporte à decisão para tomadas o controle de inundações.

Com o objetivo de se estabelecer um método de construção de mapas procurou-se neste trabalho selecionar um método que fosse de fácil uso e acesso para a sua elaboração. MONI (2006), obteve dados próximos a realidade utilizando o SPRING como ferramenta na geração das manchas de inundações.

Os programas usados foram AutoCad 2006 (para os dados topográficos e de drenagem), SPRING 5.0 (geração de mancha) e EXCEL da Microsoft Office (tratamento dos dados de cheias).

O AutoCad foi utilizado como base para o SPRING devido aos arquivos trabalhados se encontrarem no formato do AutoCad e pela precisão nas construções de linhas e polígonos que o AutoCad nos oferece.

O SPRING é uma ferramenta robusta de geoprocessamento, que permite a construção de banco de dados, seria de grande proveito para o Município de Santa Rita do Sapucaí a elaboração de um banco de dados com diversas informações sobre o município. Este seria uma ferramenta para a administração pública, na elaboração de planos diretores, zoneamento urbano, definição de áreas de risco, entre outros.

As pequenas variações encontradas entre os dados medidos e os gerados computacionalmente podem ter ocorrido em função de alguns fatores: declividade usada na geração das cotas de inundação falta de dados de outros eventos extremos. Mas mesmo com tais variações o programa se mostrou eficiente ao manipular grande quantidade de dados e gerar resultados tão significativos.

Para que os valores simulados possam convergir para valores os mais reais possíveis, ainda são necessárias maiores campanhas de medição das características hidráulicas do Rio Sapucaí e seus afluentes em Santa Rita do Sapucaí, principalmente nos futuros eventos de cheias extremas.

As inundações são eventos que ocorrem de tempos em tempos, dependendo de diversas variáveis hidrológicas, topográficas, climáticas e temporais. Algumas recomendações de caráter prático e estrutural são sugeridas abaixo:

- Elaboração de um plano diretor para a cidade de Santa Rita do Sapucaí e adequar o plano diretor as características fisiográficas e hidráulicas da região, tendendo a diminuição das áreas impermeáveis e preservando as áreas verdes. Além da definição das áreas de maior risco de inundação, tornando-as impróprias para construção de moradias;
- Sugere-se que seja feito um levantamento da declividade mais detalhado;
- Limpeza e manutenção da calha: os lixos que chegam até a calha principal ao longo do tempo alteram o regime fluvial;
- Estudo de uso e ocupação do solo: determinar áreas de solo exposto, que contribuem com sedimentos, que ao longo do tempo alteram a calha do rio;
- Educação ambiental: levar ao conhecimento da população as atitudes que podem potencializar os problemas causados pelas inundações. Isto pode ser feito através de cartilhas e palestras nas escolas;

- Implantação e investimentos em medidas não-estruturais: melhora do sistema de alerta contra inundações, através da instalação de mais estações de coleta de dados ao longo da bacia;
- Mapeamento topográfico melhorado e atualizado com:
 - fotos aerofotogramétrico;
 - levantamentos altimétrico com curvas de 1 e 1m;
- Organização com os dados relacionados a cheia futuras para futuros trabalhos e estudos (registros históricos).

Referências Bibliográficas

ANDRADE FILHO, A. G.; SZÉLIGA, M. R. 1997. **Investigação de Viabilidade de Implantação de Rede Telemétrica de Observação em Bacias Urbanas de Ponta Grossa**, PROPESP/UEPG, Ponta Grossa.

BARBOSA, A.A. e MATOS, A. J. S. (2004). **Propagação De Cheias Em Canais Artificiais Utilizando O Método Das Características**. III Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental – III SBEA.

BARBOSA, A.A. et al. (2010) em fase de elaboração.

BICHO DA SERRA. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: <http://bichosdaserra.org/relevo-solo-e-clima-da-serra>. Data de acesso: 10/08/2009.

BRAGA, R. 1995. **Caderno do Departamento de Planejamento** (Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP), Presidente Prudente, vol 1, n. 1, Agosto de 1995, pp. 15-20.

BRASIL. **República Federativa**. Constituição Federal de 05 de outubro de 1988.

- CALKINS, H.W.; TOMLINSON, R.F. 1977. **Geographic information systems: methods and equipment for land use planning.** International Geographic Union Commission on Geographical Data Sensing and Processing. Resource and Land Investigations (RALI) Program, Virginia.
- CÂMARA, G. 2005. **Representação computacional de dados geográficos.** In: CASANOVA, M. A. et al. **Banco de dados geográficos.** Curitiba - Mundogeo, p. 11-52.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. 1988. **Applied hydrology.** Nova York, McGraw-Hill, 572 p.
- CIDADESNET.COM. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: <http://cidadesnet.com/municipios/santaritadosapucaí.htm>. Data de acesso: 22/07/2009.
- COSTA, M.G.A. 2007. **Avaliação de Áreas de Risco à Inundação no Perímetro Urbano de Caratinga – MG.** Através do Uso de Dados Altimétricos Provenientes do Sensor Aerotransportado Lidar. Viçosa – MG.
- CPRM, ANA e IGAM. 2004. **Definição da Planície de inundação da cidade de Governador Valadares.** Belo Horizonte. 30 p.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds). 2004. **Análise Espacial de Dados Geográficos.** EMBRAPA, Brasília.
- ENOMOTO, C.F., 2000. **Medidas não estruturais para controle de inundações.** Estudo de caso – Bacia do arroio de Olarias, Ponta Grossa – Pr. Relatório Anual Técnico-Científico, PROPESP.

- ENOMOTO, C. F. 2004. **Método para Elaboração de Mapas de Inundação Estudo de Caso na Bacia do Rio Palmital, Paraná.** Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- FERRAZ, F. F. B. 1996. **Aplicação de Sistemas de Informações Geográficas em estudo de área urbana de Piracicaba sujeita à inundação.** CENA/USP, Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, Piracicaba. 97 p.
- FIGUEIREDO, A. P. S. 2003. **Determinação da Mancha de Inundação do Município de Itajubá na Enchente de janeiro /2000.** XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – INPE. Belo Horizonte.
- GODOY, M. 1990. **A Lei Orgânica do Município Comentada,** LEUD, São Paulo.
- HORA, S. B.; GOMES, R. L. 2009. **Mapeamento e Avaliação do Risco a Inundação do Rio Cachoeira em Trecho da Área Urbana do Município de Itabuna / BA,** vol.21, n.2, ISSN 1982-4513, p. 57-75.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>> Data de acesso: 27/11/2009.
- KUANG, K. S. C.; QUEK, S. T.; MAALEJ, M. 2008. **Remote flood monitoring system based on plastic optical fibres and wireless notes.** Department of Civil Engineering, National University of Singapore.

- LAZZAROTTO, D. R. 2002. **O que são geotecnologias**. Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br/geotec.asp?orig=A4>>. Acesso em: 22 set. 2003.
- LEI ORGÂNICA DE SANTA RITA DO SAPUCAÍ – MG. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: <<http://www.pmsrs.mg.gov.br>> Data de acesso: 22/02/2010.
- LEITE, L. G. 1991. **Plano Diretor: Obrigatório por força da Lei Orgânica Municipal**, In Revista de direito Público, ano 24, São Paulo, n. 97.
- MONI SILVA, A. P. 2006. **Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Itajubá, Utilizando SIG**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Concluída em 2006 – Itajubá.
- MUKAI, T. 1990. **Plano Diretor nas Constituições, Federal e Estaduais e nas Leis Orgânicas Municipais**, In. Revista de Direito Público, São Paulo, ano 23, n. 94.
- NASCIMENTO, G. A.; e ORTH, N. M. 1998. **Adequate Mapping-a non estrutural Measure on urban drainage**. In: International Workshop On Non Structural Flood Control in Urban Areas, 22 a 24 de abril, São Paulo.
- PINHEIRO, V. M. 2005. **Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá – MG**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Concluída em 2005.
- Prefeitura Municipal de Santa Rita do Sapucaí. [On-line] Disponível no endereço eletrônico: <http://www.pmsrs.mg.gov.br/localizacao.asp>. Data de acesso: 22/07/2009.

