



**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

***MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE À
INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
ARROIO DO SALSO, PORTO ALEGRE-RS***

LUÍS MARCELO MARTINS DE LIMA

ORIENTADORA: PROF.^a DR.^a NINA SIMONE V. M. FUJIMOTO

PORTO ALEGRE-RS, MARÇO DE 2010.

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

***MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE À
INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
ARROIO DO SALSO, PORTO ALEGRE-RS***

LUÍS MARCELO MARTINS DE LIMA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Nina Simone V. M. Fujimoto

Banca examinadora:

Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos (PPG/UFPR)

Prof. Dr. Luis Alberto Basso (PPG/UFRGS)

Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina (PPG/UFRGS)

**Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Geografia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como
requisito para obtenção do título de
Mestre em Geografia.**

PORTO ALEGRE-RS, MARÇO DE 2010.

Lima, Luís Marcelo Martins de
Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia
hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre-RS./ Luís Marcelo
Martins de Lima. – Porto Alegre : UFRGS/PPGEA, 2010.
174 f. il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande
do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em
Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2010.
Orientador: Prof.^a Dr.^a Nina Simone V. M. Fujimoto

1. Geografia. 2. Porto Alegre. 3. Arroio do Salso. 4.
Mapeamento. 5. Inundação. 6. Urbanização. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grun CRB 10/1113



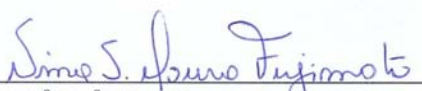
FOLHA DE APROVAÇÃO

*MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO,
PORTO ALEGRE-RS*

LUÍS MARCELO MARTINS DE LIMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

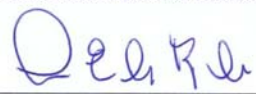
ORIENTADORA:


Prof.^a Dr.^a Nina Simone V. M. Fujimoto

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos (PPG/UFPR)


Prof. Dr. Luís Alberto Basso (PPG/UFRGS)


Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina (PPG/UFRGS)

DATA DE APROVAÇÃO: 11/05/2010

Dedico este trabalho a Sandra Kunz,
pelo seu valioso companheirismo
nestes 25 meses de conjunta e
gratificante jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia, por esta imperdível oportunidade de pesquisa e de intensa aprendizagem. Principalmente, fico muito grato pela orientação da Professora Nina Fujimoto que, com seu espírito sempre crítico e técnico, contribuiu para a busca do melhor resultado possível.

Ficam também meus agradecimentos à Secretaria do Planejamento Municipal, na pessoa do Engenheiro Civil Ben-Hur Rafael Deporte Costa, pela cedência de parte do material cartográfico. Da mesma forma, muito contribuiu a sempre atenciosa resposta do Professor Henrique Hasenack, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS. Imprescindíveis foram as informações prestadas pelo Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, na pessoa da sempre gentil Engenheira Civil Magda Vânia Corrêa Carmona e dos servidores Valmor Luiz Griebler e Natália Vastuk, ambos lotados na Seção Sul de Conservação e a quem agradeço.

Ficam também meus agradecimentos à Defesa Civil do Rio Grande do Sul, na pessoa do seu Chefe de Gabinete, Waldemar Pasteur Martins Pinheiro, pela valiosa atenção no fornecimento dos dados de ocorrências de inundações.

Por fim, mais do que um agradecimento, fica um grande abraço para todos os colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, tendo sido um grande prazer desfrutar de suas companhias nas aulas e fora do âmbito acadêmico.

“Quando passares pelas águas estarei contigo, e quando pelos rios, eles não te submergirão [...]”. (Bíblia Sagrada, Livro de Isaías, cap. 43, vers. 2)

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo principal o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, em vista da acelerada ocupação que vem se processando nos últimos anos e diante de uma perspectiva de urbanização cada vez mais intensa em curto e em médio prazos. Esta bacia, que é a maior do município, está localizada na zona sul de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul, e atualmente constitui-se em uma nova “fronteira” de avanço da ocupação, inclusive irregular. O município tem um conhecido histórico de inundações, devido, entre outras causas, à existência de quase um terço de terras no mesmo nível dos rios, à riqueza hídrica da Região Hidrográfica do Guaíba e às características climáticas atuantes no Estado do Rio Grande do Sul – aliadas a um intenso processo de urbanização, que altera intensamente a dinâmica natural da drenagem. Embora as inundações sejam fenômenos cíclicos e naturais, testemunhos da dinâmica do ambiente que nos envolve, podem ser potencializadas pela ação do homem, o que justifica a busca da minimização de suas consequências por meio, sobretudo, da regulação da ocupação do espaço. Visando o reconhecimento dos condicionantes destes eventos, foi utilizada uma metodologia geográfica de pesquisa integrada, com a visão sistêmica proporcionada pela escolha da bacia hidrográfica como unidade de análise. A análise ambiental foi executada com ênfase geomorfológica, englobando os múltiplos fatores - naturais e antrópicos - que contribuem para a conformação da realidade local, sempre na perspectiva de um processo dinâmico e permanentemente ativo. Foram pesquisados os eventos de inundações na bacia, os padrões de precipitação local, a resposta de uma seção transversal do Arroio do Salso às chuvas intensas, as características geomorfológicas, geológicas e pedológicas da bacia e o uso e ocupação do solo. Os dados obtidos, incluindo as observações de campo, foram analisados e sintetizados graficamente em forma de mapas e a pesquisa demonstrou que há uma grande área suscetível a eventos de transbordamento do Arroio do Salso, ocorrendo frequentes prejuízos e transtornos às populações carentes do entorno. Foi possível demonstrar que a bacia apresenta características naturais que a tornam muito suscetível à inundação – o que é potencializado pela ação humana, que causa o aumento da vazão de pico, o estrangulamento da drenagem e o assoreamento dos canais. Associando-se, principalmente, as áreas de baixas declividades com solos de pequena capacidade de drenagem, foi possível identificar as áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundação na bacia, bem como os pontos em que a ação humana intensifica esta suscetibilidade natural. A experiência da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso demonstra claramente que a urbanização intensa, sobretudo quando não é planejada para minimizar os impactos ambientais, pode resultar em grandes alterações na dinâmica hídrica natural. Como o próprio homem acaba por ser o maior prejudicado, a delimitação de áreas de ocupação previne estes riscos - e o mapeamento é um instrumento fundamental neste processo.

Palavras-chave: *Porto Alegre. Arroio do Salso. Mapeamento. Inundação. Urbanização.*

ABSTRACT

This research was aimed at mapping areas susceptible to flooding in the hydrographic basin of the Arroyo Salso in view of the rapid occupation that have been occurring in recent years and facing the prospect of urbanization increasingly intense in short and medium period of time. This basin, which is the largest of the city, nowadays, is a new "frontier" in advance of occupation, inclusively irregular. The city has a known history of flooding due to, among other reasons, the existence of almost one third of the lands in the same level of the rivers, the hydric wealth of the Guaíba Hydrographic region and climatic features operating in the State of Rio Grande do Sul - associated with an intense process of urbanization, which strongly changes the dynamics of natural drainage. Although floods are natural cyclic phenomena and as testimony of the dynamic environment that surrounds us, can be leveraged by man, which justifies the search for minimizing the consequences through, especially, the regulation of the use of space. For recognition of conditions of these events, we used a methodology geographical research integrated with the systems view provided by the choice of the basin as the unit of analysis. The environmental analysis was performed with emphasis on geomorphology, encompassing many factors - natural and man-made - that contribute to the shaping of local circumstances, bearing in mind that a dynamic and constantly active. We examined the flood events in the basin, the patterns of local precipitation, the response of a cross section of the Salso to heavy rain, the geomorphological characteristics, geological and soil basin and the use and occupation of land. The data obtained, including field observations, were analyzed and summarized graphically in the form of maps and the research has shown that there is a large area subject to flooding events of the Arroyo Salso occurring often damages and troubles to needy populations of the surroundings. It was possible to show that the basin has natural features that make it very susceptible to flooding - which is aggravated by human action, which causes an increase in peak discharge, the bottleneck in the drainage and siltation of the channels. Joining, mainly, the areas of lower slopes with little soil drainage capacity, it was possible to identify the areas at highest risk of flooding in the basin, as well as the points where human action intensifies this natural susceptibility. The experience of hydrographic basin of the Arroyo Salso clearly demonstrates that intensive urbanization, especially when it is not planned to minimize environmental impacts, can result in great changes in the natural hydric dynamics. As the man turns out to be the most affected, the delimitation of areas of occupation prevents these risks - and the mapping is a key tool in this process.

Keywords: *Porto Alegre. Arroyo Salso. Mapping. Flood. Urbanization.*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 01: Hidrograma pré e pós-urbanização..... | 26 |
| Figura 02: Tipos de leito e ocupação ribeirinha..... | 27 |
| Figura 03: Estágios de urbanização de uma bacia..... | 29 |
| Figura 04: Manifestação pública em Santa Fe/Argentina..... | 30 |
| Figura 05: Inundação em Porto Alegre (1941)..... | 33 |
| Figura 06: Inundação em Porto Alegre (1967)..... | 33 |
| Figura 07: Arroio do Salso (ponte na av. Juca Batista - 04/05/2009 e 12/09/2009)..... | 35 |
| Figura 08: Arroio do Salso (ponte na Av. da Serraria - 04/05/2009 e 12/09/2009)..... | 35 |
| Figura 09: Inundação no Túnel Verde (12/09/2009)..... | 36 |
| Figura 10: Inundação no Túnel Verde (27/09/2009)..... | 37 |
| Figura 11: Inundação no Túnel Verde (28/09/2009)..... | 37 |
| Figura 12: Inundação no Túnel Verde (28/09/2009)..... | 38 |
| Figura 13: Inundação no Túnel Verde (28/09/2009)..... | 38 |
| Figura 14: Assoreamento no Arroio do Salso (04/05/2009)..... | 39 |
| Figura 15: Dragagem do Arroio do Salso (04/05/2009)..... | 40 |
| Figura 16: Localização da área de estudo..... | 43 |
| Figura 17: Macrozonas de Porto Alegre..... | 45 |
| Figura 18: Mancha de ocupação em Porto Alegre..... | 48 |
| Figura 19: Interação entre natureza e sociedade..... | 57 |
| Figura 20: Representação holística..... | 58 |
| Figura 21: Fluxograma dos procedimentos técnicos..... | 68 |
| Figura 22: Hietograma de projeto para as bacias a montante do CTE Serraria..... | 77 |
| Figura 23: Rede de monitoramento do Metroclima..... | 78 |
| Figura 24: Localização do 8.º Disme e dos pluviômetros 8, 9 e 10 do Metroclima..... | 80 |
| Figura 25: Mapa Geológico de Porto Alegre..... | 85 |
| Figura 26: Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 88 |
| Figura 27: Mapa de vegetação e uso do solo na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 97 |
| Figura 28: Mapa do potencial de escoamento superficial..... | 99 |
| Figura 29: Mapa Geomorfológico de Porto Alegre..... | 103 |
| Figura 30: Arranjo da rede de drenagem..... | 107 |

| | |
|---|-----|
| Figura 31: Cálculo da sinuosidade do canal..... | 109 |
| Figura 32: Representação da forma da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 112 |
| Figura 33: Ocupação e principais obras na drenagem ao longo do Arroio do Salso..... | 113 |
| Figura 34: Ponte na Avenida da Serraria..... | 114 |
| Figura 35: Esquemática da ponte na Avenida da Serraria..... | 115 |
| Figura 36: Detalhe da ponte na Avenida da Serraria..... | 115 |
| Figura 37: Extravasamento do Arroio do Salso..... | 116 |
| Figura 38: Extravasamento do Arroio do Salso (detalhe)..... | 116 |
| Figura 39: Ponte na avenida Juca Batista (Detalhe)..... | 117 |
| Figura 40: Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 118 |
| Figura 41: Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 119 |
| Figura 42: Modelo tridimensional da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 121 |
| Figura 43: Modelo de ponteira para coleta de dados..... | 122 |
| Figura 44: Pontos de sondagem na seção transversal..... | 123 |
| Figura 45: Variações de perfil e métodos de cálculo de área..... | 124 |
| Figura 46: Esquema de coleta de dados na seção transversal..... | 133 |
| Figura 47: Variações do Arroio do Salso – ponte na Av. Juca Batista..... | 137 |
| Figura 48: Variações do Arroio do Salso – ponte na Av. da Serraria..... | 138 |
| Figura 49: Medição do limite de capacidade do canal..... | 140 |
| Figura 50: Isoetas dos totais anuais de precipitação na Região Sul do Brasil..... | 142 |
| Figura 51: Limites das áreas inundáveis pelo lago Guaíba..... | 144 |
| Figura 52: Áreas inundáveis pelo lago Guaíba (detalhe)..... | 145 |
| Figura 53 Planos temáticos para análise da suscetibilidade..... | 146 |
| Figura 54 Planos temáticos de influência antrópica..... | 147 |
| Figura 55: Áreas com baixo gradiente topográfico em relação à drenagem principal..... | 151 |
| Figura 56: Mapa das áreas suscetíveis à inundação na bacia do Arroio do Salso..... | 154 |
| Figura 57: Vista do bairro Restinga e de seu entorno..... | 156 |
| Figura 58: Ocupações na rua Dorival Castilho Machado e no Túnel Verde..... | 157 |
| Figura 59: Inundação na rua Dorival Castilho Machado..... | 158 |
| Figura 60: Residência próxima ao Arroio do Salso..... | 158 |
| Figura 61: Residência na rua Dorival Castilho Machado..... | 159 |
| Figura 62: Vista da porção final da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 160 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 01: Cotas excepcionais do lago Guaíba..... | 31 |
| Gráfico 02: Evolução da população urbana e rural no Rio Grande do Sul..... | 52 |
| Gráfico 03: Balanço hídrico de Porto Alegre (1961-1990)..... | 75 |
| Gráfico 04: Distribuição dos eventos de precipitação (1970-1999)..... | 75 |
| Gráfico 05: Médias de precipitação mensal em Porto Alegre (2004-2008)..... | 76 |
| Gráfico 06: Precipitações mensais em Porto Alegre (2008)..... | 79 |
| Gráfico 07: Precipitações totais em Porto Alegre (2008)..... | 79 |
| Gráfico 08: Comparativo dos índices de precipitação diária em Porto Alegre..... | 81 |
| Gráfico 09: Distribuições dos índices de precipitação acumulada..... | 82 |
| Gráfico 10: Perfil longitudinal do Arroio do Salso..... | 120 |
| Gráfico 11: Declividade do Arroio do Salso..... | 120 |
| Gráfico 12: Perfil da seção transversal em 05/05/2009..... | 123 |
| Gráfico 13: Sequência de precipitação de 28/08/2005 a 02/09/2005 | 127 |
| Gráfico 14: Sequência de precipitação de 30/05/2006 a 01/06/2006 | 128 |
| Gráfico 15: Sequência de precipitação de 08 a 16/06/2007..... | 128 |
| Gráfico 16: Sequência de precipitação de 21 a 24/09/2007..... | 129 |
| Gráfico 17: Sequência de precipitação de 02 a 08/05/2008..... | 129 |
| Gráfico 18: Sequência de precipitação de 08 a 11/08/2009..... | 130 |
| Gráfico 19: Sequência de precipitação de 07 a 14/09/2009..... | 130 |
| Gráfico 20: Sequência de precipitação de 26 a 28/09/2009..... | 131 |
| Gráfico 21: Precipitações diárias das sequências selecionadas..... | 131 |
| Gráfico 22: Comparação dos resultados de quatro eventos..... | 135 |
| Gráfico 23: Cotas do lago Guaíba e eventos de precipitação em Porto Alegre (2007)..... | 143 |
| Gráfico 24: Histograma da declividade..... | 149 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 01: Eventos de inundações em Porto Alegre..... | 32 |
| Quadro 02: Evolução da população urbana e rural no Brasil..... | 51 |
| Quadro 03: Evolução da população de Porto Alegre..... | 53 |
| Quadro 04: Níveis de classificação geomorfológica..... | 70 |
| Quadro 05: Padrões temporais de precipitação..... | 76 |
| Quadro 06: Descrição das associações de solos..... | 89 |
| Quadro 07: Unidades taxonômicas de solos..... | 90 |
| Quadro 08: Classes de capacidade de drenagem..... | 91 |
| Quadro 09: Resposta de diferentes pavimentos à precipitação simulada..... | 95 |
| Quadro 10: Categorias de uso do solo e vegetação na área de estudo..... | 96 |
| Quadro 11: Morros de maior altitude de Porto Alegre..... | 102 |
| Quadro 12: Padrões geomorfológicos da área de estudo..... | 103 |
| Quadro 13: Medidas morfométricas na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 110 |
| Quadro 14: Eventos de precipitação para análise..... | 126 |
| Quadro 15: Medições efetuadas na seção transversal..... | 134 |
| Quadro 16: Elementos para identificação da suscetibilidade e fatores intensificadores..... | 148 |
| Quadro 17: Classes de declividade para análise..... | 149 |
| Quadro 18: Classes de suscetibilidade à inundação..... | 152 |

LISTA DE ABREVIATURAS

8.^o DISME – Oitavo Distrito de Meteorologia

DEP – Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre

PNDC – Política Nacional de Defesa Civil

SNDC – Secretaria Nacional de Defesa Civil

SPH – Superintendência de Portos e Hidrovias

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. O TEMA DA PESQUISA..... | 16 |
| 1.1 Homem e (ou <i>versus</i> ?) natureza..... | 16 |
| 1.2 Apropriação do espaço e urbanização..... | 17 |
| 1.3 Urbanização e problemas ambientais..... | 18 |
| 1.4 A problemática das inundações urbanas..... | 20 |
| 1.4.1 Definições conceituais..... | 20 |
| 1.4.1.1 Cheia, enchente e inundação..... | 20 |
| 1.4.1.2 Risco..... | 21 |
| 1.4.1.3 Desastre e dano..... | 22 |
| 1.4.1.4 Suscetibilidade..... | 22 |
| 1.4.1.5 Vulnerabilidade..... | 23 |
| 1.4.1.6 Sistemas de drenagem..... | 24 |
| 1.4.1.7 Probabilidade e tempo de retorno..... | 25 |
| 1.4.2 Causas e consequências das inundações..... | 25 |
| 1.4.3 Ocorrências de inundações em Porto Alegre..... | 31 |
| 1.4.4 Eventos na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 34 |
| 1.5 Relevância da pesquisa..... | 40 |
| 2. OBJETIVOS DA PESQUISA..... | 42 |
| 3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 43 |
| 3.1 Localização e contextualização urbana..... | 43 |
| 3.2 Ocupação da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso..... | 47 |
| 3.3 Do nacional ao local: o fenômeno da urbanização..... | 50 |
| 4. PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS..... | 55 |
| 4.1 Compreensão holística..... | 56 |
| 4.2 Abordagem geomorfológica..... | 58 |
| 4.3 Bacia hidrográfica como escala de análise..... | 59 |
| 4.4 Valorização dos processos..... | 61 |
| 5. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS..... | 62 |
| 5.1 Levantamento de dados e de materiais..... | 62 |
| 5.2 Análise e produção cartográfica..... | 63 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.1 Geologia..... | 63 |
| 5.2.2 Solos..... | 63 |
| 5.2.3 Ocupação e uso do solo..... | 64 |
| 5.2.4 Geomorfologia..... | 64 |
| 5.2.5 Drenagem e escoamento superficial..... | 64 |
| 5.2.6 Declividade e hipsometria..... | 65 |
| 5.2.7 Áreas suscetíveis à inundação..... | 65 |
| 5.3. Levantamentos de campo..... | 66 |
| 5.4 Análise ambiental com ênfase geomorfológica..... | 67 |
| 6. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO..... | 72 |
| 6.1 Clima e caracterização do regime pluviométrico..... | 72 |
| 6.1.1 Caracterização climática regional..... | 72 |
| 6.1.2 Variabilidade temporal da precipitação em Porto Alegre..... | 74 |
| 6.1.3 Variabilidade espacial das chuvas em Porto Alegre..... | 78 |
| 6.1.4 Precipitações diárias e séries acumuladas..... | 81 |
| 6.2 Geologia: a estrutura da bacia e seu contexto regional..... | 83 |
| 6.3 Os tipos de solos da bacia e sua influência no escoamento superficial..... | 86 |
| 6.4 Uso do solo e importância da cobertura vegetal..... | 92 |
| 6.5 Geomorfologia e sua importância na análise da dinâmica hídrica..... | 100 |
| 6.6 Caracterização geral e morfométrica da bacia e da rede de drenagem..... | 107 |
| 6.6.1 Arranjo da rede de drenagem..... | 107 |
| 6.6.2 Morfometria da bacia e da rede de drenagem..... | 109 |
| 6.6.3 Elementos artificiais implantados na drenagem..... | 112 |
| 6.7. Declividade e hipsometria da bacia e perfil longitudinal do Arroio do Salso..... | 117 |
| 6.8 Perfil de uma seção transversal do Arroio do Salso..... | 122 |
| 6.9 Comportamento da drenagem frente a precipitações..... | 125 |
| 7. MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO..... | 141 |
| 7.1 O caso do lago Guaíba | 141 |
| 7.2 Correlação de dados e classes de suscetibilidade..... | 145 |
| 7.3 Mapeamento da suscetibilidade à inundação..... | 153 |
| 8. CONCLUSÕES..... | 161 |
| 9. REFERÊNCIAS..... | 164 |

1 O TEMA DA PESQUISA

1.1 HOMEM E (OU *VERSUS* ?) NATUREZA

Há milênios, estudiosos e pensadores dos mais diversos ramos das ciências e de diferentes correntes religiosas questionam o papel do homem no contexto da natureza. Principalmente após a publicação de *A Origem das Espécies*, em 1859, de autoria do naturalista britânico Charles Darwin, as ciências biológicas passaram a qualificar o homem como um “produto bem sucedido” de um longo e aleatório processo evolutivo. Neste viés de pensamento, o homem seria somente um animal a mais na natureza; entretanto, por ter desenvolvido uma inteligência superior, compensaria seus reduzidos atributos físicos com o aprimoramento de técnicas de dominação do ambiente que o cercava.

Em sentido bem diverso, sob uma perspectiva religiosa, o Judaísmo e o Cristianismo situam o homem em uma situação *sobrenatural* na sua relação com a obra criada. Há milênios, já perguntava o Salmista ao Criador:

“[...] que é o homem mortal para que te lembres dele? [...] Contudo, pouco menor o fizeste do que os anjos, e de glória e de honra o coroaste [...] Fazes com que ele tenha domínio sobre as obras das tuas mãos; **tudo puseste debaixo de seus pés.**” (Livro dos Salmos, cap. 8, vers. 4-6, grifado).

Independentemente das convicções de cada indivíduo quanto às razões desta supremacia do homem sobre o seu ambiente, não há como negar que nossa espécie sempre procurou - e conseguiu - alterar o meio em que vive, buscando principalmente segurança e conforto e movido por uma inesgotável curiosidade. Enquanto a humanidade não dispunha de artificios que permitissem a alteração mais efetiva do seu ambiente, havia como se falar em “equilíbrio” nesta relação entre o homem e a natureza. Mas com o desenvolvimento de técnicas cada vez mais agressivas para o meio ambiente - surgidas principalmente após a Revolução Industrial do século XVIII - concomitantemente com a elevação da expectativa de vida, o homem passou a ser o que Ross (1992) qualifica como “o maior predador da natureza”.

A respeito da sociedade industrial, Mais (1999) sintetiza algumas características desta nova era da humanidade, entre as quais a “difusão da idéia de que o homem, em conflito com a natureza, deve conhecê-la e dominá-la”. Ross (1992) também destaca esta capacidade do homem de dominar o meio natural, afirmando que chega a haver uma verdadeira “contradição entre a natureza e as sociedades humanas” - contradição esta cada vez mais potencializada pelo crescimento demográfico e pelo progresso do conhecimento tecnológico.

Como resultado de todo este processo de apropriação do espaço e alteração da natureza, intensificado nos últimos séculos da história da humanidade, atualmente habitamos um planeta degradado, que segue em um caminho aparentemente inexorável de exaustão de seus recursos naturais e de disseminação da poluição, com uma estrutura social e econômica que não consegue propiciar a todos os benefícios da tecnificação. Santos (2001), referindo-se ao final do século XX, lucidamente qualifica o estilo de desenvolvimento dominante como “ecologicamente predatório, socialmente perverso e politicamente injusto”. E este descaso com a natureza resulta em prejuízos para o próprio homem, incluindo a potencialização das inundações, um problema comum no meio urbano e que afeta principalmente as populações mais vulneráveis.

1.2 APROPRIAÇÃO DO ESPAÇO E URBANIZAÇÃO

A maior vergonha é supor que uma classe social seja naturalmente inimiga da outra; quase como se a natureza tivesse feito os ricos e os proletários para que lutassem entre si em um duelo implacável, coisa tão contrária à razão e à verdade.
(Encíclica *Rerum Novarum* de Leão XIII, 1891, *apud* MASI, 1999)

Seja em uma hipotética condição de ser harmônico com a natureza ou, de forma mais realista, na condição de predador da mesma, o homem sempre necessitou de espaço e de recursos para garantir a disseminação de sua espécie de forma segura e com uma permanente agregação de conforto. E, de uma forma geral, a humanidade tem sido competente na busca destes objetivos; afinal, hoje há alimentos e serviços disponíveis perto de nossas residências ou ao alcance de uma simples chamada telefônica (além da *Internet*) e

isto não é essencialmente ruim. A perversidade não se dá pelos objetivos em si, mas pela forma com que se alcança os mesmos – a exploração predatória da natureza – e pela distribuição desigual dos benefícios alcançados.

Em relação à desigualdade social, Ribeiro (2003) afirma que é impossível estender o padrão de vida de um terço da população mundial para todo o restante da humanidade, sendo necessário escolher entre “manter o modelo de acumulação capitalista ou prover os excluídos”. E a propriedade sobre o solo – que também pode ser visto como mercadoria - não está acessível a todos em um município como Porto Alegre, dominado pela especulação imobiliária e marcado pela exclusão social. O fato é que é nas cidades que o homem exerce com mais intensidade seu efeito modificador da natureza e a forma como isto é feito acaba por definir também as consequências - positivas ou negativas para a própria sociedade.

1.3 URBANIZAÇÃO E PROBLEMAS AMBIENTAIS

A urbanização gera uma demanda por diversos serviços e infraestruturas essenciais, como recolhimento de lixo e rede eficiente de drenagem do esgoto pluvial e cloacal, por exemplo. Entretanto, é sabido que em geral a municipalidade não oferece tais serviços na medida necessária para todas as áreas habitadas da cidade, resultando em impactos ambientais diversos. O lixo que não é recolhido pelo poder público, quando não é queimado ou enterrado pela população, acaba por ser lançado no ambiente e, na ocorrência de eventos pluviométricos intensos, é transportado para a drenagem, podendo causar degradação dos corpos hídricos, entupimentos dos canais e inundações. Surpreendentemente, pesquisas já demonstraram que a qualidade da água do esgoto pluvial **não** é melhor que a do esgoto *in natura* (TUCCI, 1995, p.29).

Ou seja, quando não é precedida de um planejamento adequado, respeitando os limites naturais, a ocupação de um ambiente pode resultar na degradação do mesmo, com consequências danosas que, muitas vezes, são irreversíveis, seja por impossibilidade de se retornar às condições originais, seja pela impraticabilidade econômica de sequer se tentar fazê-lo. Ross (1994) afirma que a tecnificação crescente da sociedade, acrescida do incremento populacional, interfere cada vez mais no ambiente natural, principalmente em um país “importador de tecnologias e capitais”, como é o caso do Brasil, o que se reflete no ambiente urbano de nossas cidades, marcadas pelo imprevisto ou pelo “eterno provisório”, em uma verdadeira antípoda do patrimônio ambiental urbano, como bem expressa Yázigi (2003).

A zona sul de Porto Alegre (onde se insere a Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso), com sua *barreira* de morros graníticos e características predominantemente rurais, manteve-se relativamente afastada da urbanização intensa que se processou no restante da cidade, sobretudo a partir da segunda metade do século XX. Entretanto, em 1999, o novo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental redefiniu a antiga área rural da cidade como *rururbana*, abrindo espaço para a proliferação mais intensa de núcleos habitacionais. Pode-se dizer, assim, que a última fronteira da cidade foi aberta, transformando a zona sul em um vasto campo para a especulação imobiliária. E se a ocupação desta área nobre da cidade não for feita com critério e sob rigoroso controle da administração municipal, a tendência é de que em médio prazo tenhamos de observar verdadeiras ilhas de condomínios de alta renda rodeados de ocupações improvisadas, gerando um ambiente contraditório e degradado, compatível com a descrição de Yázigi (2003, p.254):

Contemplar grande parte das cidades brasileiras provoca um sentimento de desolação. É a degradação dos ambientes, agravados pela miséria, mas não só ela [...] São lugares aviltados pela subjetividade [...] pela exacerbação da publicidade caótica e fora de lugar, pela falta de manutenção, pelo lixo, pelas fiações aéreas [...] e até pela poluição sonora que também perverte a qualidade do ambiente [...] Por trás disso tudo está a corrupção e/ou a incompetência gerando o destino das municipalidades, diante de uma população resignada e passiva.

1.4 A PROBLEMÁTICA DAS INUNDAÇÕES URBANAS

1.4.1 DEFINIÇÕES CONCEITUAIS

Da mesma forma que ocorre com os termos *ameaça*, *risco*, *desastre*, *perigo*, etc., não existe um consenso no que se refere aos conceitos dados a eventos relacionados especificamente com a dinâmica hídrica. Esta polissemia é percebida não apenas no âmbito da Geografia, mas também nos demais ramos científicos que se ocupam da análise dos riscos ambientais e da vulnerabilidade das populações expostas. Embora não seja objetivo desta pesquisa aprofundar-se no plano das questões conceituais, é importante explicitar as definições aqui utilizadas. Afinal, uma terminologia bem definida permite uma compreensão mais rápida para quem lê e explicita os critérios e o ponto de vista do pesquisador.

1.4.1.1 CHEIA, ENCHENTE E INUNDAÇÃO

No que se refere ao acúmulo de água no solo e ao extravasamento de cursos hídricos, há diferentes formas de se conceituar estes fenômenos, sendo que os termos *cheia*, *enchente* e *inundação* são frequentemente utilizados como sinônimos em diversos trabalhos - mais comumente, *cheia* e *enchente* são termos mais coincidentes. Para o Dicionário Eletrônico Aurélio (versão 5.0), a primeira definição de *enchente* é de uma grande quantidade de água que se acumulou em um corpo hídrico devido à “chuva forte” e que, ao transbordar, “provoca inundação de terras adjacentes; cheia”. Quanto à *inundação*, esta é definida como “alagamento, enchente, cheia...”; ou seja, a etimologia também não oferece definições absolutas.