- RÖHM, S.A. 2003. **O que é Sistemas de informações geográficas.** Universidade Federal de São Carlos. Departamento de Engenharia Civil, (Apostila).
- SAPUCAÍ, O RIO QUE CANTA. **Empório de Notícias**, Santa Rita do Sapucaí/MG, 29/04/2008, ano 1, nº 7, p. 2.
- SCHUMANN, G., P. D. BATES, M. S. HORRITT, P. MATGEN, and F. PAPPENBERGER. 2009. **Progress in integration of remote sensing-derived flood extent and stage data and hydraulic models**, Rev. Geophys., 47, RG4001, doi:10.1029/2008RG000274.
- SERRA, G. 2003. Arcview 8.2. Imagem - Soluções de Inteligência Geográfica: São José dos Campos, 120p. (Material de Aula).
- SHIDARAWA, M. 1998. **Distribution of flood hazard map and resident's awareness of inundation.** In: International Workshop On Non Structural Flood control in Urban Areas, 22 a 24 de Abril, São Paulo.
- SHULTZ, M. J. 2002. **A Gis Flood Inundation Map Based on a Dynamic Wave (FLDWAV) Simulation of the October, 1998 Flood on the Lower Guadalupe River, Texas** .In cooperation with the Department of Civil Engineering and the City and Regional Planning Program of the School of Urban and Public Affairs, University of Texas at Arlington.
- TUCCI, C. E. M. 2002. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Editora da UFRGS/ABRH. 3ª ed. Porto Alegre. 943 p.
- TUCCI, C.E.M. 2003. **Inundações Urbanas na América do Sul.** Porto Alegre, UFRGS, cap. 3.

TUCCI, C.E.M., PORTO, R., BARROS, M. T., 1995. **Drenagem Urbana**, Editora da Universidade/UFRGS-ABRH, Porto Alegre, 428 p.

TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.L.M., 2000. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 558p.

VIANNA, A. P. P., 2000. **Utilização de Modelagens Hidrológica e Hidráulica associadas a um Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento de áreas inundáveis. Estudo de caso: Município de Itajubá – MG**. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG – Belo Horizonte. 107 p.

ANEXO 01

A1. Fotos da cheia de 2007 no Município de Santa Rita do Sapucaí



Figura A1: Cheia de 2007

Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Santa Rita do Sapucaí, 2009.



Figura A2: Cheia de 2007

Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Santa Rita do Sapucaí, 2009.



Figura A3: Cheia de 2007

Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Santa Rita do Sapucaí, 2009.



Figura A4: Cheia de 2007

Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Santa Rita do Sapucaí, 2009.

ANEXO 02

A.2. Tabela de cotas de inundação para alguns TR

Tabela A1: Cotas de inundação para TR = 2, 5, 10, 25 anos, para as seções de 1 a 29, para o Rio Sapucaí

Seção	Distância	Cotas de inundação [m]			
	[m]	TR = 2 anos	TR = 5 anos	TR = 10 anos	TR = 25 anos
1	0,00	815,24	815,74	815,99	816,24
2	295,48	815,41	815,91	816,16	816,41
3	441,48	815,50	816,00	816,25	816,50
4	559,15	815,57	816,07	816,32	816,57
5	738,68	815,67	816,17	816,42	816,67
6	878,08	815,75	816,25	816,50	816,75
7	1048,24	815,85	816,35	816,60	816,85
8	1178,44	815,92	816,42	816,67	816,92
9	1330,95	816,01	816,51	816,76	817,01
10	1500,97	816,11	816,61	816,86	817,11
11	1654,45	816,20	816,70	816,95	817,20
12	1816,93	816,29	816,79	817,04	817,29
13	1937,50	816,36	816,86	817,11	817,36
14	2134,82	816,47	816,97	817,22	817,47
15	2264,55	816,55	817,05	817,30	817,55
16	2415,06	816,63	817,13	817,38	817,63
17	2555,19	816,71	817,21	817,46	817,71
18	2684,14	816,79	817,29	817,54	817,79
19	2850,83	816,88	817,38	817,63	817,88
20	2993,81	816,97	817,47	817,72	817,97
21	3225,66	817,10	817,60	817,85	818,10
22	3303,89	817,15	817,65	817,90	818,15
23	3453,02	817,23	817,73	817,98	818,23
24	3610,69	817,32	817,82	818,07	818,32
25	3767,34	817,41	817,91	818,16	818,41
26	3898,66	817,49	817,99	818,24	818,49
27	4052,65	817,58	818,08	818,33	818,58
28	4214,25	817,67	818,17	818,42	818,67
29	4342,42	817,74	818,24	818,49	818,74

Tabela A2: Cotas de inundação para TR = 2, 5, 10, 25 anos, para as seções de 30 a 60 para o Rio Sapucaí

Seção	Distância	Cotas de inundação [m]			
	[m]	TR = 2 anos	TR = 5 anos	TR = 10 anos	TR = 25 anos
30	4513,44	817,84	818,34	818,59	818,84
31	4641,77	817,92	818,42	818,67	818,92
32	4815,76	818,02	818,52	818,77	819,02
33	4961,64	818,10	818,60	818,85	819,10
34	5136,65	818,20	818,70	818,95	819,20
35	5253,11	818,27	818,77	819,02	819,27
36	5416,97	818,36	818,86	819,11	819,36
37	5560,93	818,44	818,94	819,19	819,44
38	5708,83	818,53	819,03	819,28	819,53
39	5840,32	818,60	819,10	819,35	819,60
40	5979,11	818,68	819,18	819,43	819,68
41	6184,97	818,80	819,30	819,55	819,80
42	6322,35	818,88	819,38	819,63	819,88
43	6443,28	818,95	819,45	819,70	819,95
44	6595,63	819,04	819,54	819,79	820,04
45	6786,12	819,15	819,65	819,90	820,15
46	6916,13	819,22	819,72	819,97	820,22
47	7032,66	819,29	819,79	820,04	820,29
48	7215,21	819,40	819,90	820,15	820,40
49	7341,96	819,47	819,97	820,22	820,47
50	7538,75	819,58	820,08	820,33	820,58
51	7676,34	819,66	820,16	820,41	820,66
52	7832,19	819,75	820,25	820,50	820,75
53	7947,95	819,82	820,32	820,57	820,82
54	8075,86	819,89	820,39	820,64	820,89
55	8245,32	819,99	820,49	820,74	820,99
56	8420,37	820,09	820,59	820,84	821,09
57	8546,62	820,16	820,66	820,91	821,16
58	8685,09	820,24	820,74	820,99	821,24
59	8824,28	820,32	820,82	821,07	821,32
60	9046,70	820,45	820,95	821,20	821,45

Tabela A3: Cotas de inundação para TR = 50, 100, 500, 1000 anos, para as seções de 1 a 29, para o Rio Sapucaí

Seção	Distância [m]	Cotas de inundação [m]			
		TR = 50 anos	TR = 100 anos	TR = 500 anos	TR = 1000 anos
1	0,00	816,39	816,54	816,79	816,89
2	295,48	816,56	816,71	816,96	817,06
3	441,48	816,65	816,80	817,05	817,15
4	559,15	816,72	816,87	817,12	817,22
5	738,68	816,82	816,97	817,22	817,32
6	878,08	816,90	817,05	817,30	817,40
7	1048,24	817,00	817,15	817,40	817,50
8	1178,44	817,07	817,22	817,47	817,57
9	1330,95	817,16	817,31	817,56	817,66
10	1500,97	817,26	817,41	817,66	817,76
11	1654,45	817,35	817,50	817,75	817,85
12	1816,93	817,44	817,59	817,84	817,94
13	1937,50	817,51	817,66	817,91	818,01
14	2134,82	817,62	817,77	818,02	818,12
15	2264,55	817,70	817,85	818,10	818,20
16	2415,06	817,78	817,93	818,18	818,28
17	2555,19	817,86	818,01	818,26	818,36
18	2684,14	817,94	818,09	818,34	818,44
19	2850,83	818,03	818,18	818,43	818,53
20	2993,81	818,12	818,27	818,52	818,62
21	3225,66	818,25	818,40	818,65	818,75
22	3303,89	818,30	818,45	818,70	818,80
23	3453,02	818,38	818,53	818,78	818,88
24	3610,69	818,47	818,62	818,87	818,97
25	3767,34	818,56	818,71	818,96	819,06
26	3898,66	818,64	818,79	819,04	819,14
27	4052,65	818,73	818,88	819,13	819,23
28	4214,25	818,82	818,97	819,22	819,32
29	4342,42	818,89	819,04	819,29	819,39

Tabela A4: Cotas de inundação para TR=50, 100, 500, 1000 anos, para as seções de 30 a 60, para o Rio Sapucaí