Nesta pesquisa, considerou-se o termo **enchente** como a elevação do nível regular de um corpo hídrico, devido às precipitações intensas e/ou prolongadas, sem extravasar os limites da calha da drenagem. Caso o aporte de precipitação seja suficiente para que a lâmina d'água da enchente ultrapasse as margens do arroio, rio ou lago, atingindo terras

normalmente secas, então teremos uma **inundação**. Esta definição é semelhante à utilizada pela Política Nacional de Defesa Civil/PNDC (SNDC, 2007), a qual ainda subdivide as inundações, em função da magnitude, em *excepcionais*, de *grande magnitude*, *normais ou regulares* ou de *pequena magnitude*.

1.4.1.2 RISCO

O termo *risco* também possui diferentes definições na literatura, variando conforme o contexto científico ou cultural em que é utilizado. Inclusive, coexistem diferentes complementos para a palavra, tais como *risco natural*, *risco social*, *risco tecnológico* e *risco ambiental* – a propósito disto, Zanirato *et al* (2008) afirmam que “a gestão dos riscos exige uma apreensão de suas múltiplas faces”.

A PNDC (SNDC, 2007) apresenta duas conceituações - a primeira delas define *risco* como a “medida de danos ou prejuízos potenciais, expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis”. Quanto à segunda definição, esta explicita uma relação entre a probabilidade de que um evento adverso ocorra e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor. Analisando-se as obras de alguns autores citados nesta pesquisa, como Santos & Caldeyro (2007) e Vedovello & Macedo (2007), pode-se perceber uma convergência no sentido de que *risco* expressa a probabilidade de que um evento danoso se concretize, bem como a magnitude provável dos danos resultantes.

Evitando-se o estabelecimento de conceitos, considerou-se neste estudo a mesma definição de *risco* de Dagnino & Carpi (2007), a saber: “a probabilidade de que um evento – esperado ou não esperado – se torne realidade”. Assim, nesta abordagem, a simples probabilidade de que algum desastre possa vir a ocorrer já se configura um *risco*. É uma definição simples e coerente com a tendência dos outros autores citados, principalmente Pinheiro (2007), o qual entende que, no caso de eventos de *enchentes*, a preocupação maior é estudar a probabilidade da ocorrência de um evento em um determinado período de tempo – e não a quantificação de danos.

1.4.1.3 DESASTRE E DANO

Uma vez que se perca o controle sobre determinado risco, pode ocorrer um evento que cause significativas perdas humanas, materiais ou ambientais (isoladamente ou de forma combinada). Este evento pode ser definido com o termo **desastre**, que também é comumente mencionado como *acidente* na literatura, significando o resultado da ocorrência de “um ou mais eventos adversos sobre um espaço vulnerável, que podem ser de origem natural ou provocados pelo homem” (SANTOS & CALDEYRO, 2007). É interessante acrescentar que estes autores, assim como a PNDC (SNDC, 2007), enfatizam que o prejuízo pode ocorrer também somente para a natureza - embora esta autofagia pareça algo mais característico do homem.

Após a ocorrência de um desastre, é possível que se faça a análise das consequências, em termos de prejuízos humanos, materiais e ambientais, que podem afetar não só o ambiente e a população, mas também o funcionamento de instituições (perda funcional). Esta medida se define como **dano** e pode ser utilizada também para que se faça uma previsão das possíveis consequências caso se perca o controle sobre determinado risco, ou seja, os danos podem ser estimados ainda que sem a efetiva ocorrência do desastre.

1.4.1.4 SUSCETIBILIDADE

O Dicionário Eletrônico Aurélio (versão 5.0) define *suscetibilidade* como “qualidade de suscetível” que, por sua vez, significa algo ou alguém “passível de receber impressões, modificações ou adquirir qualidades”. Já Vedovello & Macedo (2007), ao estudarem áreas sujeitas a deslizamentos, esclarecem que há áreas mais ou menos *suscetíveis* (instáveis ou estáveis) à ocorrência destes fenômenos, de acordo com suas características litológicas, pedológicas e de relevo - percebe-se uma inclinação dos autores em utilizar o termo como indicativo de predisposições *naturais* à ocorrência de desastres.

Neste trabalho, para a identificação das áreas sujeitas à inundação também foi utilizada a denominação **suscetibilidade** como um ou mais atributos físicos que uma determinada área possui e que a torna potencialmente sujeita à ocorrência de desastres relacionados à dinâmica hídrica. Entretanto, acrescentou-se a ação humana como um dos agentes intensificadores da suscetibilidade pois, ao impermeabilizar o solo, por exemplo, o homem pode contribuir para uma significativa alteração da dinâmica hídrica natural. É importante salientar que **suscetibilidade** expressa apenas uma condição potencial, não uma certeza de que ocorrerá um desastre em nosso tempo histórico.

1.4.1.5 VULNERABILIDADE

Justamente por ser um termo cada vez mais comum nas pesquisas em riscos ambientais, **vulnerabilidade** também adquire diferentes conotações conforme a área científica ou os objetivos dos estudos em que são aplicados. O já citado dicionário Aurélio define *vulnerável* como o “lado fraco de um assunto ou de uma questão” enquanto que a PNDC (SNDC, 2007) define a vulnerabilidade como uma condição de um determinado corpo ou sistema que, em interação com o evento ou acidente, “caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis”. Ainda, caso um desastre aconteça, a vulnerabilidade poderá ser expressa pela relação entre a magnitude da ameaça e a intensidade do dano resultante.

Marandola Júnior & Hogan (2005) afirmam que os geógrafos vêm desenvolvendo pesquisas com foco na vulnerabilidade desde 1980 e, principalmente, desde a década de 1990. Até então, a tendência dos estudos dos chamados *natural hazards* ou *perigos naturais* era direcionada sobretudo a um contexto de planejamento, em que se buscava mensurar as probabilidades de ocorrerem os perigos (entendendo-se *perigo* como o fenômeno estudado), ou seja, nas palavras dos autores, “imperava uma preocupação prognóstica que reclamava a minimização da incerteza”. Entretanto, após as décadas citadas, ao estudo dos *perigos naturais* foram sendo incorporados cada vez mais os perigos sociais e tecnológicos, passando a ser enfatizada a influência do homem sobre o ambiente.

Avançando no estudo da abrangência do conceito, Vedovello & Macedo (2007) e Zanella (2006) salientam que a vulnerabilidade aos desastres não está relacionada somente com as características físicas e de infraestrutura da área e sim constitui um conjunto de fatores que engloba questões econômicas, sociais, políticas, técnicas, institucionais, etc. Ou seja, nesta perspectiva, o grau de vulnerabilidade não se expressa somente pela magnitude do desastre (a intensidade e abrangência de uma inundação por exemplo), mas também pela menor ou maior capacidade da população residente em absorver o impacto e minimizar seus efeitos. E Marandola Júnior & Hogan (2005) acrescentam que a tendência dos geógrafos é considerar a vulnerabilidade como “o grau de capacidade de resposta e de habilidade de adaptação” da população a determinado risco.

Esta pequena revisão bibliográfica é importante para demonstrar que, embora haja tendências predominantes, não há consenso no uso do termo. E, na ausência de consenso, não há como se falar em termos absolutos tais como *certo* ou *errado*, podendo cada pesquisador estabelecer seus critérios. Assim, nesta pesquisa, utilizou-se o termo **vulnerabilidade** na perspectiva integradora entre sociedade e natureza, que é uma característica intrínseca à Geografia, significando a (in)capacidade de resposta dos diferentes estratos socioeconômicos da população local à hipótese de ocorrência de inundações, conforme a suscetibilidade de cada área a estes fenômenos.

1.4.1.6 SISTEMAS DE DRENAGEM

Para os conceitos referentes aos componentes do sistema de drenagem, foi utilizada a terminologia de Tucci (2003), que inicialmente define a **drenagem na fonte** como “o escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamentos, parques e passeios”. Por sua vez, a **microdrenagem** se refere aos condutos pluviais ou canais em nível de loteamento e que são projetados para a drenagem da precipitação de risco moderado, ao passo que a **macrodrenagem** destina-se ao escoamento de vários sistemas de microdrenagem (áreas superiores a 2 km², em média), recolhendo precipitações mais intensas, que poderiam ocasionar prejuízos humanos e materiais.

1.4.1.7 PROBABILIDADE E TEMPO DE RETORNO

Na temática dos eventos de inundação há dois fatores – entre outros - que são fundamentais para a análise da dinâmica hídrica: são os índices de precipitação e de vazão, dados que são bastante utilizados na definição de projetos habitacionais e de drenagem urbana. Quando suas características ou repetitividade não estão bem esclarecidas, o que é o mais comum, trabalha-se com estatísticas de eventos conhecidos para a projeção da possibilidade de ocorrência futura. Embora tenham uma relação estreita entre si, são dois dados distintos pois, conforme Tucci (2003), as variáveis que podem incidir sobre a precipitação (distribuição temporal, antecedentes, etc.), fazem com que esta resulte em um risco diferente da vazão resultante.

Tucci (2003) utiliza o termo *risco* no sentido estrito da **probabilidade (p)** da ocorrência de um valor de vazão ou de precipitação igual ou superior em um ano qualquer. É com base nesta probabilidade, que é calculada com base nas séries históricas de precipitação e/ou de vazão de uma determinada área, que pode-se definir o **tempo de retorno (T)** como “o inverso da probabilidade **p**”, representando “o tempo, em média, que este evento tem chance de se repetir”, o que se expressa na fórmula $T = 1/p$. Caso o interesse seja mensurar a probabilidade de ocorrência de um evento em um determinado período de anos (**n**), a fórmula a ser utilizada será $P_n = 1 - (1-p)^n$.

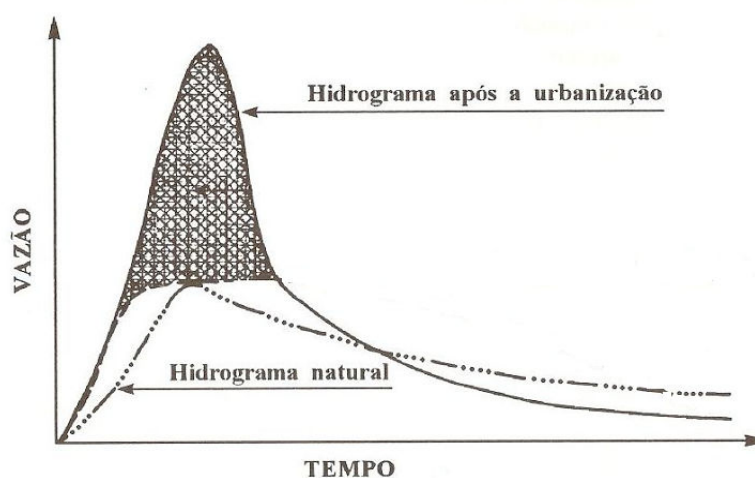
1.4.2 CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DAS INUNDAÇÕES

No ambiente urbano, quando é implantado um loteamento ou se processa uma ocupação, uma das primeiras ações humanas é a retirada da vegetação nativa, inclusive das margens dos rios e arroios. Impera em nossa sociedade uma cultura perversa de que o *mato é sujo* (em muitas de nossas regiões interioranas ainda se usa a expressão *limpar o campo*, referindo-se à retirada da vegetação). A perda da cobertura vegetal já é um impacto ambiental (pois diminui a biodiversidade e a qualidade da vida humana) mas é apenas o início de um processo de degradação, podendo resultar em outras consequências danosas, conforme as suscetibilidades naturais de cada área.

Com a falta da proteção da cobertura vegetal, o solo torna-se mais exposto ao intemperismo físico, principalmente no que se refere aos efeitos da chuva. A água atinge o solo desprotegido em maior quantidade e com maior energia cinética, favorecendo a ruptura dos agregados superficiais, podendo levar ao efeito *splash*, que é o primeiro estágio do processo erosivo (GUERRA, 2005). Como resultado, pode haver menos ou nenhuma infiltração, o que potencializa o escoamento superficial e, posteriormente, pode dar origem a ravinas e voçorocas, além de diminuir a fertilidade do solo.

Além da impermeabilização devido ao efeito *splash*, também é comum o recobrimento dos pátios das casas com cimento ou outros materiais, reduzindo mais ainda a área de infiltração - conforme a Metroplan (2001), a impermeabilização decorrente da urbanização aumenta em até seis vezes a vazão pré-existente. Uma vez que a área seja totalmente ocupada, o hidrograma natural será bastante alterado (FIGURA 01) e as soluções para correção dos problemas de drenagem serão extremamente caras, obrigando o poder público a investir substancial porção do orçamento “para proteger uma parcela da cidade que sofre devido à imprevidência da ocupação do solo” (TUCCI, 1995). E, para Pinheiro (2007), uma bacia urbanizada pode ter um tempo de resposta à precipitação de cinco a vinte vezes menor do que uma bacia não ocupada, tornando a área mais sensível aos eventos pluviométricos de curta duração.

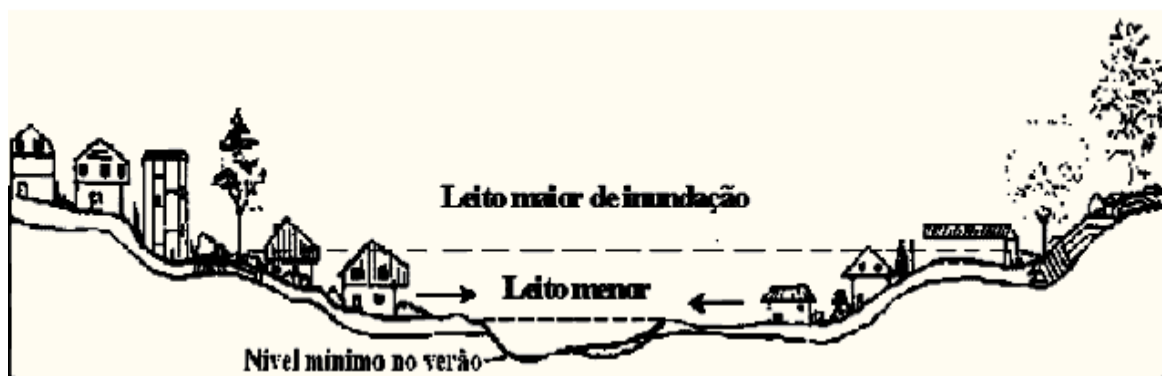
FIG. 01 – HIDROGRAMA PRÉ E PÓS-URBANIZAÇÃO



Fonte: adaptado de Tucci (1995)

Tucci (2003) demonstra que os rios geralmente possuem dois leitos, conforme a FIGURA 02 (existem outras classificações), sendo um menor, onde ocorre o escoamento hídrico na maior parte do tempo, e o maior, que é inundado, em média, em um período que varia entre 1,5 e 2 anos. A grande problemática da inundação é justamente a ocupação deste leito maior do rio, que é uma área naturalmente sujeita ao evento, onde geralmente se instalam as populações mais carentes (SILVA, 2006) e onde se verifica maior improvisação das moradias.

FIG. 02 – TIPOS DE LEITO E OCUPAÇÃO RIBEIRINHA



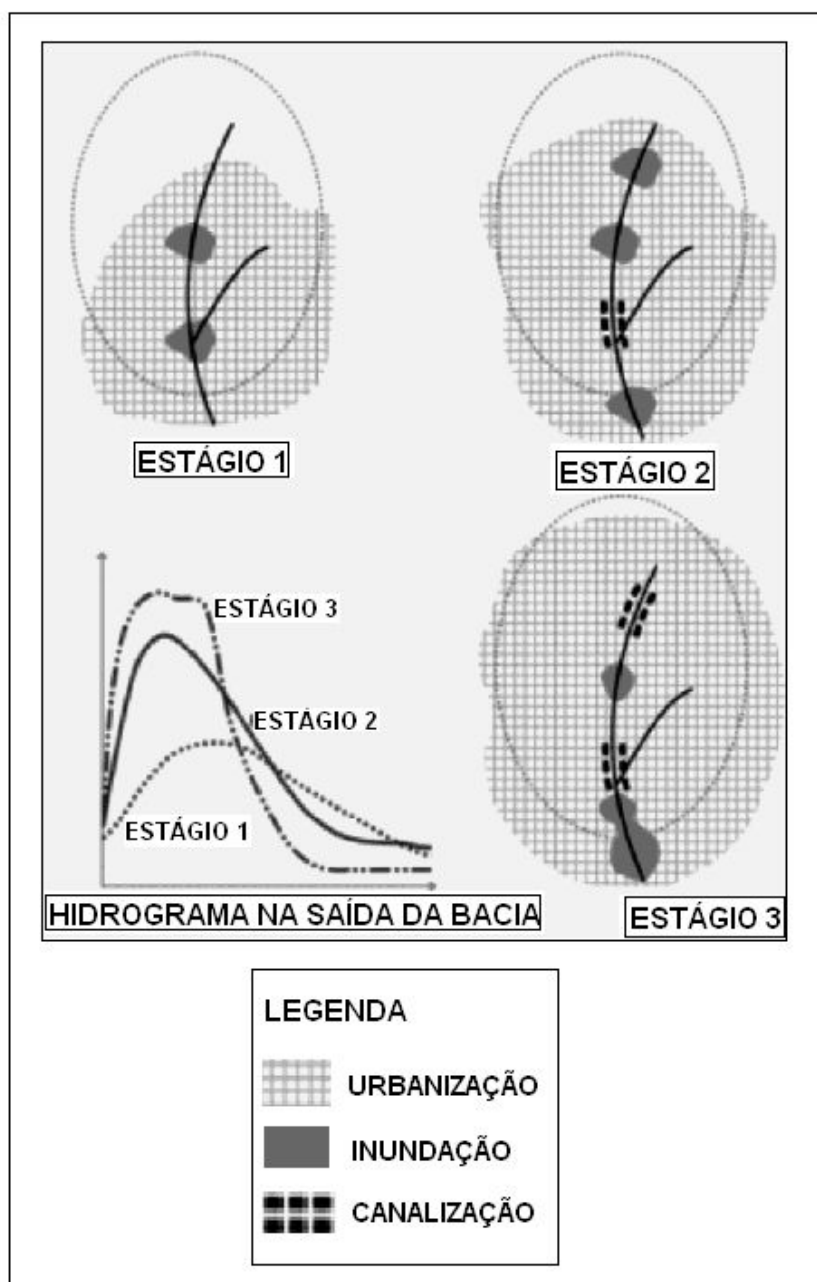
Fonte: Tucci (2003)

Tucci (2003) também relaciona algumas causas para esta ocupação indesejada, afirmando que “os planos diretores da quase totalidade das cidades da América do Sul” não restringem a ocupação de áreas inundáveis, o que favorece que empresários construam loteamentos em áreas inadequadas ou que ocorra a invasão de áreas ribeirinhas pelas populações de baixa renda. Bastam alguns anos sem inundação para que a “memória” do evento anterior se apague, mas quando o desastre ocorre costuma causar prejuízos significativos, principalmente em uma parcela da população que não dispõe de recursos nem conta com coberturas de seguro.

Além da ocupação das planícies de inundação e da impermeabilização do solo, há diversas outras ações humanas que podem favorecer o extravasamento dos rios, tais como a formação de aterros, as canalizações e a construção de pontes (TUCCI, 2003). As próprias obras de controle da drenagem muitas vezes se tornam prejudiciais, resolvendo o problema no local mas transferindo-o para outro ponto da bacia. Conforme Tucci (1995), as inundações decorrem de uma gerência inadequada do planejamento da drenagem e da filosofia errônea dos engenheiros de que a drenagem adequada é aquela que rapidamente escoar a água do local. Para o autor, entretanto, “a melhor drenagem é aquela que drena o escoamento sem produzir impactos”. Ou seja, a bacia tem de ser considerada como um sistema, em que as ações feitas em um local repercutem de alguma forma no restante da área.

A FIGURA 03 demonstra três estágios de urbanização de uma bacia hipotética e ilustra como a canalização de pontos críticos apenas transfere a inundação para outro ponto da bacia (TUCCI, 2003). No primeiro estágio, podem ser vistos os pontos sujeitos à inundação natural e a urbanização incipiente. Já no estágio 2, a canalização faz aumentar o hidrograma a jusante, mas a área não urbanizada a montante funciona como reservatório de amortecimento. No último estágio, a bacia está quase completamente urbanizada e a administração pública implanta novas obras na drenagem; com isto, “a canalização transfere a inundação para jusante”, obrigando o poder público a investir no aprofundamento do canal.

FIG. 03 – ESTÁGIOS DE URBANIZAÇÃO DE UMA BACIA



Fonte: Tucci (2003)

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

As ações humanas, entretanto, não são as únicas causas dos riscos relacionados às inundações. Ainda que a contribuição antrópica seja relevante com ações como instalação de barramentos artificiais e redes de esgotos mal dimensionadas, uso de aterros, retirada da vegetação e impermeabilização do solo, etc., cada área possui também uma suscetibilidade natural à ocorrência de eventos. Como cita Vedovello (1996) – e cada aspecto será detalhado

no capítulo 6 - áreas topograficamente deprimidas associadas à solos de baixa permeabilidade, lençol freático muito raso, canais de drenagem entulhados por detritos vegetais e bacias de drenagem com baixa declividade são algumas das características naturais que caracterizam a suscetibilidade à inundações.

Além de trazer grandes custos ao poder público, os impactos mais usuais das inundações urbanas geralmente estão relacionados à destruição de moradias e de bens móveis da população. Mas também ocorrem perdas de vidas (FIGURA 04), causadas pelo desmoronamento de residências e pelos afogamentos, além da disseminação de doenças como a leptospirose, de alto índice de mortalidade. Frequentemente, a população local é surpreendida pelas inundações, sobretudo em bacias altamente impermeabilizadas (em que os picos de vazão são mais intensos), ou mesmo reluta em abandonar suas casas, colocando-se em risco para tentar salvar seu patrimônio ou, simplesmente, por não haver perspectivas de se obter outra moradia. E pode-se censurar alguém que se arrisca para resgatar seu televisor, que foi comprado (e quiçá ainda nem foi quitado) em 12 prestações? Por fim, somam-se outros efeitos, como a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, em virtude da lavagem das ruas (TUCCI, 2003), que transporta material poluente para os cursos d'água.

FIG. 04 – MANIFESTAÇÃO PÚBLICA EM SANTA FE/ARGENTINA



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

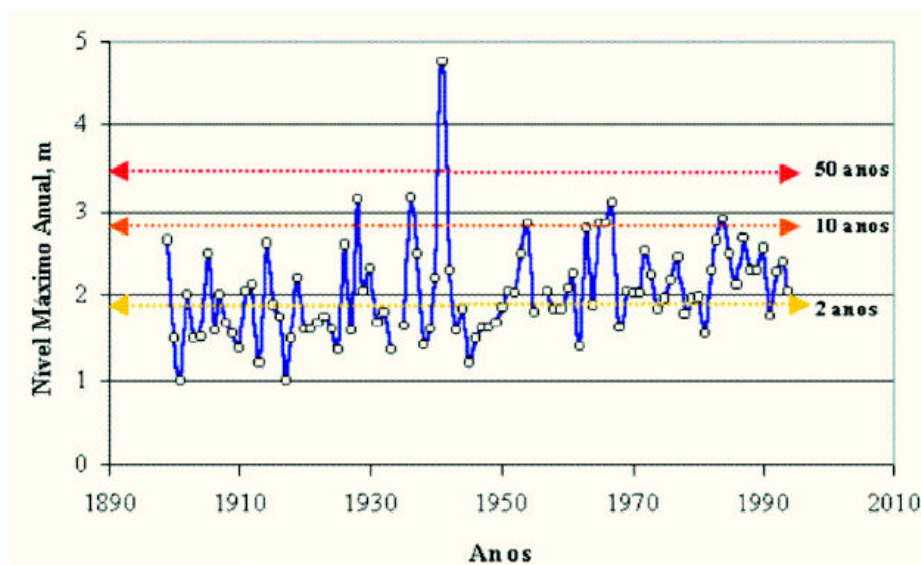
Nota: uma inundações causada pelo rio Salado resultou em dezenas de mortos e milhares de desabrigados.

Tucci (2003) afirma que o modelo atual de gerenciamento destes eventos hidrológicos no Brasil não favorece a prevenção, visto que as medidas mais eficazes envolvem restrições à ocupação, ao passo que “a população espera por uma obra”. São questões complexas para serem resolvidas em nível local, pois envolvem a possibilidade de desgaste político das autoridades municipais ao se confrontarem com os proprietários de áreas de risco. Desta forma, o mesmo autor entende que a modificação desta situação tem de ser feita em nível estadual, com políticas voltadas à educação da população e à atuação “junto aos bancos que financiam obras em áreas de risco”.

1.4.3 OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES EM PORTO ALEGRE

O município tem um movimentado histórico de inundações, provocadas sobretudo pelo extravasamento das águas do lago Guaíba. O GRÁFICO 1 demonstra as cotas máximas atingidas pelo lago a partir dos primeiros registros conhecidos, bem como a estimativa do tempo de retorno.

GRÁF. 1 – COTAS EXCEPCIONAIS DO LAGO GUAÍBA



Fonte: Metroplan (2001)

Há notícias de inundações no município desde o século XIX, com diferentes níveis de intensidade e de consequências para a cidade e para a população. O QUADRO 01 sintetiza as principais ocorrências, sendo que duas delas são ilustradas pelas FIGURAS 5 e 6.

QUADRO 01 – EVENTOS DE INUNDAÇÕES EM PORTO ALEGRE

| ANO | CARACTERÍSTICAS E CONSEQUÊNCIAS |
|------|--|
| 1824 | Perda da maior parte das plantações, na lavoura e nos depósitos. |
| 1833 | Cessação do comércio de frutas na rua Marechal Floriano e interrupção da passagem da <i>Praia do Riacho</i> (atual rua Washington Luís), tendo sido danificada também a antiga ponte. |
| 1873 | Inundação da Rua dos Andradas e do <i>Caminho Novo</i> (atual rua Voluntários da Pátria). Interrupção de diversas linhas de bonde, entre elas a do bairro Menino Deus (onde o transporte teve de ser feito por meio de canoas). Houve invasão de muitas casas pela água, tendo sido necessária a coleta de donativos para os flagelados. O lago Guaíba atingiu a cota de 350 cm em rela o ao nível do mar. |
| 1897 | Foram atingidos, sobretudo, os bairros Menino Deus, Azenha e <i>Caminho do Meio</i> (nas imediações da atual avenida Oswaldo Aranha). Ocorreu a destruição da Ponte das Pedras do <i>Caminho da Azenha</i> (atual Avenida da Azenha), devido à inundação causada pelo arroio Dilúvio. |
| 1912 | Houve tr s inundações no mesmo ano. As mais graves, de agosto e setembro, causaram o transbordamento do rio Gravataí e do arroio Dilúvio. Inundação do <i>Campo da Redenção</i> (atual Parque Farroupilha). A deposição de material sanitário (recolhido por carroças) teve de ser feito na Praia de Belas, em vez do bairro Cristal. |
| 1914 | O lago Guaíba atingiu uma cota de 265 cm e várias regiões de Porto Alegre ficaram debaixo d' gua. O tráfego de bondes para os bairros Navegantes, São João e Menino Deus foi interrompido. O edifício dos Correios e Telégrafos, no Centro de Porto Alegre, foi bastante atingido e houve inundação na rua Voluntários da Pátria. |
| 1928 | Aproximadamente cem quadras de Porto Alegre ficaram alagadas, resultando em cerca de 30.000 pessoas desabrigadas. O bairro São João foi um dos mais atingidos, sendo interrompida a linha de bonde. O Guaíba atingiu uma cota de 320 cm. |
| 1936 | O arroio Dilúvio transbordou, alagando o bairro Menino Deus, e o lago Guaíba atingiu a cota de 322 cm. Houve milhares de flagelados, abrigados em instalações civis e da Brigada Militar. No bairro São João, houve interrupção do trânsito de bondes. O depósito dos Correios e Telégrafos, no Centro, foi invadido pela  gua. |
| 1941 | Ocorreu a maior enchente da história da cidade, com um tempo de recorrência estimado em 370 anos, sendo que o Guaíba atingiu a cota de 476 cm. Foi considerada uma grande calamidade, causando a inundação de diversos bairros. Quinze dias ininterruptos de precipitação (com 678 milímetros acumulados, enquanto que a média normal mensal era de 110 mm) resultaram em um número estimado de 70.000 flagelados, sendo que 15.000 casas foram atingidas. A capital ficou cerca de um mês sem fornecimento normal de água e energia elétrica. Ocorreu o fechamento de escolas, cinemas e jornais. Na <i>Rua da Praia</i> (atual Rua dos Andradas) e na rua Uruguai, assim como na parte baixa da avenida Borges de Medeiros, o trânsito teve de ser feito com canoas. |
| 1956 | Várias zonas da cidade foram inundadas, principalmente as áreas próximas ao arroio Dilúvio, assim como nos bairros Navegantes e Tristeza. |
| 1967 | O lago Guaíba atingiu a cota de 313 cm, causando extensa inundação, atingindo também a Região Metropolitana de Porto Alegre. |
| 1983 |  ltima enchente significativa causada pelo Guaíba, foi a primeira vez que os muros da Mauá foram fechados e vedados – o lago atingiu a cota de 232 cm. Aproximadamente 29 mil pessoas ficaram desabrigadas só em Porto Alegre. |

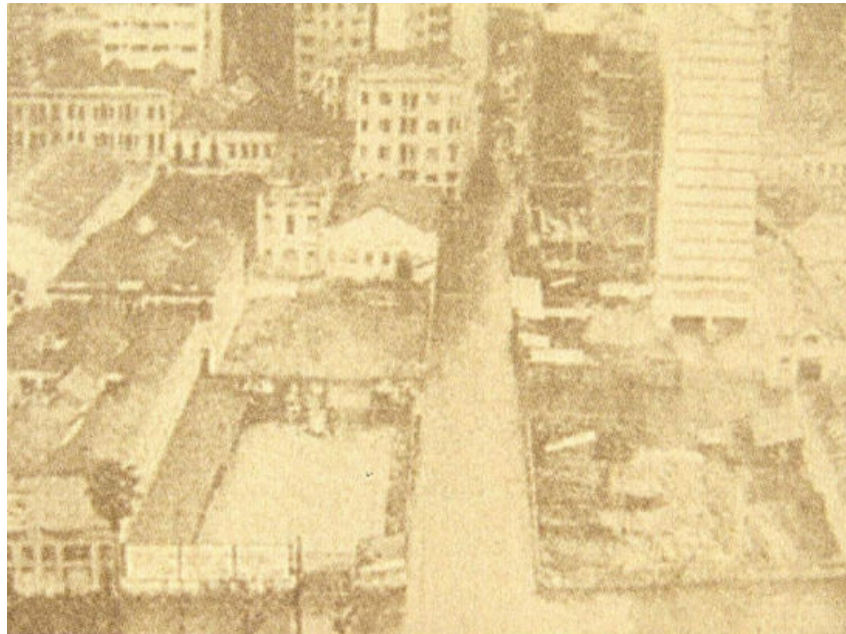
Fontes: DEP (2009), Metroclima (2009), Metroplan (2001) e ObservaPOA (2009)
Elabora o: Luís M. Martins de Lima (2009)

FIG. 05 – INUNDAÇÃO EM PORTO ALEGRE (1941)



Fonte: Metroplan (2001)

FIG. 06 – INUNDAÇÃO EM PORTO ALEGRE (1967)



Fonte: Metroplan (2001)

Após as grandes inundações ocorridas em 1941 e em 1967, a administração municipal começou a planejar medidas para proteção da cidade, culminando com a construção do Muro da Mauá, no início da década de 1970 (METROPLAN, 2001). O muro é apenas parte de um sistema de diques que protege a cidade contra o extravasamento das águas do lago Guaíba; entretanto, há diversos arroios que atravessam a cidade e que podem causar inundações. Embora em Porto Alegre estes eventos geralmente não resultem em perdas de vida, os danos são sempre consideráveis, principalmente porque a parcela da população que é mais atingida é justamente a de menor poder aquisitivo. Afinal, normalmente são estas pessoas que ocupam áreas mais suscetíveis à ocorrência destes eventos e para elas o prejuízo econômico e à saúde é sempre um fator muito relevante, devido à sua maior vulnerabilidade.