Seção	Distância	Cotas de inunda�o [m]			
	[m]	TR = 50 anos	TR = 100 anos	TR = 500 anos	TR = 1000 anos
30	4513,44	818,99	819,14	819,39	819,49
31	4641,77	819,07	819,22	819,47	819,57
32	4815,76	819,17	819,32	819,57	819,67
33	4961,64	819,25	819,40	819,65	819,75
34	5136,65	819,35	819,50	819,75	819,85
35	5253,11	819,42	819,57	819,82	819,92
36	5416,97	819,51	819,66	819,91	820,01
37	5560,93	819,59	819,74	819,99	820,09
38	5708,83	819,68	819,83	820,08	820,18
39	5840,32	819,75	819,90	820,15	820,25
40	5979,11	819,83	819,98	820,23	820,33
41	6184,97	819,95	820,10	820,35	820,45
42	6322,35	820,03	820,18	820,43	820,53
43	6443,28	820,10	820,25	820,50	820,60
44	6595,63	820,19	820,34	820,59	820,69
45	6786,12	820,30	820,45	820,70	820,80
46	6916,13	820,37	820,52	820,77	820,87
47	7032,66	820,44	820,59	820,84	820,94
48	7215,21	820,55	820,70	820,95	821,05
49	7341,96	820,62	820,77	821,02	821,12
50	7538,75	820,73	820,88	821,13	821,23
51	7676,34	820,81	820,96	821,21	821,31
52	7832,19	820,90	821,05	821,30	821,40
53	7947,95	820,97	821,12	821,37	821,47
54	8075,86	821,04	821,19	821,44	821,54
55	8245,32	821,14	821,29	821,54	821,64
56	8420,37	821,24	821,39	821,64	821,74
57	8546,62	821,31	821,46	821,71	821,81
58	8685,09	821,39	821,54	821,79	821,89
59	8824,28	821,47	821,62	821,87	821,97
60	9046,70	821,60	821,75	822,00	822,10

ANEXO 03

A.3. Exemplo de arquivo tipo texto com as distâncias e cotas de inundação.

Na primeira coluna vem o nome do rio, um espaço, e na segunda coluna é a distância considerando 0 (zero) o ponto mais a jusante da curso d'água a ser considerado. Mais um espaço e na terceira coluna são as cotas de inundação. Neste exemplo foram definidas 60 seções.

```
RIO_SAPUCAI 0.0000 820.7093
RIO_SAPUCAI 295.4750 820.8794
RIO_SAPUCAI 441.4846 820.9634
RIO_SAPUCAI 559.1518 821.0312
RIO_SAPUCAI 738.6796 821.1345
RIO_SAPUCAI 878.0778 821.2147
RIO_SAPUCAI 1048.2389 821.3127
RIO_SAPUCAI 1178.4438 821.3876
RIO_SAPUCAI 1330.9525 821.4754
RIO_SAPUCAI 1500.9747 821.5733
RIO_SAPUCAI 1654.4464 821.6616
RIO_SAPUCAI 1816.9259 821.7551
RIO_SAPUCAI 1937.4978 821.8245
RIO_SAPUCAI 2134.8214 821.9381
RIO_SAPUCAI 2264.5456 822.0128
RIO_SAPUCAI 2415.0567 822.0994
RIO_SAPUCAI 2555.1872 822.1801
RIO_SAPUCAI 2684.1387 822.2543
RIO_SAPUCAI 2850.8349 822.3503
RIO_SAPUCAI 2993.8099 822.4325
RIO_SAPUCAI 3225.6611 822.5660
RIO_SAPUCAI 3303.8874 822.6110
RIO_SAPUCAI 3453.0227 822.6969
RIO_SAPUCAI 3610.6902 822.7876
RIO_SAPUCAI 3767.3356 822.8778
RIO_SAPUCAI 3898.6616 822.9534
RIO_SAPUCAI 4052.6543 823.0420
RIO_SAPUCAI 4214.2455 823.1350
RIO_SAPUCAI 4342.4237 823.2088
RIO_SAPUCAI 4513.4360 823.3072
RIO_SAPUCAI 4641.7695 823.3811
RIO_SAPUCAI 4815.7572 823.4813
RIO_SAPUCAI 4961.6380 823.5652
RIO_SAPUCAI 5136.6510 823.6660
RIO_SAPUCAI 5253.1088 823.7330
RIO_SAPUCAI 5416.9661 823.8273
```


RIO_SAPUCAI	5560.9337	823.9102
RIO_SAPUCAI	5708.8261	823.9953
RIO_SAPUCAI	5840.3162	824.0710
RIO_SAPUCAI	5979.1050	824.1509
RIO_SAPUCAI	6184.9713	824.2694
RIO_SAPUCAI	6322.3500	824.3485
RIO_SAPUCAI	6443.2796	824.4181
RIO_SAPUCAI	6595.6281	824.5058
RIO_SAPUCAI	6786.1249	824.6154
RIO_SAPUCAI	6916.1262	824.6902
RIO_SAPUCAI	7032.6596	824.7573
RIO_SAPUCAI	7215.2143	824.8624
RIO_SAPUCAI	7341.9585	824.9353
RIO_SAPUCAI	7538.7543	825.0486
RIO_SAPUCAI	7676.3427	825.1278
RIO_SAPUCAI	7832.1941	825.2175
RIO_SAPUCAI	7947.9503	825.2841
RIO_SAPUCAI	8075.8612	825.3578
RIO_SAPUCAI	8245.3152	825.4553
RIO_SAPUCAI	8420.3699	825.5561
RIO_SAPUCAI	8546.6181	825.6287
RIO_SAPUCAI	8685.0867	825.7084
RIO_SAPUCAI	8824.2815	825.7886
RIO_SAPUCAI	9046.7005	825.9166

ANEXO 04

A.4. Tutorial para elaboração de Manchas de Inundação

Neste tutorial serão apresentados os passos para a elaboração das manchas de inundação. Os passos apresentados para o programa AutoCad 2006, são a base para a das manchas: usando a função do SPRING 5.0.

Passos para elaboração de uma mancha de inundação, utilizando o AutoCad 2006

A base topográfica serve como base para o SPRING. Considerando que o levantamento topográfico esteja em arquivos de AutoCad (.dwg) deve-se seguir os passos:

Passo AutoCad 01a:

O SPRING requer que os arquivos vindos do Auto Cad estejam no formato DXF R12, verifique se a versão do Auto Cad a ser usada permite que os arquivos sejam salvos com esta extensão. Ex: abra qualquer arquivo em seu Auto Cad e manda “Salvar como” (Save Drawing As) conforme a figura abaixo.

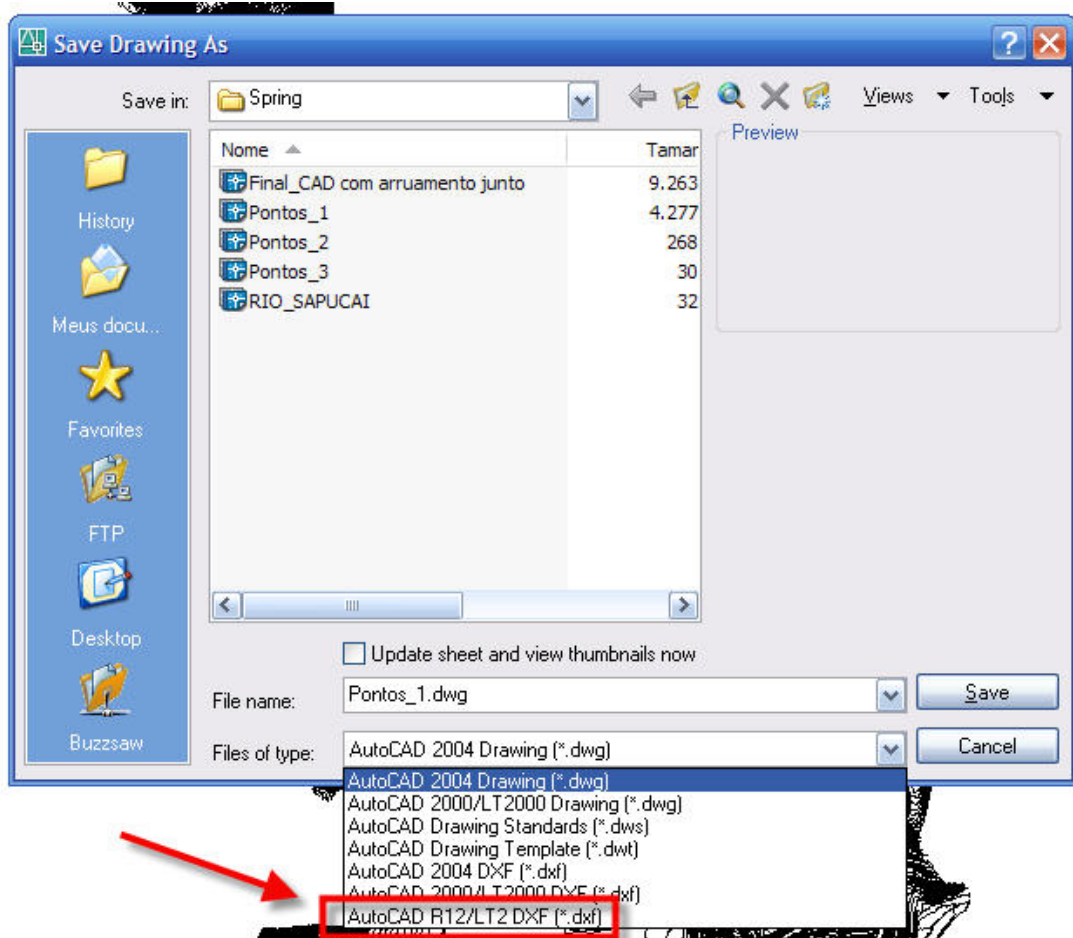


Figura A5.1: AutoCad 01a

Passo AutoCad 02a:

Verificar de quantos em quantos metros estão as curvas de nível. Dê preferência para os espaçamentos menores que 1m. Se não houver curvas de níveis verificar se existem cotas de terreno (x,y,z).