1.4.4 EVENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso (deste ponto em diante, apenas bacia do Arroio do Salso, para simplificar) possui uma grande porção de sua área marcada por uma paisagem predominantemente plana, ao que associam-se as condições climáticas da região em que se insere o município de Porto Alegre (são comuns as chuvas intensas e/ou duradouras), formando um conjunto de características favoráveis a problemas com inundações. Embora haja poucas informações disponíveis a respeito da dinâmica hídrica local (não foram encontrados dados de monitoramento sistemático do nível ou da vazão do Arroio do Salso), há algumas ocorrências relatadas na imprensa (disponíveis no *Jornal Zero Hora*, na *Internet*) ou constantes nos boletins de atendimento da Defesa Civil do Rio Grande do Sul (banco de dados criado em 2006) e do Departamento de Esgotos Pluviais/DEP da Prefeitura Municipal de Porto Alegre/PMPA. Além disto, fotografias coletadas em campo permitem a observação de evidências de que há significativa flutuação do nível do leito do Arroio do Salso, após precipitações intensas ou prolongadas (FIGURAS 07 e 08).

FIG. 07 – ARROIO DO SALSO (PONTE NA AV. JUCA BATISTA) – 04/05/2009 E
12/09/2009



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

FIG. 08 – ARROIO DO SALSO (PONTE NA AV. DA SERRARIA) – 04/05/2009 E
12/09/09



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

Algumas notícias destacam a ocorrência de inundações provocadas pelas águas do Arroio do Salso. Em 03/05/2008, um ciclone extra-tropical resultou em um volume de chuva equivalente a dois meses em alguns bairros de Porto Alegre, causando inundações e alagamentos em diversos pontos da cidade. Só na rua Dorival Castilho Machado, no bairro Hípica, o extravasamento do Arroio do Salso atingiu cerca de 100 famílias, causando perdas materiais em uma população bastante vulnerável, fazendo com que os moradores reivindicassem novamente que fosse feita a dragagem do arroio, procedimento que era aguardado há 10 anos (PMPA, 2009a).

Entre os dias 08 e 10/08/2009, uma chuva quase ininterrupta causou inundações tanto em Port Alegre como em diferentes regiões do Rio Grande do Sul. Na ocupação irregular do Túnel Verde e na rua Dorival Castilho Machado, ambas próximas ao Arroio do Salso, houve inundação e a população mais uma vez pediu obras urgentes de dragagem. No Túnel Verde, conforme noticiado no *Jornal Zero Hora* de 11/08/2009, aproximadamente 59 pessoas tiveram que deixar suas moradias e, em 12/09/2009, depois de vários dias de chuvas intensas, ocorreu nova inundação na mesma área (FIGURA 09).

FIG. 09 – INUNDAÇÃO NO TÚNEL VERDE (12/09/2009)



Autor: Luís M. Martins de Lima

Posteriormente, nos dias 27 e 28/09/2009, precipitações intensas resultaram em nova inundação no Túnel Verde (FIGURAS 10, 11, 12 e 13). Além destes, há também outros relatos de ocorrências, referentes a dezembro de 1997, novembro de 2005, maio de 2007 e setembro de 2007.

FIG. 10 – INUNDAÇÃO NO TÚNEL VERDE (27/09/2009)



Autor: Luís M. Martins de Lima

FIG. 11 – INUNDAÇÃO NO TÚNEL VERDE (28/09/2009)



Fonte: *Jornal Zero Hora*

FIG. 12 – INUNDAÇÃO NO TÚNEL VERDE (28/09/2009)



Fonte: *Jornal Zero Hora*

FIG. 13 – INUNDAÇÃO NO TÚNEL VERDE (28/09/2009)



Fonte: *Jornal Zero Hora*

A dragagem do Arroio do Salso começou a ser executada pela PMPA em maio de 2009. Embora não haja consenso entre as autoridades e os técnicos envolvidos na questão quanto aos resultados práticos para evitar inundações (no caso específico do Túnel Verde), o fato é que as FIGURAS 14 e 15 demonstram que o Arroio do Salso realmente acumulava uma grande carga de sedimentos em seu leito quando se iniciaram as operações de dragagem. Em 27/05/2009, o DEP promoveu o *Dia do Desafio* no bairro Hípica; só nesta ocasião, cerca de 20 funcionários retiraram aproximadamente quatro toneladas de entulho do leito do Arroio do Salso.

FIG. 14 - ASSOREAMENTO NO ARROIO DO SALSO (04/05/2009)



Autor: Luís M. Martins de Lima.

FIG. 15 – DRAGAGEM DO ARROIO DO SALSO (04/05/2009)



Autor: Luís M. Martins de Lima.

1.5 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Neste capítulo, inicialmente discorreu-se brevemente sobre a aparente contradição entre o homem e o meio em que vive. Oliveira & Herrmann (2005) afirmam que a aceleração dos processos naturais, transformando o espaço com o uso da técnica, seria a “função da humanidade no Universo”. Embora cada cultura se relacione de formas diferentes com a natureza (como é o caso dos indígenas, por exemplo) o fato é que é inegável que o homem muitas vezes imprime mudanças radicais nos ambientes que ocupa, provocando impactos ambientais negativos - e a área ocupada por Porto Alegre não é exceção. Assim, foram apontadas algumas consequências previsíveis nos casos de ocupação não planejada, como a retirada da vegetação nativa, a degradação dos cursos d’água, a disposição inadequada de lixo e a intensificação da suscetibilidade natural à inundação.

Para que se possa promover uma urbanização responsável, minimizando-se os impactos negativos sobre o ambiente e o risco para a população, é essencial **planejar** a ocupação... e não há como se fazer um planejamento eficaz sem o devido **conhecimento** da complexa dinâmica de determinada área. Pinheiro (2007) defende o zoneamento como um importante instrumento para o estabelecimento de regras quanto à

ocupação das áreas de maior potencial de ocorrência de desastres. E para que se possa fazer este zoneamento e este planejamento, é essencial conhecer a suscetibilidade destas áreas, o que influenciará na escolha dos terrenos a serem ocupados e nos tipos de construções ou, em última instância, fornecerá subsídios para a atuação da Defesa Civil em caso de eventos extremos. No mesmo sentido, Cristo (2002) defende o mapeamento de áreas suscetíveis a enchentes (e deslizamentos) como um instrumento para evitar prejuízos materiais e humanos, mesmo que “não apresentem situações de risco de perdas materiais ou de vidas humanas momentaneamente”.

A aceleração da ocupação, que já se vivencia na atualidade, demonstra a importância de se obter um conhecimento mais detalhado sobre as características da área que compreende a bacia do Arroio do Salso. Ao encontro da necessidade de planejamento para evitar a ocupação de áreas impróprias, este trabalho é focado no mapeamento da suscetibilidade à inundação em uma área que é de grande relevância em Porto Alegre, devido à sua grande extensão e riqueza natural, bem como ao interesse imobiliário que já desperta.

2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Este trabalho tem como objetivo geral mapear as áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso. Para atingir plenamente o que se propõe, é necessário desenvolver os objetivos específicos demonstrados a seguir:

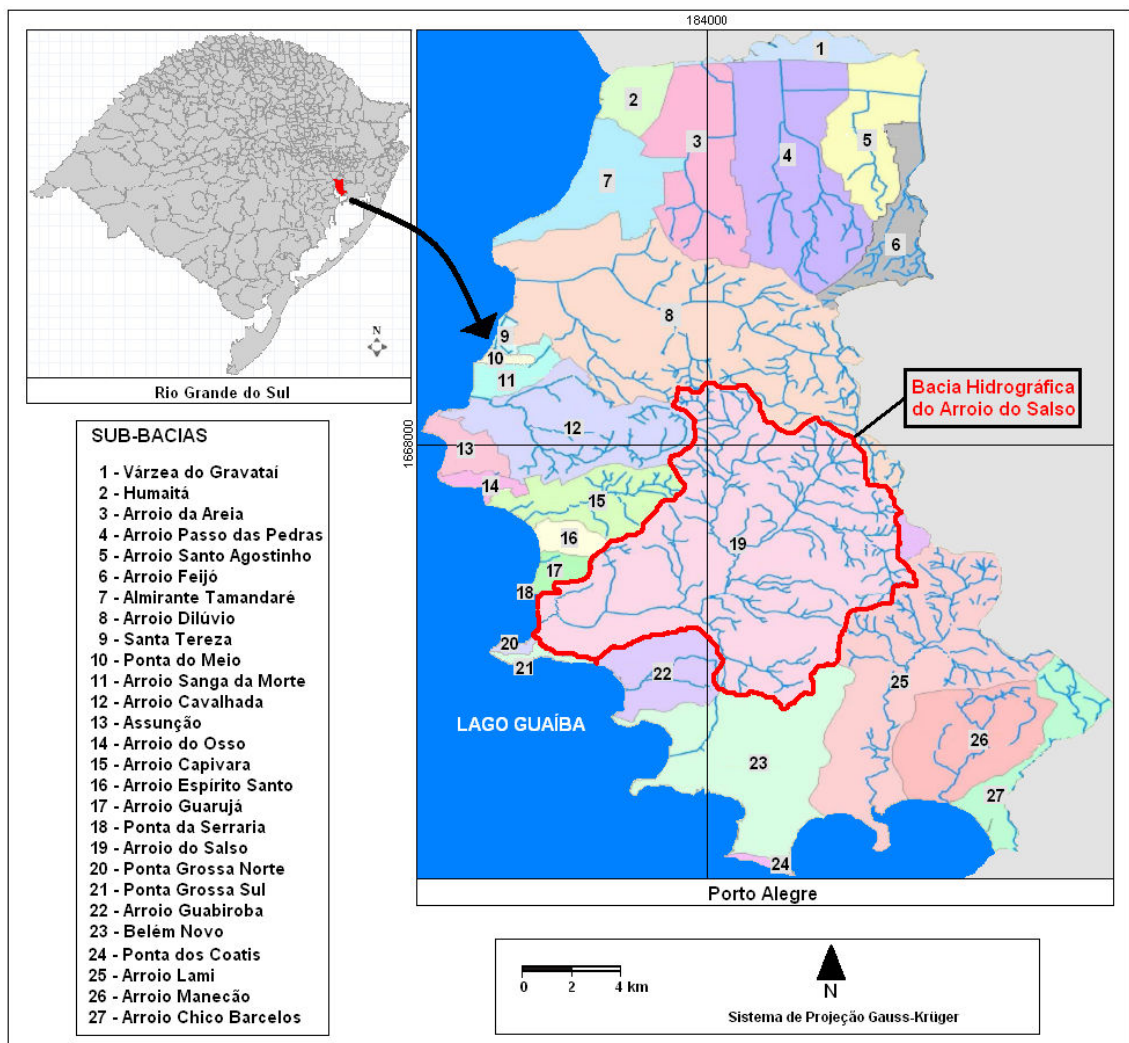
- a) relacionar os padrões pluviométricos atuantes em Porto Alegre com a ocorrência de inundações;
- b) identificar os principais elementos naturais que predisõem à ocorrência de inundação na área de estudo;
- c) identificar as alterações antrópicas que interferem no escoamento superficial e alteram o hidrograma local, intensificando a suscetibilidade natural à ocorrência de inundações;
- d) observar a dinâmica de uma seção transversal da drenagem sob diferentes condições pluviométricas e
- e) mapear as áreas de suscetibilidade à inundação, mediante a análise das informações descritivas e históricas obtidas na pesquisa e por meio da correção entre diferentes planos de informações.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO URBANA

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso está localizada na zona sul de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul, e é a maior do município. A FIGURA 16 demonstra a situação de Porto Alegre no contexto do Estado, bem como a área de estudo inserida entre as demais bacias do município (todas são tributárias da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba).

FIG. 16 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



Fonte: Collischonn & Junqueira (2007) e Menegat *et al* (1998a)
 Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

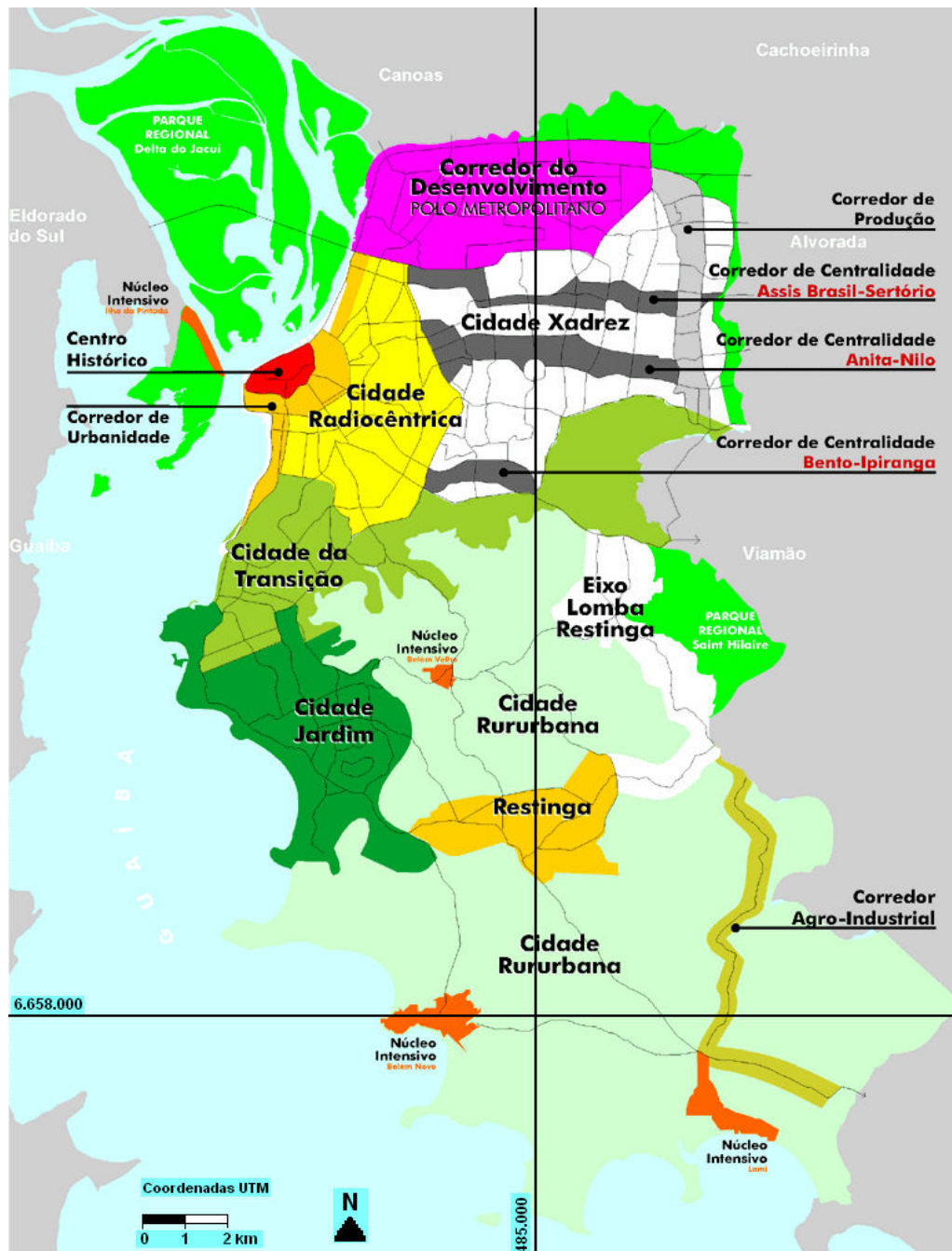
O município de Porto Alegre ocupa uma área de cerca de 496,8 km² e, considerando-se uma projeção de 1.438.830 habitantes para o ano de 2008 (FEE, 2009), possui uma densidade demográfica de, aproximadamente, 2.896 hab/km². O Produto Interno Bruto *per capita* do município, calculado para o ano de 2006, era de R\$ 20.900,00 (FEE, 2009). Já o Coeficiente de Mortalidade Infantil, em 2007, era de 11,9 por mil nascidos vivos, ao passo que a expectativa de vida ao nascer, em 2000, estava estimada em 71,59 anos. Segundo a PMPA (2009b), o município oferece abastecimento de água tratada a toda sua população (incluindo o fornecimento em carros-pipa, nas áreas de ocupação irregular) e energia elétrica a 98%. Conforme dados de 2004, fornecidos pela PMPA (2009-b), 85% da população é atendida por redes de esgoto e 20% dos efluentes recebem tratamento antes de serem lançados no lago Guaíba.

Porto Alegre foi premiada pela Organização das Nações Unidas (ONU) como a metrópole número 1 em qualidade de vida no Brasil, nos anos de 1996, 1998 e 2002. Além disto, obteve da ONU e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) o reconhecimento como detentora do melhor Índice de Desenvolvimento Humano entre as metrópoles brasileiras, em 2001. É, também, considerada como uma das cidades mais arborizadas do mundo – segundo a PMPA (2009b), possui cerca de 1.000.000 de árvores em vias públicas - além de dispor de diversas áreas verdes, como o Parque Knijnik, a Reserva Biológica do Lami, o Parque Municipal do Morro do Osso e a área de Proteção Natural do Morro Santana.

O município é um mosaico de diferentes estágios de urbanização e características socioeconômicas da população. Na época da elaboração do segundo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (PMPA, 1999), foram definidas nove *macrozonas* (FIGURA 17), que exibem diferentes configurações da cidade. A chamada *Cidade Radiocêntrica*, que é a porção mais consolidada em termos urbanísticos e de infraestrutura, corresponde ao Centro Histórico da cidade e se irradia a partir das margens do lago Guaíba, onde se estabeleceram os primeiros núcleos de colonização da capital. A *Cidade Xadrez* está compreendida em um polígono delimitado pela 3^a Perimetral, pelos municípios de Alvorada e Viamão, pela avenida Sertório e pelas ruas Albion e 1^o de Março. Foi alvo de intensa urbanização na década de 1980, mas ainda possui extensas áreas desocupadas e deficiências na infraestrutura. O *Corredor de Desenvolvimento* situa-se ao norte de Porto

Alegre, nos limites com Canoas e Cachoeirinha e possui grandes vazios urbanos, podendo servir para projetos de expansão da malha industrial da cidade (PMPA, 1999).

FIG. 17 – MACROZONAS DE PORTO ALEGRE



Fonte: PMPA (1999)

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

Ao sul das *idades Radiocêntrica e Xadrez*, localiza-se a *Cidade da Transição*, com ocupação e topografia bastante heterogêneas, marcada pela existência de diversos morros, muitos deles ocupados irregularmente. A *Cidade Jardim*, na porção oeste do município, combina uma baixa densidade de ocupação com a existência de atrativos naturais importantes, como o Parque Municipal do Morro do Osso e a orla do lago Guaíba. É uma área onde proliferam condomínios horizontais e loteamentos, com reduzida verticalização.

Uma das mais interessantes macrozonas de Porto Alegre é formada pelas ilhas do *Parque Estadual do Delta do Jacuí*, de relevante interesse ecológico mas que enfrenta problemas de ocupação clandestina - praticada, inclusive, por moradores de alta classe econômica. A leste da capital, a macrozona *Eixo Lomba-Restinga* delimita-se com o município de Viamão. Foi alvo de intensa ocupação a partir da década de 1970 e atualmente é a área da cidade onde há a maior concentração de vilas e loteamentos irregulares.

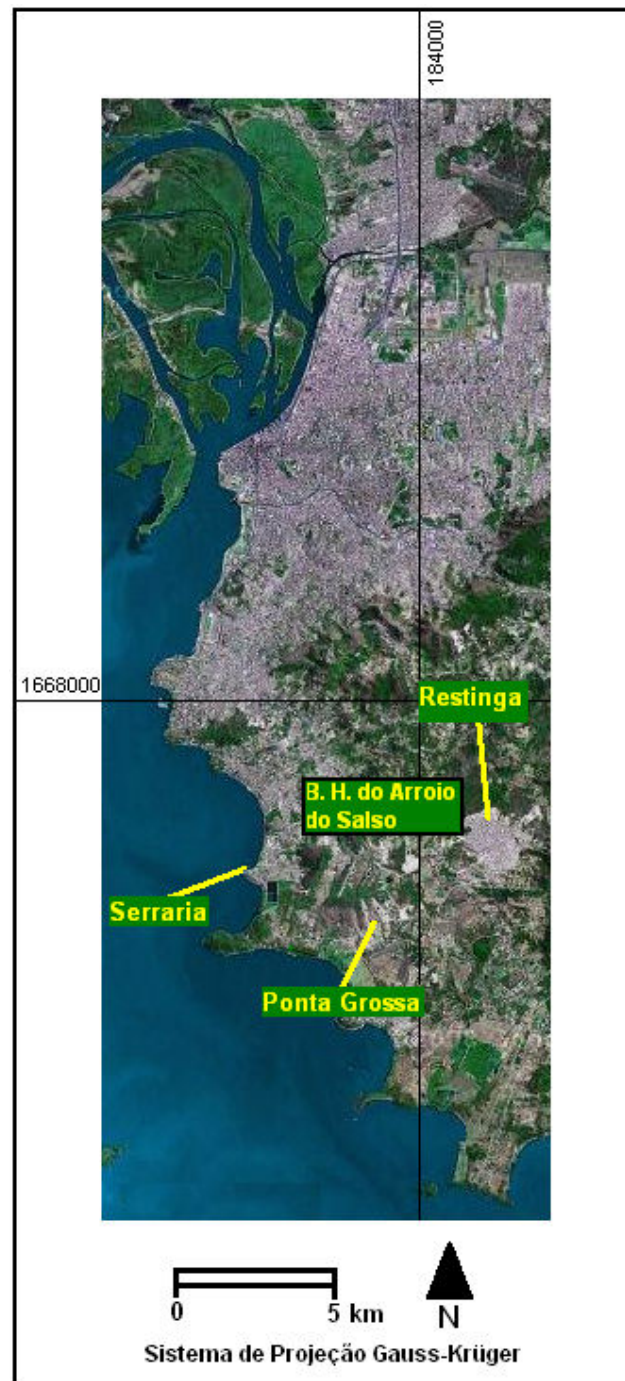
Duas das macrozonas de Porto Alegre ocupam quase que completamente a área da bacia do Arroio do Salso. A primeira delas é a macrozona *Restinga*, que começou a se formar a partir da década de 1960 ao longo de um dos lados da estrada João Antonio da Silveira, formando o que é conhecido hoje como *Restinga Velha*. A segunda macrozona que ocupa a bacia em estudo é a *Cidade Rururbana*, que corresponde a aproximadamente 60% do território da capital, caracterizando-se, sobretudo, por ser a área de maior vocação rural do município. Possui, ainda, extensas áreas não ocupadas e com vegetação preservada mas, visto que a sequência de morros da Crista de Porto Alegre já não é mais uma *fronteira* natural para a expansão da capital, a *Cidade Rururbana* é alvo de invasões, loteamentos clandestinos e especulação imobiliária.

3.2 OCUPAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO

Já na década de 1960, era perceptível que os limites definidos por acidentes físicos não serviam mais como contenção para a expansão populacional de Porto Alegre. Segundo Fujimoto (2001), até o ano de 1970 o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre teve de ser alterado diversas vezes, visando atender o rápido crescimento da cidade. Entretanto, o Poder Público foi ineficiente (ou omissivo) em combater a especulação imobiliária, o que fez com que grandes áreas ficassem sem uso, reservadas, esperando uma futura valorização econômica, enquanto as populações mais pobres eram transferidas para as periferias, o que favoreceu a disseminação de invasões, sobretudo em áreas públicas.

Mas foi com a promulgação do novo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental, em 1999, que os limites sul da cidade foram *oficialmente abertos*. A cidade deixou de ter uma área rural e foi criada a *cidade rurubana* (correspondente a mais da metade do território do município) a qual, apesar de ter uma vocação ainda predominantemente rural, já possui grandes extensões de áreas habitadas, inclusive com a chamada “ocupação espontânea” (HASENACK, 2008). A FIGURA 18 demonstra que a concentração urbana ainda é menor na área de estudo - situada na zona sul de Porto Alegre - quando comparada com a porção norte do município, mas já podem ser percebidas extensas áreas de concentração populacional, como os bairros Serraria, Ponta Grossa e Restinga.

FIG. 18 – MANCHA DE OCUPAÇÃO EM PORTO ALEGRE



Fonte: Google Maps (2009)
 Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

Alguns bairros que se desenvolveram na bacia em estudo se destacam pelo seu contingente populacional. O bairro Lomba do Pinheiro engloba grande parte das nascentes do Arroio do Salso, faz divisa com o município de Viamão e é uma área heterogênea, onde existem núcleos densamente povoados mas também áreas verdes ainda preservadas. Segundo a PMPA (2007), a maior parte dos primeiros moradores era oriunda do interior do Estado

mas, a partir das décadas de 1960 e 1970, começaram a se instalar pessoas vindas de outros bairros e a região entrou no processo de urbanização.

A sudoeste da Lomba do Pinheiro fica o bairro Restinga, cujo nome tem origem nas características originais do mesmo, pois desenvolveu-se próximo ao Arroio do Salso, em cujas margens havia abundante vegetação arbustiva, além de matas com figueiras nos sopés dos morros (PMPA, 2007). O bairro é intensamente povoado e tem uma estrutura comercial que o torna quase auto-suficiente em relação ao restante da cidade, mas também apresenta grandes problemas estruturais, pois foi projetado para abrigar um terço da população atual. Informalmente, o bairro pode ser dividido em duas partes, sendo que a chamada *Restinga Velha* teve origem com o remanejamento, a partir de 1966, de moradores de diversas vilas que ocupavam áreas alagadiças e insalubres. Entretanto, a nova área também não tinha condições ideais, tendo sido ocupadas inclusive áreas de risco na encosta do morro São Pedro. A *Restinga Nova* surgiu de um projeto habitacional de grande porte, implantado a partir de 1970, o qual previa a instalação de indústrias na região; entretanto, o Distrito Industrial não saiu do papel.

O bairro Hípica faz parte de uma nova geração de bairros legalmente instituídos em Porto Alegre (PMPA, 2007) e a sua área povoada se estende sobretudo ao longo da avenida Juca Batista. É uma ocupação que se desenvolveu com a implantação de grandes loteamentos e, embora ainda apresente algumas características rurais, a perspectiva é de um crescimento acelerado nos próximos anos, com predomínio de conglomerados urbanos, facilitado pela reforma da avenida Juca Batista (finalizada no ano de 2005). Na divisa com a Hípica, o bairro Serraria engloba a foz do Arroio do Salso e é ocupado principalmente com condomínios horizontais, apresentando pequena densidade demográfica. Como destaque negativo, possui uma grande ocupação irregular em área suscetível a inundações causadas pelo lago Guaíba, a conhecida Vila dos Sargentos, que também se destaca pelos seus problemas sociais.

Ao sul do Serraria, o bairro Ponta Grossa também apresenta características rurais e baixa densidade demográfica, visto que sua ocupação predominante ocorre na forma de sítios e sedes de associações. Entretanto, abriga uma ocupação irregular de porte

considerável, no chamado Túnel Verde - às margens do Arroio do Salso, em uma área sujeita a frequentes episódios de inundações.

3.3 DO NACIONAL AO LOCAL: O FENÔMENO DA URBANIZAÇÃO

A ocupações irregulares, principalmente em áreas de risco, são fatos recorrentes em Porto Alegre e estão, em geral, diretamente relacionadas com as parcelas mais empobrecidas da população, envolvidas em um contexto histórico que extrapola os limites do município. Desde os primórdios de sua colonização, o **Brasil** é caracterizado como um país de desigualdades, marcado pela estratificação socioeconômica e pela concentração de renda. Historicamente, sempre coube às elites econômicas a apropriação das terras mais valorizadas, seja para moradia, seja para especulação imobiliária. Às camadas mais pobres da população, em geral cabia o trabalho braçal - para a elite colonial, trabalhar era tarefa de escravos ou de pessoas de baixa categoria social - e a posse de terras de menor valor ou de maior risco de ocupação. Pode-se afirmar que esta situação não mudou muito desde então, eis que os despossuídos continuam ocupando impróprias, como vertentes íngremes de morros, áreas ribeirinhas e planícies de inundação. É o que Bitoun (2003) chama de “círculo vicioso”, iniciado pela apropriação da terra na forma de sesmarias e, posteriormente, continuado pela forma elitizada com que foi estruturado o mercado de terras, obrigando continuamente os mais pobres a ocuparem as áreas menos favoráveis.

No Brasil, o século XX foi marcado pelo fenômeno de uma intensa urbanização, resultado da concentração de renda e de terras, da mecanização das lavouras, da industrialização dos centros urbanos e da falta de incentivos econômicos eficientes que pudessem manter os pequenos produtores rurais no campo. E os migrantes, por não disporem nem de meios materiais nem de conhecimentos para competir no mercado de trabalho urbano, frequentemente acabam se instalando em áreas desfavoráveis à ocupação, tornando-se vulneráveis a riscos ambientais. O QUADRO 02 demonstra em números a evolução do êxodo rural, que se tornaria rapidamente o maior responsável pelo inchaço das áreas urbanas.