Passo AutoCad 03a:

Verificar a rede de drenagem: traçar se necessário uma nova linha contínua para representar os rios (Use o comando Polilyne).

Passo AutoCad 04a:

Verifique os “layers” correspondentes aos rios, curvas de nível, cotas, eles serão usados no SPRING.

Passo AutoCad 05a:

Salve o arquivo em formato DXF R12, caso o arquivo fique muito grande (por exemplo, 250 MB) pode-se dividir em dois ou mais arquivos. Porém isso irá requerer mais atenção no SPRING. Esse processo pode consumir um tempo considerável dependendo do tamanho do arquivo.

Passos para elaboração de uma mancha de inundação, utilizando a “Função Mancha de Inundação” do SPRING

São necessários 03 itens básicos para elaboração da mancha de inundação no SPRING, utilizando a função Mancha de Inundação:

- a) Grade Regular: trata-se da topografia ou relevo do terreno.
- b) Plano de informação (PI) da hidrografia.
- c) Arquivo do tipo .txt com os dados de cota de inundação e posição.

Os passos a serem seguidos no SPRING devem ser:

Passo Spring 01b: Criação de Banco de Dados.

Crie um banco de dados dando o nome que desejar e clique em ativar.

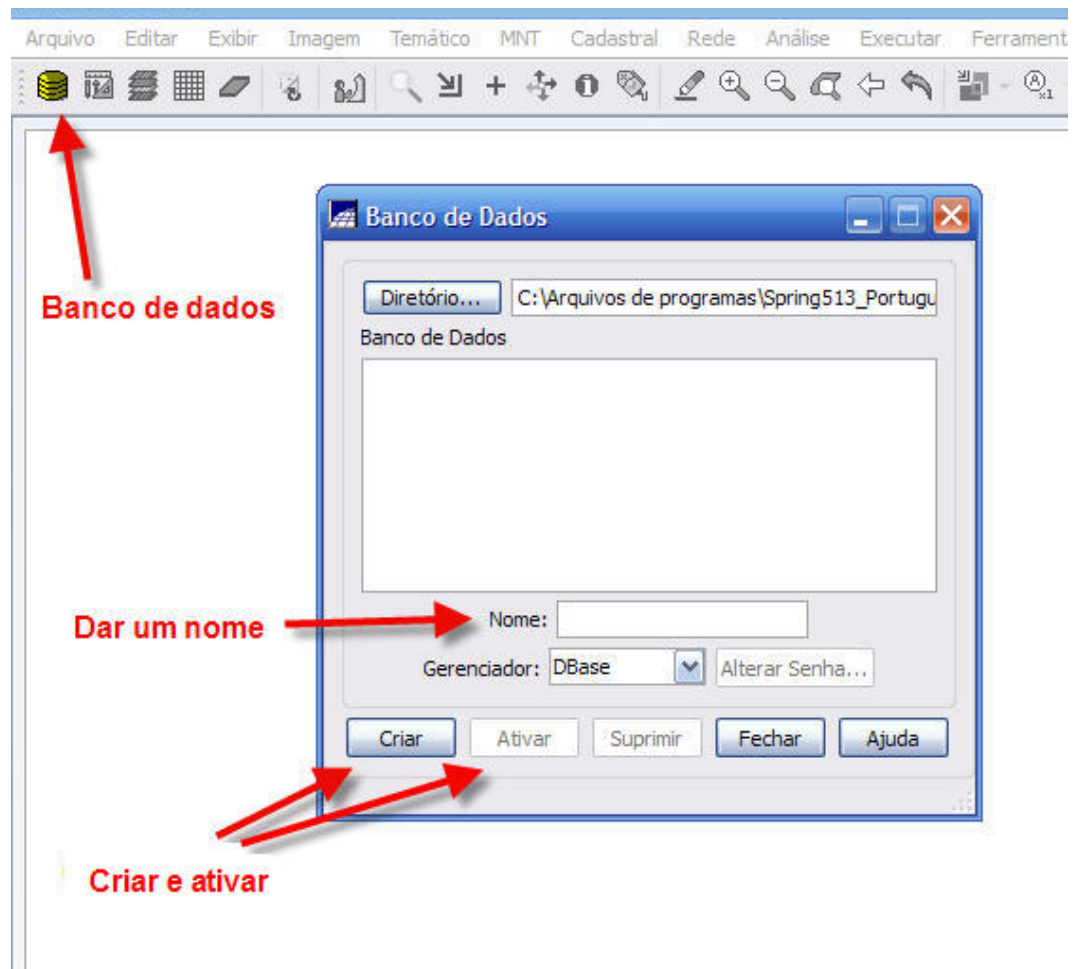


Figura A5.2: Spring 01b

Passo Spring 02b: Criação do Projeto

Defina a projeção a ser usada, em seguida de um nome e defina o “Retângulo Envolvente”, inserindo as coordenadas de projeto, entre com as coordenadas do canto inferior esquerdo e do canto superior direito, marque coordenadas planas e clique em ativar.

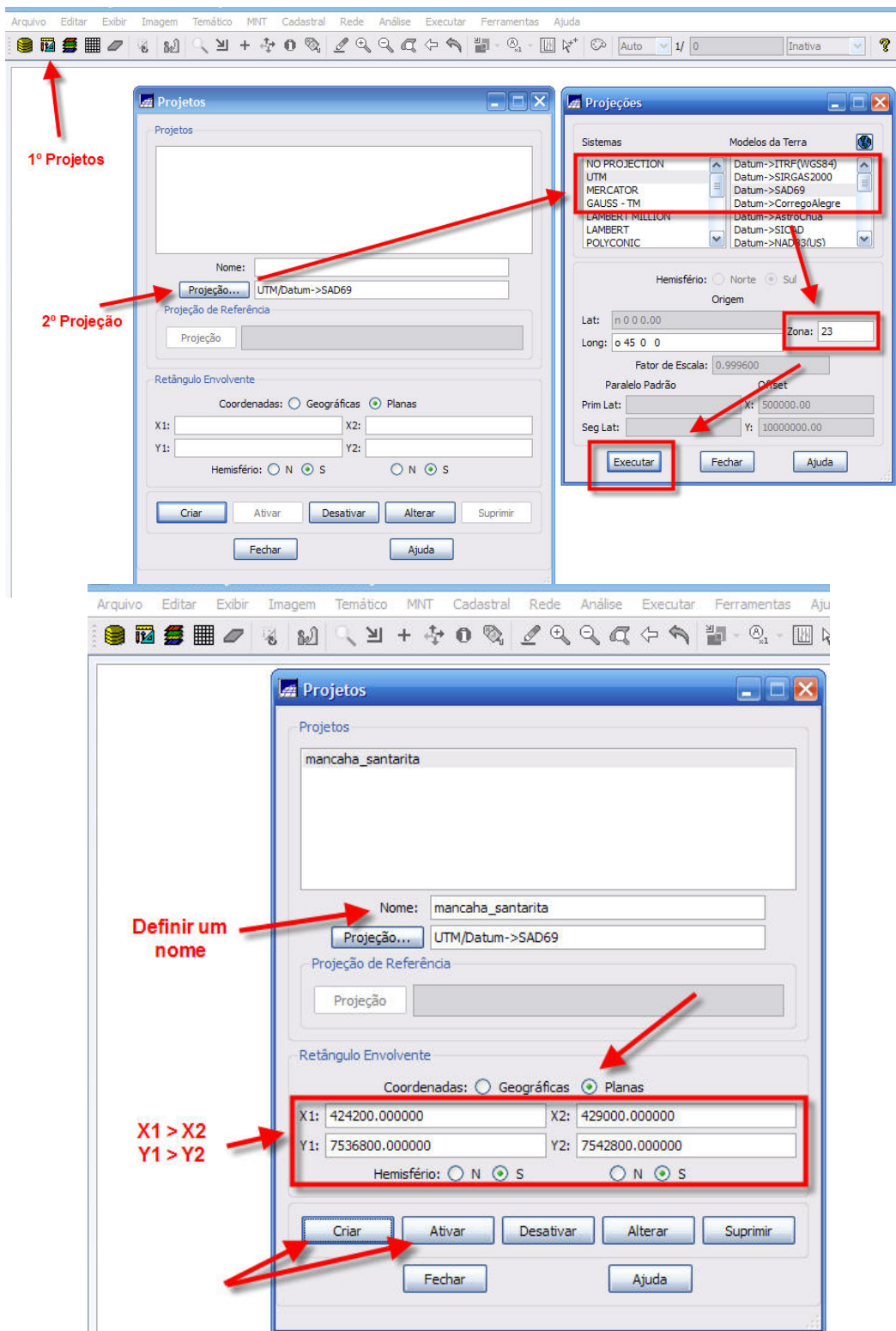


Figura A5.3: Spring 02b

Passo Spring 04b: Importação de arquivos com as curvas de nível

Vá no menu Arquivo e escolha a opção Importar. Escolha o diretório dos arquivos e formato: DXF/R12. Ficarà liberada uma opção para escolha do layer em layer DXF, escolha o correspondente às curvas de nível, mostrar conteúdo e executar.

Escolha Entidade a opção amostra (MNT), com Escala: 1/ 200 e Resolução: X:5 e Y:5. Verifique se a projeção e o retângulo envolvente são os definidos inicialmente.

Verifique o projeto e escolha a categoria altimetria, como plano de informação- PI, de saída nomeie como [topografia].

Clique em executar. Se seu trabalho estiver dividido em vários layers não esqueça de que a partir do segundo marcar a opção “mosaico”. Em seguida deverá aparecer na caixa de diálogo Painel de Controle a categoria e o PI criados. Mande então desenhar.

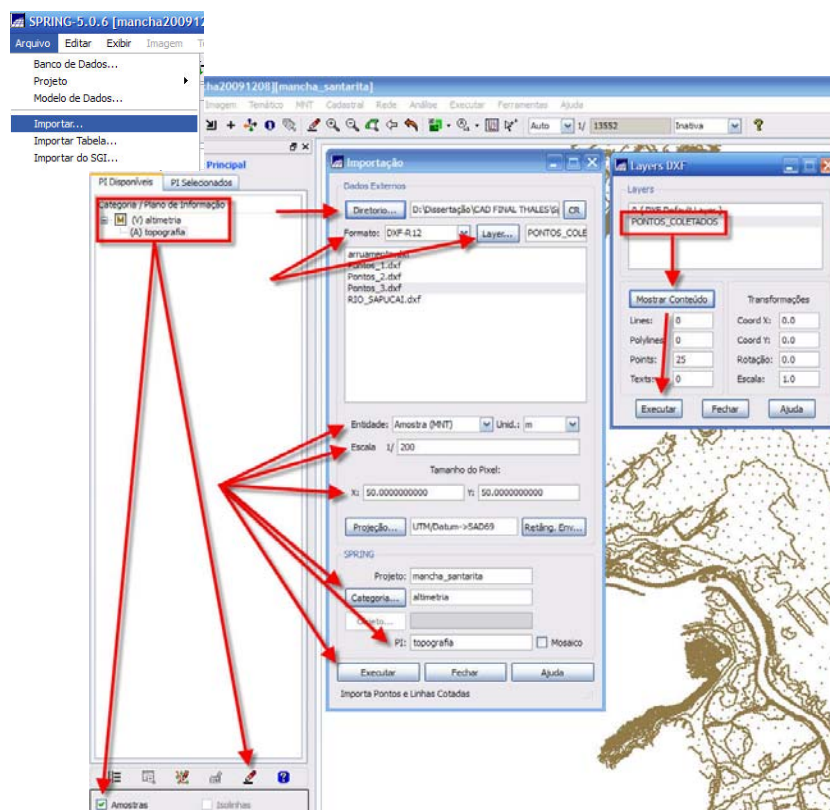


Figura A5.5: Spring 04b

Passo Spring 05b: Geração de Grade Regular

A opção no menu MNT deverá estar ativada, selecione-a e escolha a opção Geração de Grade Retangular. Uma caixa de diálogo será aberta. Então escolha amostra, dê um nome ao PI de saída, [topografia], verifique o retângulo envolvente e defina resolução 50 x 50. O interpolador pode ser média simples.

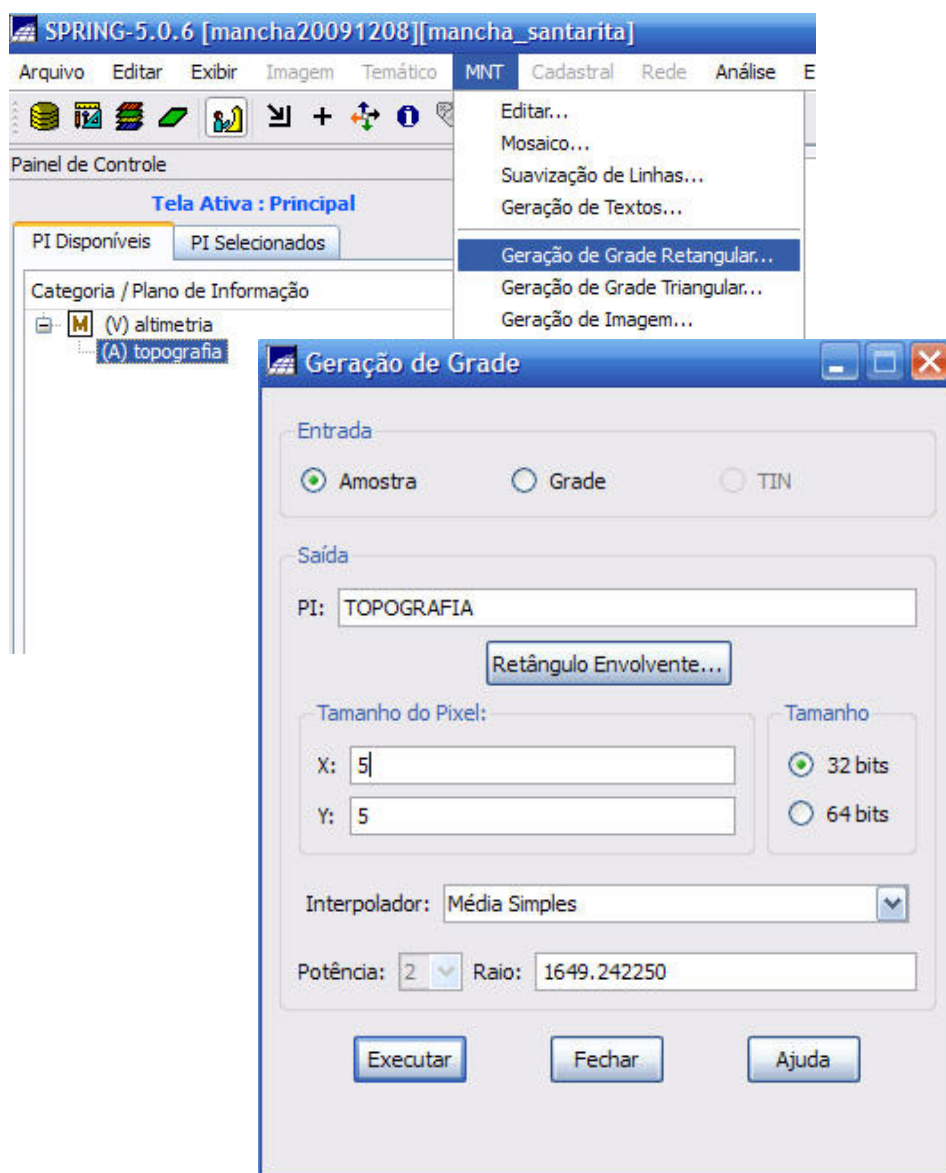


Figura A5.6: Spring 05b

Clique em executar. Em seguida deverá aparecer na caixa de diálogo Painel de Controle a categoria e o PI criados. Mande então desenhar.

Passo Spring 06b: Importação do arquivo com a rede de drenagem

Repita o passo 04, citado anteriormente, alterando o nome do layer para o do rio a ser inserido, e escolhendo como Entidade a opção linha sem ajuste.

Escolha a categoria drenagem e o PI de saída como RIO_NOME.