QUADRO 02 – EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA E RURAL DO BRASIL

| ANO | POPULAÇÃO URBANA | | POPULAÇÃO RURAL | | POPULAÇÃO TOTAL |
|------|------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|
| | ABSOLUTA | % | ABSOLUTA | % | ABSOLUTA |
| 1940 | 12.880.182 | 31,24 | 28.356.133 | 68,76 | 41.236.315 |
| 1950 | 18.782.891 | 36,16 | 33.161.506 | 63,84 | 51.944.397 |
| 1960 | 31.303.034 | 44,67 | 38.767.423 | 55,33 | 70.070.457 |
| 1970 | 52.084.984 | 55,92 | 41.054.053 | 44,08 | 93.139.037 |
| 1980 | 80.436.409 | 67,59 | 38.566.297 | 32,41 | 119.002.706 |
| 1991 | 110.990.990 | 75,59 | 35.834.485 | 24,41 | 146.825.475 |
| 1996 | 123.076.831 | 78,36 | 33.993.332 | 21,64 | 157.070.163 |
| 2000 | 137.953.959 | 81,25 | 31.845.211 | 18,75 | 169.799.170 |

Fonte: IBGE (2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

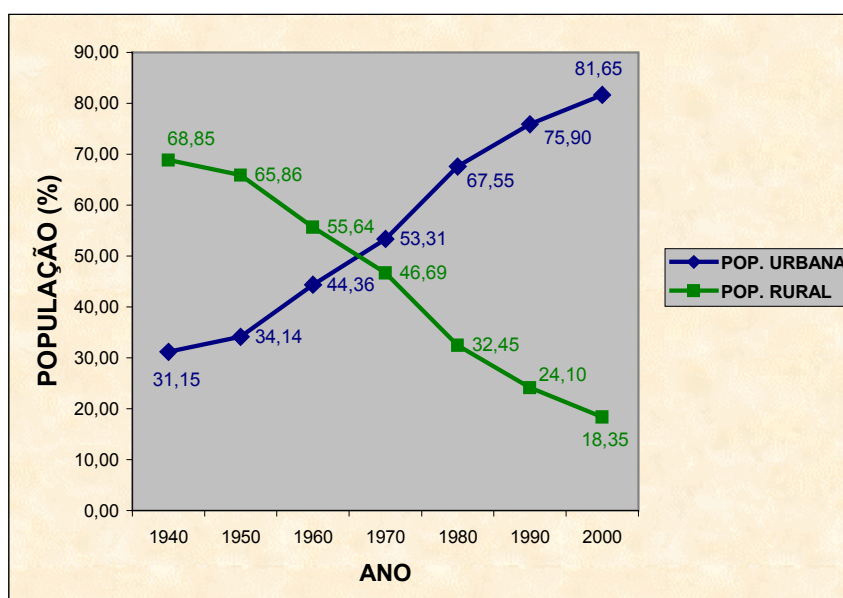
Estes dados demonstram uma inversão nos percentuais de população rural e urbana, principalmente a partir de 1970 - quando mais de 55% dos habitantes do país estavam nas cidades. Fujimoto (2000) afirma que no Brasil, assim como em outros países subdesenvolvidos que iniciaram tardiamente o processo de industrialização, a urbanização é causada por um êxodo rural sem precedentes na história humana.

O **Rio Grande do Sul** tem um tumultuado histórico de luta pela posse do seu território, marcado pela condição de terra fronteira, disputada a *ferro e fogo* pelas coroas portuguesa e espanhola. No século XVIII, devido à grande distância das terras sul-rio-grandenses em relação à corte portuguesa, foram instalados fortes e presídios para tentar garantir a ocupação do território. E, semelhantemente ao ocorrido em outras partes do Brasil, a coroa portuguesa distribuiu sesmarias a personalidades de prestígio e a militares, estratégia de ocupação que marcou o horizonte rural do país com a concentração de grandes extensões de terras nas mãos de poucos.

No século XX, sobretudo a partir das décadas de 1950 e 1960, o êxodo rural que marcou o período do pós-guerra no Brasil também atingiu o Rio Grande do Sul, inclusive a capital do Estado. O GRÁFICO 2 demonstra a dinâmica da urbanização regional que fez com que um Estado anteriormente de matriz econômica rural atingisse uma taxa de urbanização de mais de 53% na década de 1970. Atualmente, a população do Estado está distribuída de forma bastante desigual e as maiores densidades populacionais se concentram

na Região Metropolitana de Porto Alegre e na Aglomeração Urbana do Nordeste, assim como ao longo do eixo rodoviário entre ambas.

GRÁF. 2 – EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA E RURAL NO RIO GRANDE DO SUL



Fonte: IBGE (2003 e 2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

O município de **Porto Alegre**, colonizado sobretudo pelos açorianos no século XVIII, desenvolveu-se inicialmente às margens do lago Guaíba, pois o mesmo facilitava o transporte fluvial de produtos e de pessoas. Em 1820, com 12.000 habitantes (SOUZA e MULLER, 1997), a cidade já mostrava sinais de exclusão social; conforme Monteiro (1995), embora as principais vias da cidade fossem calçadas e limpas, a população mais pobre (mascates, artesãos, escravos libertos, etc.) habitava as vias transversais – conhecidas como becos. E o beco é até hoje uma das marcas das vilas de Porto Alegre.

Com o crescimento populacional decorrente da atratividade de uma região em expansão econômica, a cidade ultrapassou as suas fronteiras e, com o final da Revolução Farroupilha (1835-1845), que causou um grande inchaço populacional, os muros que cercavam a cidade foram derrubados e começaram a surgir os primeiros arraiais, inclusive na Tristeza, na zona sul da cidade, onde tornou-se comum a construção de casas de veraneio das populações mais abastadas. O período compreendido entre 1890 e 1945 foi marcado pela

industrialização no município, influenciada pelas dificuldades que as duas guerras mundiais impuseram à importação de bens. Porto Alegre passou a ser o centro industrial mais importante do Estado e o QUADRO 03 demonstra o rápido aumento populacional que se seguiu. Surgiu um “novo modo de viver e pensar a cidade”, na administração de Otávio Rocha (entre 1924 e 1928), que se manifestou na remoção das habitações populares “feias e infectas” (MONTEIRO, 1995) para os arrabaldes, enquanto alguns grupos eram privilegiados com políticas tributárias mais favoráveis.

QUADRO 03 – EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO DE PORTO ALEGRE

| ANO | POPULAÇÃO |
|------|-----------|
| 1780 | 1.500 |
| 1803 | 3.927 |
| 1807 | 6.035 |
| 1820 | 12.000 |
| 1848 | 16.900 |
| 1858 | 18.465 |
| 1872 | 34.183 |
| 1890 | 52.185 |
| 1900 | 73.274 |
| 1910 | 130.227 |
| 1920 | 179.263 |
| 1940 | 275.658 |
| 1950 | 394.151 |
| 1960 | 641.173 |
| 1970 | 885.545 |
| 1980 | 1.125.477 |
| 1990 | 1.263.403 |
| 2000 | 1.360.590 |

Fontes: Souza e Muller (1997) e IBGE (2009)
Organização: Luís M. Martins de Lima (2009)

Segundo Souza e Muller (1997), a partir de 1945 a cidade entrou na fase de metropolização. Atrativos fiscais do Governo do Estado passaram a incentivar a instalação de indústrias, culminando com a criação do Pólo Petroquímico de Triunfo. A partir das décadas de 1950 e 1960, principalmente, a cidade teve um crescimento acelerado das sub-habitações (FUJIMOTO, 2001) e expandiu-se em direção ao leste e ao norte. Atualmente, a zona sul de Porto Alegre, outrora de matriz predominantemente rural, é alvo de um processo de aceleração da urbanização, inclusive ao longo do Arroio do Salso.

No presente, as migrações ainda convergem para as regiões metropolitanas e para as grandes e médias cidades brasileiras, mas com muito menos intensidade. Porém, os índices atuais de urbanização já são mais que suficientes para explicar o inchaço das grandes cidades, com graves consequências expressas na miséria, no desemprego de uma população despreparada para um mercado trabalho cada vez mais exigente e na banalização da criminalidade. Na ilusão da imagem de prosperidade e de múltiplas oportunidades oferecida pelas grandes cidades, muitos migraram e, diante da realidade, acabaram por adensar os bolsões de miséria das periferias, ocupando áreas de risco.

4 PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS

Sendo a metodologia a “espinha dorsal” do trabalho de pesquisa (ROSS, 1992), é essencial que seja fundamentada no conhecimento científico acumulado e considerado válido. Como ocorre em qualquer ramo científico, nas ciências proliferam diferentes linhas de pensamento e importantes descobertas originaram-se de visões de mundo de autores que estavam longe de serem consenso em suas épocas. Neste sentido, corroboram as palavras de Masi (1999): “nas nossas ações cotidianas, cada um de nós orienta-se por uma visão de mundo pessoal, em parte herdada do passado, em parte elaborada pelos outros, em parte construída por nós mesmos”.

A fundamentação baseada no trabalho pretérito ou contemporâneo de outros autores não exime o pesquisador do ônus (ou desafio, conforme o espírito de cada pessoa) de escolher seu próprio *norte*. É importante que cada indivíduo tente imprimir sua marca pessoal, suas convicções próprias, enfim, sua linha de argumentação no trabalho, pois em uma ciência sempre em evolução como a Geografia, para a qual novos paradigmas surgem periodicamente, seria temerário expressar-se em termos de *certo ou errado*. Afinal, *verdade científica* é o que se acredita válido, aquilo que se aceita e que não pode ser definitivamente refutado à luz do atual conhecimento. É a verdade adjetivada, mas que serve como esteio, como ponto de partida para novas pesquisas.

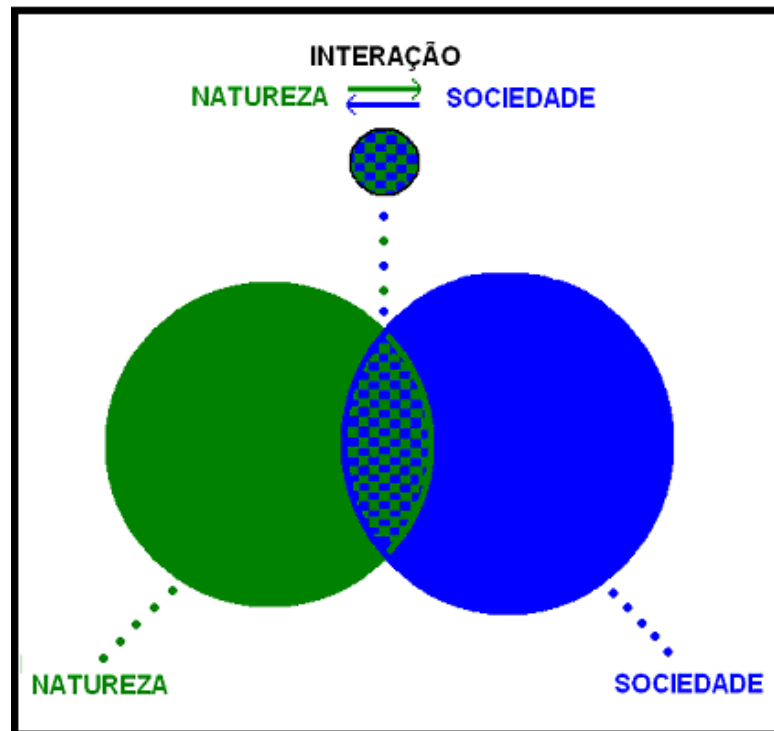
Desta forma, neste trabalho buscou-se compreender e explicar a realidade da área de estudo com base no aprendizado de diferentes autores, buscando-se *tecer*, nesta trama de ensinamentos variados, uma malha contendo a visão pessoal do pesquisador. A metodologia de pesquisa adotada nesta pesquisa está atrelada a quatro pilares básicos, a seguir detalhados.

4.1 COMPREENSÃO HOLÍSTICA

A ciência geográfica possui justamente a qualidade de estudar múltiplos aspectos da realidade simultaneamente, integrando-os e analisando-os como um todo interdependente. Não obstante algumas críticas, que qualificam a Geografia como *generalista* (no sentido pejorativo do termo), é justamente esta visão holística do meio ambiente e de nossa sociedade que enriquece a ciência e permite que o Geógrafo possa interpretar a realidade como um verdadeiro sistema, no qual os eventos e as ações de um determinado fragmento interferem de alguma forma no conjunto. Kohler (2002) enfatiza que “a abordagem holística na Geografia, e em particular na Geomorfologia, sempre existiu, e deverá ser incrementada no futuro, mediante o incremento da análise interdisciplinar”. Nesta perspectiva de análise, a umidade capturada no subsolo, por exemplo, será um volume a menos circulando na atmosfera; ainda que o efeito disto, isoladamente, possa não ser percebido, não podemos negar sua existência simplesmente porque não o captamos com nossos sentidos ou com nossa tecnologia atual. Semelhantemente, pode-se dizer que a retirada da vegetação de uma área, ainda que relativamente pequena, produzirá consequências, ainda que não facilmente perceptíveis ou mensuráveis.

Soares (1998, p.47) afirma que nos estudos do meio urbano aparece, frequentemente, o vício positivista de cisão entre “o social e o natural [...] a separação entre o que é o artificial e o natural no interior da cidade”, carecendo de uma visão da mesma como um todo, incluindo a natureza. É essencial para o Geógrafo – e se buscou nesta pesquisa – compreender o meio ambiente urbano como um sistema altamente inter-relacionado (BRANDÃO, 2005), considerando-se que a ação transformadora do homem, quando aplicada sobre os elementos naturais, conduz a um resultado que é decorrente de ambos (FIGURA 19).

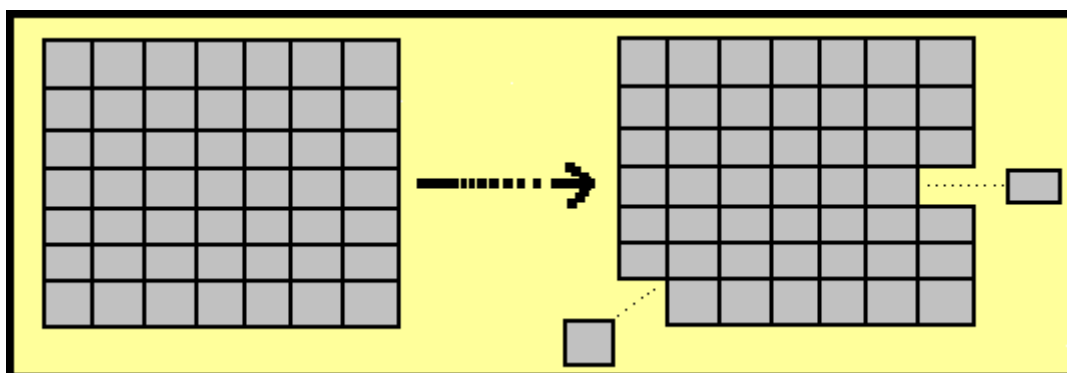
FIG. 19 – INTERAÇÃO ENTRE NATUREZA E SOCIEDADE



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2008)

Entre tantos outros autores, Ross (1994) e Spósito (2003) também preconizam a mesma necessidade de se compreender as sociedades humanas como elementos fundamentais dos ecossistemas onde vivem, pois influenciam no seu fluxo energético; ou seja: o homem pode ser visto como uma das engrenagens “desta grande máquina que é a natureza” (MEDEIROS, 2006). Assim, esta pesquisa buscou evitar compartimentações, assumindo-se que o fragmento (uma temática) faz parte do todo, ao passo que o todo não é completo sem qualquer de suas partes (FIGURA 20).