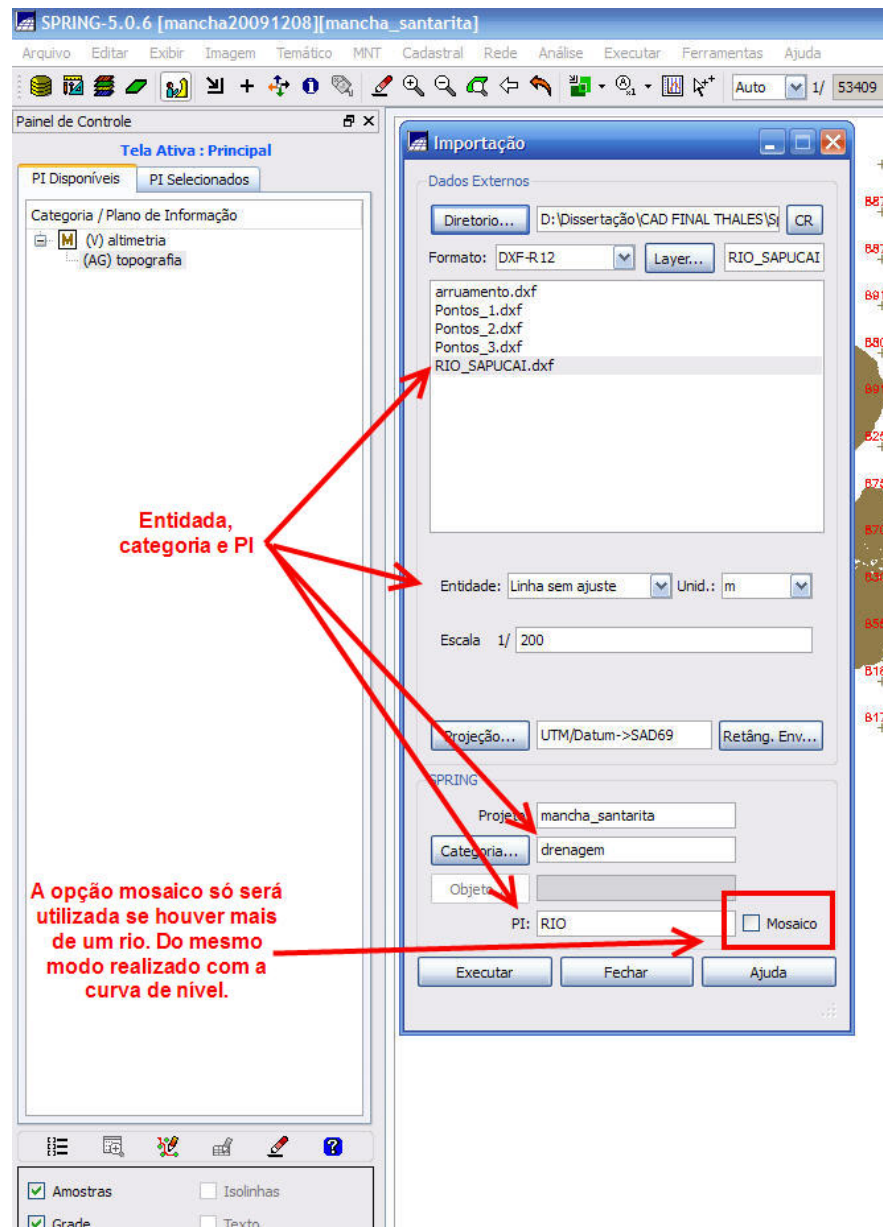


Figura A5.7: Spring 06b

Passo Spring 07b: Transformação dos rios em objetos

Clicar em cima de RIO na tela ativa para selecioná-lo. Vá ao menu Editar escolha a opção objeto. Para rótulo digite o nome do rio, selecione “nome = rótulo”, operação: “associar” e entidade: “linha”. Em seguida vá em atributos selecione RIO, digite o nome do rio igual ao anterior, selecione “texto” e clique em “CR” e em executar. Fecha a janela e em seguida clique na linha correspondente ao rio no desenho. Verifique se a linha virou objeto ativando o PI.

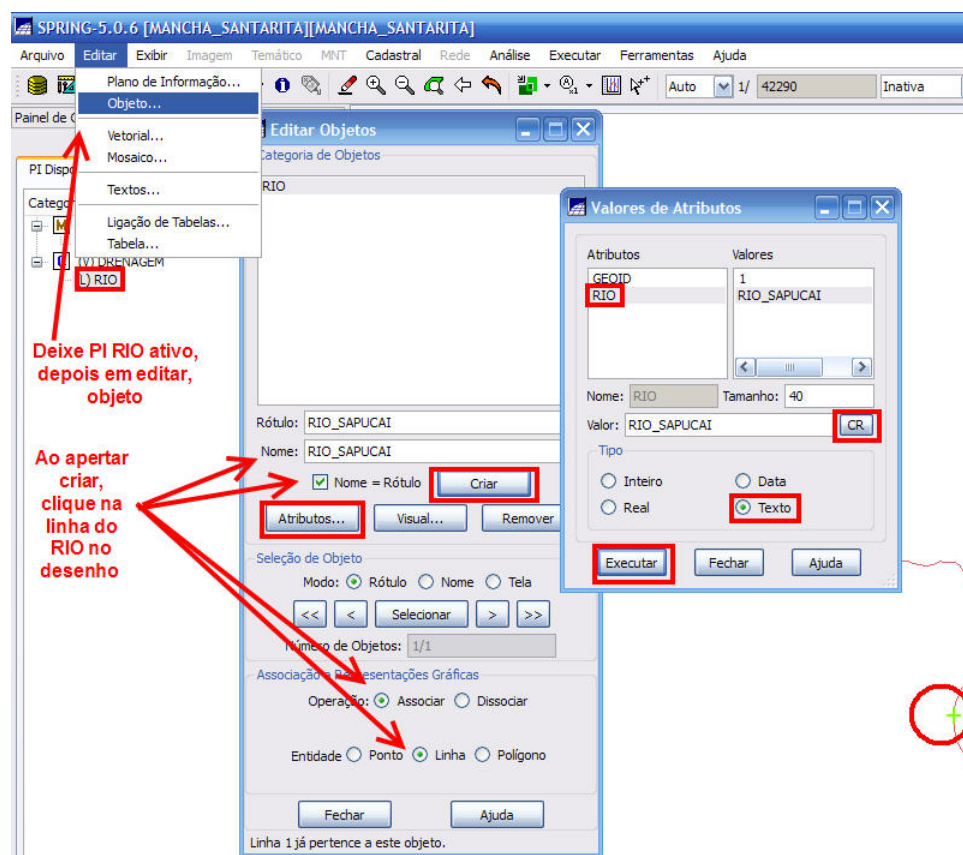


Figura A5.8: Spring 07b

Passo Spring 08b: Ajustando Objeto

Menu Cadastral → Edição Vetorial → Ícone “edição de linhas”

Tolerância 0,25

Logo em seguida,

→ Ícone “ferramentas” → ajustar

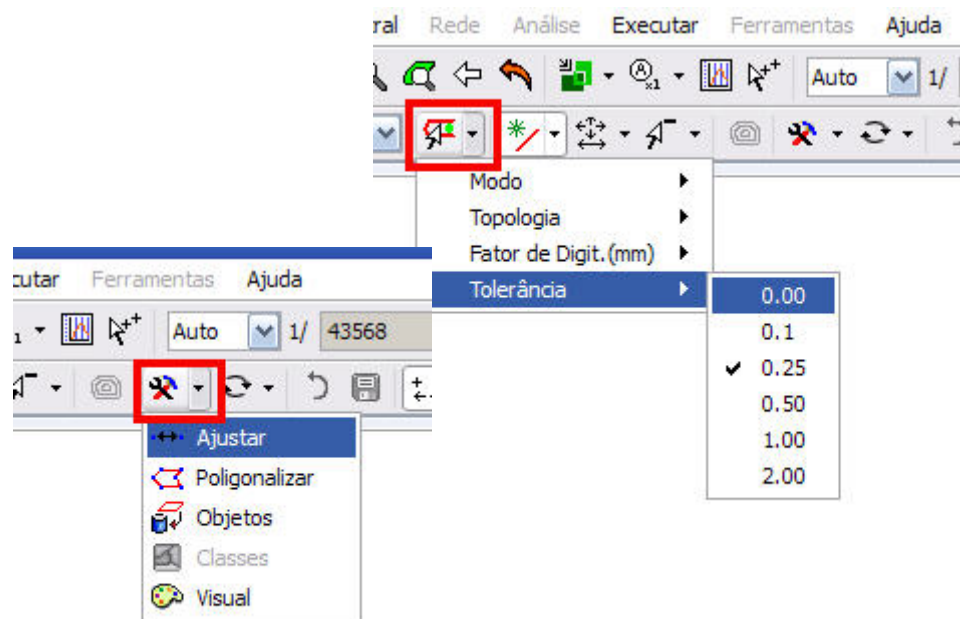


Figura A5.9: Spring 08b

Passo Spring 09b: Geração da Mancha de Inundação.

Vá ao menu MNT escolha a opção Processos Hidrológicos e Mancha de Inundação. Escolha a opção Grade, defina o PI de entrada do rio. Em cota de inundação escolha o arquivo do tipo texto que contenha as seguintes informações: nome do rio, distância do ponto até a jusante e a cota de inundação (exemplo no Anexo 03). Escolha a categoria de saída e o PI de saída. Para exportar vá em arquivos, exportar ou use o programa Scarta que é instalado junto com o Spring.

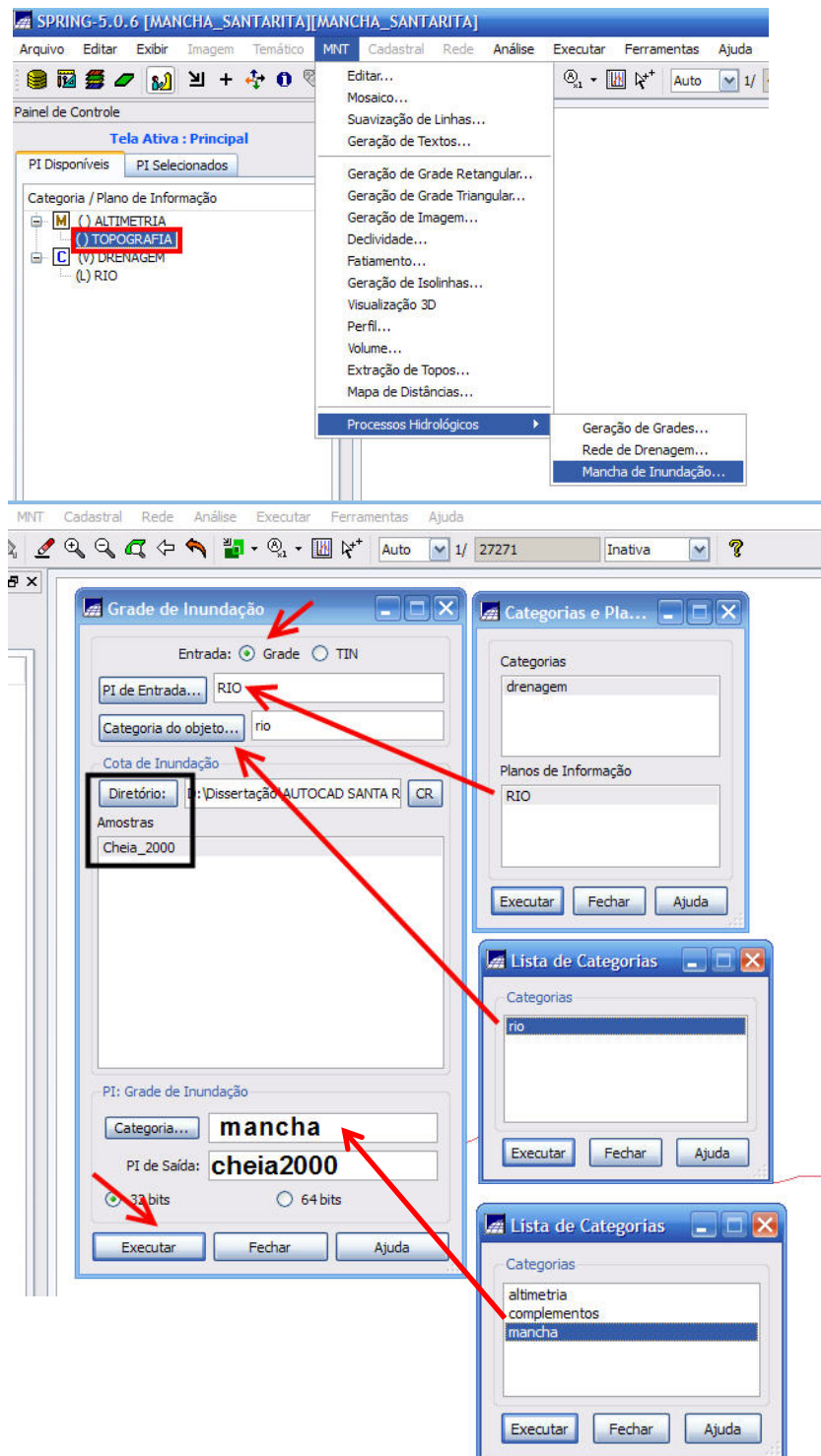


Figura A5.10: Spring 09b

Após gerar a mancha pelo spring, também podemos transportá-la para o AutoCad para melhorar a qualidade da imagem e assim a sua impressão. Seguindo um pequeno procedimento que é muito simples, vejamos:

Voltamos ao “**Passo spring 03b: Criação de categorias**” e criamos mais uma categoria “temático” e acrescentando em baixo uma classe temática com um nome qualquer. No exemplo foi utilizado “mancha_tematica”, não se esquecendo de criar e executar.

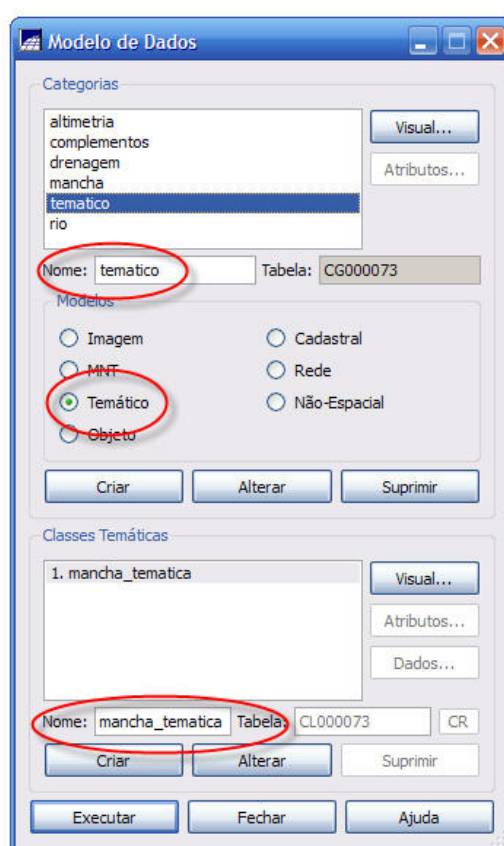


Figura A5.11: Spring 10b

Deixando a tela ativa principal em “mancha” para habilitar a opção MNT. Clicamos em MNT e depois em Fatiamento conforme mostra a figura abaixo.

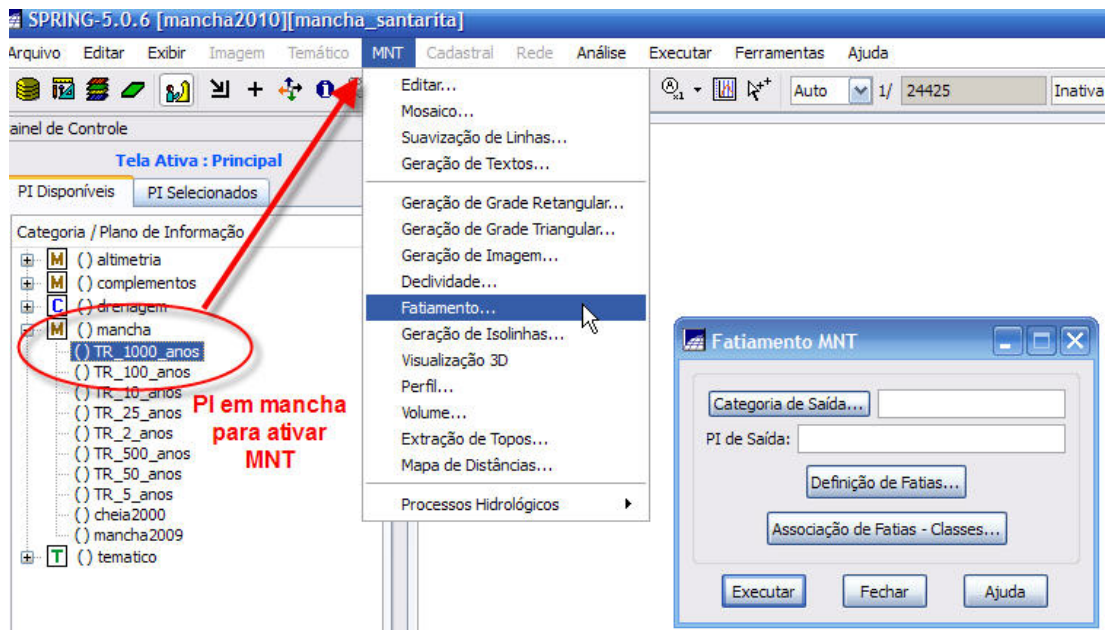


Figura A5.12: Spring 11b

Ao abrir “Fatiamento MNT” seguiremos o seguinte passo:

- 1º) Em categoria de Saída: escolhemos “temático”.
- 2º) PI de saída: escolhemos qualquer nome, aqui foi utilizado “mancha_tematica_cheia2009”.
- 3º) Definição de fatias: entramos com as cotas mínimas e máximas (geradas pelo Excel). O passo fica em “Fixo”, em inicial e final colocamos cota abaixo da cota mínima e superior a cota máxima, de preferência utilizar número inteiro múltiplo de 5. Inserir e executar. Ver exemplo utilizado na figura 4.13.

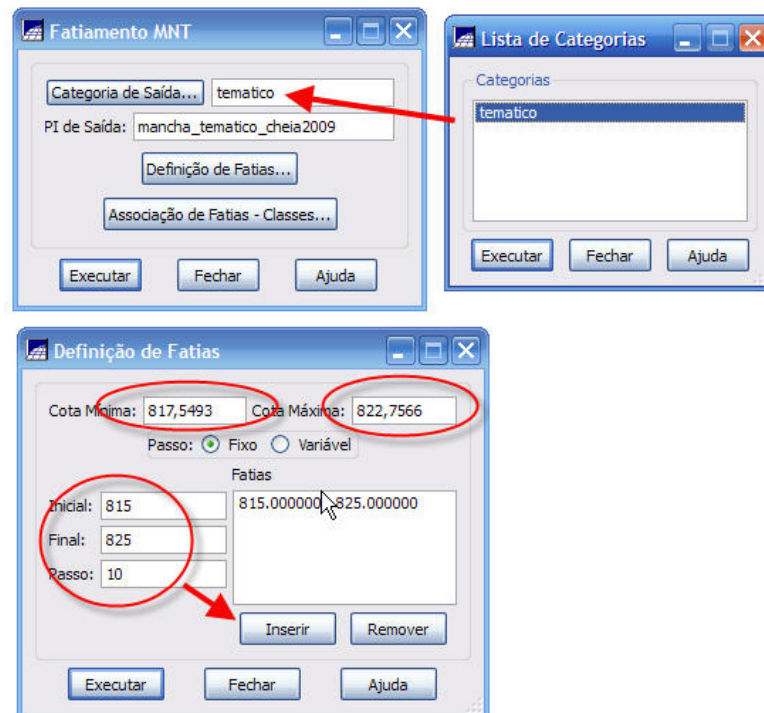


Figura A5.13: Spring 12b

Gerada a mancha temática ir à barra de ferramentas em “Temática” depois em “Matriz - Vetor”, não mudar nada e clicar em executar.

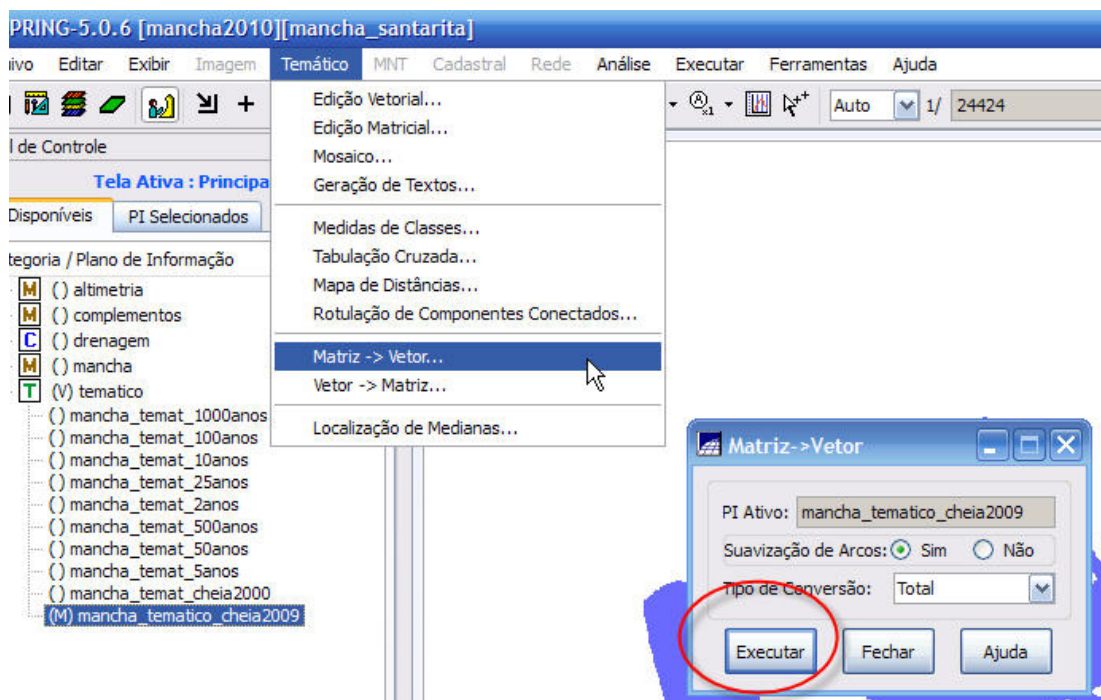


Figura A5.14: Spring 13b

Gerada a mancha agora vamos exportar para o AutoCad. Primeiro deixaremos só as linhas e classes marcadas. Em arquivos escolhemos a opção “Exportar”, e em seguida na caixa de diálogo que abrir em formato escolhemos a extensão do AutoCad “DXF-R12” e clicamos em salvar, figura 4.15.

Ao clicar em salvar o programa abre uma caixa para escolhermos um lugar para salvar o arquivo exportado. Escolhida a pasta o spring exportará dois arquivos um _L2D e o outro _LAB. Utilizaremos o _L2D para abri-lo no AutoCad, e pronto! Bom trabalho no AutoCad.

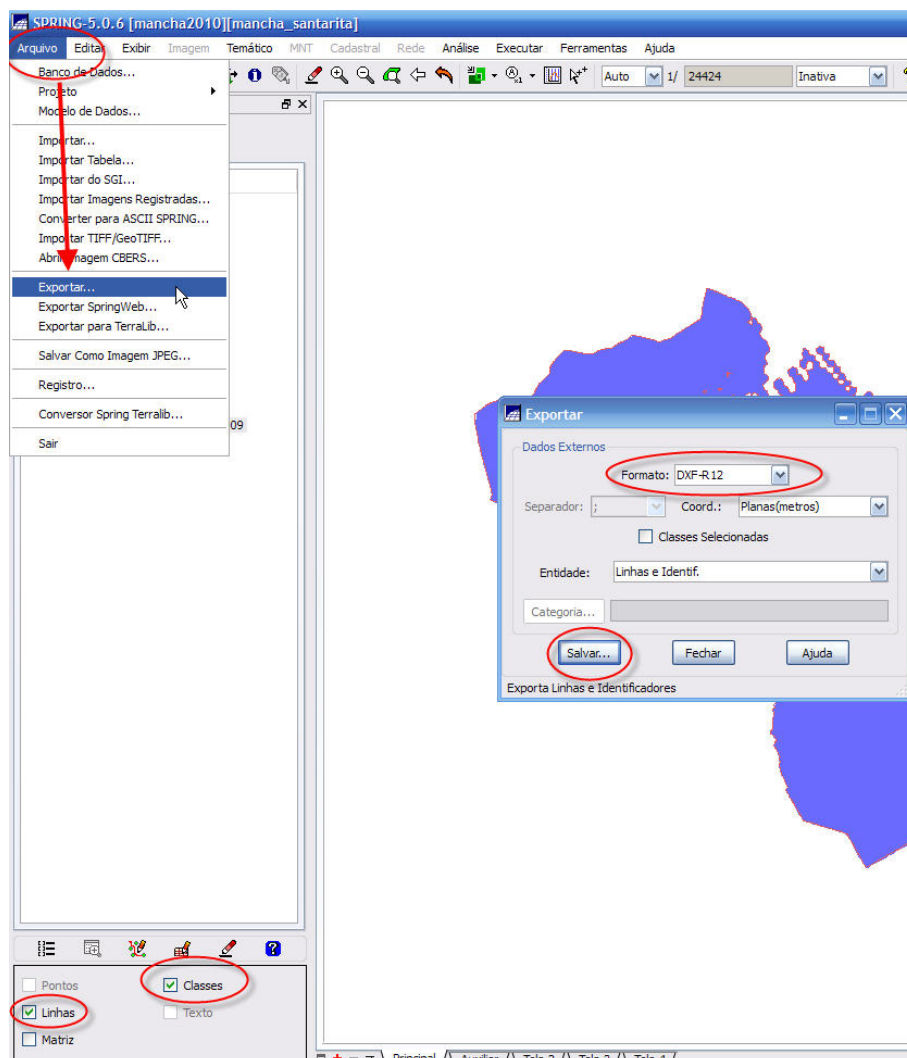


Figura A5.15: Spring 14b

ANEXO 05

A.5. Fotos do trabalho de campo em Santa Rita do Sapucaí/MG



Figura A6: Trabalho de campo



Figura A7: Trabalho de campo



Figura A8: Trabalho de campo



Figura A9: Trabalho de campo