FIG. 20 – REPRESENTAÇÃO HOLÍSTICA



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2008)

Ressalta-se que Stringuini (2006) elenca sete aspectos que devem ser identificados em uma bacia hidrográfica para um diagnóstico ambiental completo, a saber: geografia, hidrologia (incluindo a qualidade das águas), uso das águas, climatologia, biologia, sócio-economia e energia. Porém, esta pesquisa não tem a pretensão de abordar todas as possibilidades de diagnóstico da paisagem, mesmo porque não há uma formação profissional que prepare um pesquisador para tanto. Um diagnóstico ambiental completo é atividade relacionada a várias disciplinas e esta pesquisa se concentra nas caracterizações físicas e nas ações antrópicas que influenciam, sobretudo, a dinâmica do escoamento hídrico da bacia do Arroio do Salso. A ênfase em alguns aspectos, entretanto, não impede a compreensão holística, desde que não se negue a influência de todos os fatores no conjunto da paisagem.

4.2 ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA

Nesta pesquisa, utilizou-se uma abordagem geomorfológica, o que não pressupõe qualquer forma de compartimentação, já que a finalidade da Geomorfologia é justamente encontrar uma “explicação para as paisagens” (CHRISTOFOLETTI, 1974) – e a paisagem urbana é o exemplo mais nítido do resultado da relação do homem com a natureza. Ou seja, é uma linha de pesquisa que, ao permitir o estudo do ambiente de forma integrada com a ação do seu maior agente transformador na atualidade, que é o homem, permite uma compreensão sistêmica da realidade. Christofolletti (1974) também afirma que a Geomorfologia “visa a tornar as paisagens mais benéficas” para o homem; pensando-se desta forma, sua aplicação no estudo ambiental urbano se justifica plenamente.

Mais especificamente quanto à questão da dinâmica hídrica, a importância da ciência geomorfológica para a análise ambiental se demonstra pelos ensinamentos de Strahler & Strahler (1989), os quais afirmam que “la geomorfología se ocupa de la acción de los agentes modeladores que erosionan, transportan y depositan materias minerales y orgánicas”. E os mesmos autores acrescentam que, dos quatro agentes modeladores (águas correntes superficiais e subterrâneas, ondas e correntes em oceanos e lagos, gelo glacial e vento), três deles, como se percebe, estão relacionados à água, o que bem demonstra seu potencial transformador da paisagem.

Por sua vez, Cunha (2003) destaca que a importância da Geomorfologia Fluvial vem crescendo principalmente desde a década de 1970, devido à sua preocupação com a ação humana sobre os corpos hídricos, que modifica muitas vezes não apenas os cursos d’água mas até mesmo toda a bacia hidrográfica que os contém. É justamente este *status* de “condicionante da própria vida humana” (CUNHA, 2003) que a Geomorfologia Fluvial traz no seu bojo que justifica esta linha de estudo do ambiente.

4.3 BACIA HIDROGRÁFICA COMO ESCALA DE ANÁLISE

Na pesquisa geográfica, a escolha da escala de abordagem é uma decisão que resulta em grande influência na adoção de uma linha metodológica, na determinação da necessidade de recursos financeiros e materiais, no planejamento do cronograma de execução, na qualidade e no detalhamento dos dados secundários a serem obtidos, etc. Como exemplo prático que corrobora com o exposto, Botelho (2005) salienta que é possível que existam variações climáticas ao longo da rede de drenagem de uma mesma bacia hidrográfica e estes dados podem estar disponíveis e mesmo cartografados. Já para uma microbacia, entretanto, se não houver uma estação meteorológica ou pluviométrica na área, a obtenção de dados adequados para esta escala poderia exigir elevados recursos materiais e financeiros.

A escolha da escala de análise certamente conduz a algum nível de generalização e isto tem de ser avaliado pelo pesquisador ao estabelecer os objetivos do seu trabalho. Kohler (2002) demonstra bem esta realidade ao citar que, por exemplo, a deriva continental é medida em milímetros por ano, ao passo que a evolução de uma voçoroca pode atingir vários metros no mesmo período. Nesta pesquisa, a bacia hidrográfica é a unidade de análise – mais especificamente, trata-se de uma sub-bacia, que contém os mesmos atributos conceituais de uma bacia, mas cujas águas convergem para uma entidade maior, que é a Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, de quem é tributária. A bacia hidrográfica vem sendo reconhecida como unidade de análise e planejamento ambiental desde a década de 1960, devido à sua visão sistêmica, ou seja, à possibilidade de “se conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem” (BOTELHO e SILVA, 2004). No Brasil, sobretudo a partir da década de 1990, a bacia hidrográfica vem substituindo as unidades político-administrativas ou aquelas delimitadas por quadrículas de coordenadas cartográficas como categorias de análise (BOTELHO, 2005).

A delimitação de uma bacia hidrográfica por meio da identificação dos divisores de águas pressupõe que toda a chuva precipitada sobre a área deverá fluir em superfície ou subsuperficialmente até os canais de drenagem, os quais escoarão o fluxo até outro corpo hídrico. Porém, existe a possibilidade de os divisores de água superficiais não corresponderem aos subsuperficiais, podendo haver troca de água entre bacias contíguas; entretanto, conforme Netto (1996), pode-se considerar que o pressuposto do escoamento para um ponto comum é válido para “análises em geral”, categoria onde se enquadra esta pesquisa, dada a escala de abordagem escolhida. Finalizando o embasamento metodológico referente à escala, salienta-se que a escolha do subsistema *bacia hidrográfica* como unidade de análise é apenas uma delimitação técnica, pois não se supõe a mesma como não imune às influências regionais e globais - sistemas maiores e inter-reagentes.

4.4 VALORIZAÇÃO DOS PROCESSOS

Para serem bem compreendidas, as questões ambientais precisam ser vistas sob uma perspectiva dinâmica, como um processo, uma construção ao longo de um período de tempo (definido ou não). Esta compreensão já é largamente difundida no meio geográfico, ainda que seja um grande desafio promover a “articulação de tempos presentes, tempo dos ciclos ecológicos e tempo geológico” (COELHO, 2005) pois, frequentemente, os dados necessários não estão disponíveis ou ainda não são conhecidos. Para o desenvolvimento desta pesquisa, pressupõe-se que é essencial conhecer os condicionantes que permitiram a ocorrência de um determinado evento ou situação, principalmente o tempo histórico, que constitui a faixa de atuação humana. Seguiu-se a linha de pensamento de Verdum (2005) de que a degradação ambiental “traz consigo a marca das opções feitas pelo homem no passado” e de Santos (2001), para a qual os problemas ambientais são indissociáveis do processo histórico.

Como afirma Christofolletti (1974), “a paisagem geomorfológica que percebemos [...] é apenas uma etapa inserida em longa sequência de fases, passadas e futuras”. Neste mesmo entendimento, esta pesquisa segue uma perspectiva de valorização dos processos na construção da paisagem, não se limitando ao entendimento da realidade local como uma situação estanque, definida no tempo e no espaço. E o estudo sob esta óptica dinâmica e sistêmica, em que múltiplos agentes permanecem ativos na paisagem da área pesquisada, não se limita ao elementos naturais mas engloba “o conhecimento do histórico da área, seu desenvolvimento, a dinâmica da natureza e da sociedade” (FUJIMOTO, 2002, p.68), o que justifica os elementos a respeito de urbanização e ocupação inseridos no capítulo 3.

5 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Buscando-se atingir plenamente a consecução dos objetivos propostos, a pesquisa foi organizada e desenvolvida em etapas, seguindo uma linha lógica mas não hierarquizada, ocorrendo naturais concomitâncias na execução de diferentes partes do trabalho, como segue.

5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS E DE MATERIAIS

Esta etapa envolveu a coleta de dados referentes ao histórico pluviométrico de Porto Alegre bem como quanto à ocorrência pretérita de eventos de inundações. Algumas informações quanto a ocorrências foram obtidas com órgãos públicos, sendo fontes principais o DEP e a Defesa Civil do Rio Grande do Sul. Os dados pluviométricos brutos foram obtidos na *Internet*, pois são disponibilizados para livre acesso pelo Oitavo Distrito de Meteorologia (8.^o Disme, 2009) e pelo Metroclima (2009).

Em um segundo momento, foram obtidas as bases para a análise e produção cartográfica, sendo que nas temáticas de Geologia, solo e uso do solo foi utilizado e adaptado às necessidades da pesquisa o material cartográfico de Hasenack (2008), ao passo que a base geomorfológica foi obtida de Fujimoto & Dias (2008). Também serviram de base para a pesquisa algumas imagens do Google Maps (2009) - disponibilizadas livremente na *Internet* - mas apenas como complemento e planejamento da atividade de campo, visto que é material de diferentes resoluções, datas e origens. Por fim, foram obtidas com o Serviço de Geoprocessamento da PMPA as bases vetoriais contendo as curvas de nível e a rede de drenagem, posteriormente utilizadas para a análise geomorfológica.

5.2 ANÁLISE E PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA

A cartografia é um dos instrumentos mais importantes para o Geógrafo e possui dupla função no trabalho de pesquisa. Sua elaboração contribui para que o próprio pesquisador conheça a área de estudo e seus atributos, pois é necessária a manipulação de dados e a observação das imagens básicas para que possa elaborar um novo produto. Uma vez pronto, o produto cartográfico serve de instrumento de análise e comunicação, inclusive para o público leigo, ou seja, sua importância se manifesta desde o início da pesquisa até a apresentação dos resultados. Neste trabalho, foram utilizados materiais cartográficos com as temáticas a seguir especificadas, alguns adaptados mediante o tratamento de imagens em *softwares* de geoprocessamento.

5.2.1 GEOLOGIA

Visando a caracterização da área de estudo quanto ao embasamento litológico no contexto da área ocupada pelo município de Porto Alegre, foi utilizado o mapeamento geológico elaborado por Hasenack (2008).

5.2.2 SOLOS

O mapa de solos foi extraído do material cartográfico produzido por Hasenack (2008). Além de servir para caracterizar a área de estudo quanto a um dos seus elementos fundamentais, que é o tipo de solo, o mapa também foi utilizado para digitalização dos polígonos temáticos, com o uso do *software Cartalinx*. Posteriormente, os polígonos classificados foram utilizados na análise das correlações entre os planos de informações, com o uso do *software Idrisi 32*.

5.2.3 OCUPAÇÃO E USO DO SOLO

Para caracterização da ocupação e do uso do solo também foi utilizado o material cartográfico produzido por Hasenack (2008), contendo as diversas categorias de habitação, cultivo e vegetação remanescente.

5.2.4 GEOMORFOLOGIA

Para a caracterização geomorfológica geral da bacia, foi utilizado o mapeamento produzido por Fujimoto & Dias (2008), ao passo que a análise das particularidades geomorfológicas, em maior escala, foi executada com o uso de imagens do Google Maps (2009) e complementada com o trabalho de campo. A abordagem com ênfase geomorfológica é essencial para a compreensão da dinâmica hídrica, bem como para avaliar as áreas onde a intervenção antrópica causou alterações consideráveis no ambiente (FUJIMOTO, 2002). Nesta mesma linha, Vedovello (1996) e Cristo (2002), entre outros, citam que a análise geomorfológica é fundamental para a avaliação da suscetibilidade a eventos indesejados – tais como inundações e movimentos de massa.

5.2.5 DRENAGEM E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Dentre as opções existentes, foram utilizadas as bases digitais fornecidas pela PMPA (2009c), no formato *shape*, contendo a rede de drenagem e os limites da bacia, em formato vetorial. Como subsídio ao estudo do escoamento superficial, foi utilizado o mapa produzido por Hasenack (2008).

5.2.6 DECLIVIDADE E HIPSOMETRIA

O estudo da declividade das vertentes permite uma análise do fluxo torrencial de água na superfície (MENDONÇA, 1999), além da compreensão dos processos erosivos que arrastam materiais para os cursos d'água. É um dado essencial que, em conjunto com a observação de outros fatores (como o grau de impermeabilização e as características do solo, a existência de barreiras físicas para o escoamento, etc.), possibilita a análise da suscetibilidade de determinada área a absorver ou escoar superficialmente a água precipitada.

Em grande parte da bacia do Arroio do Salso predominam áreas de baixas declividade e altitude, elementos importantes na temática das inundações, além de existirem também morros residuais e áreas de colinas que contribuem para orientar a drenagem. A PMPA (2009c) forneceu 24 arquivos digitais no formato do *software Autocad*, contendo as curvas de nível com equidistância de 2 metros. Entretanto, o arquivo continha apenas as isolinhas, sem o atributo de altitude. Sendo inviável, no tempo da pesquisa, inserir os valores *manualmente* em todas as isolinhas, foram escolhidas apenas aquelas que representavam múltiplos de 20 metros, além de curvas complementares (com equidistância de 1 metro), nas áreas mais planas. A seguir, no ambiente do *software Cartalinx*, foram atribuídos os valores de cotas para as isolinhas.

Utilizando-se esta base vetorial, importada para o *Idrisi 32*, foram produzidos os mapas de declividade e hipsometria - utilizados posteriormente para análise do escoamento. Exportada para o *software Surfer*, a base topográfica também permitiu a elaboração de um modelo tridimensional do terreno, possibilitando uma visualização mais clara das formas da paisagem.

5.2.7 ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES

O mapeamento das áreas suscetíveis inclui as não ocupadas, pois a tendência é de intenso incremento na ocupação da bacia do Arroio do Salso e a perspectiva deve ser sempre preventiva.

5.3 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

No decorrer da pesquisa, foram realizadas, aproximadamente, trinta inspeções de campo, visando o reconhecimento da paisagem, a coleta de dados, a busca de informações com moradores da área e o registro fotográfico. O trabalho de campo consistiu, sobretudo, em um instrumento essencial de pesquisa, principalmente no que se refere à observação da dinâmica hídrica sob diferentes regimes pluviométricos. Mesmo em uma época em que podemos ter *acesso* instantâneo ao mundo todo por meio do *Google Maps* e do *Google Earth*, a dinâmica da natureza ainda só pode ser percebida de fato ao vivo. Inicialmente, as inspeções de campo serviram para confrontação das informações preliminares com a realidade local, tendo sido efetuado registro fotográfico e o reconhecimento de diferentes áreas da bacia, observando-se o que segue:

- a) características geomorfológicas que indicam propensão à acumulação de água da chuva;
- b) alterações antrópicas que influenciam a dinâmica do escoamento superficial;
- c) características das principais obras de infraestrutura de controle da drenagem e
- d) dinâmica de uma seção transversal do Arroio do Salso em períodos de estiagem e de chuvas intensas.

Visto que a bacia do Arroio do Salso possui uma área muito extensa, o reconhecimento de campo seguiu, parcialmente, o sugerido por Mendonça (1999), a saber: “quando se tratar de área urbana, o mais fácil é seguir, preferencialmente, o arruamento das vias públicas”. Considerando, também, que os canais de drenagem tendem a buscar seu equilíbrio (CUNHA, 2003), a prioridade dos trabalhos de campo se deu nas áreas mais urbanizadas, passíveis de sofrerem alterações substanciais na dinâmica natural.

Foram realizadas, também, inspeções de campo em dias de ocorrência de eventos pluviométricos intensos (ou antecedidos por chuvas prolongadas), para observação direta e registro fotográfico do comportamento do escoamento superficial e da rede de drenagem, sobretudo nas áreas previamente identificadas como suscetíveis ao transbordamento. Ainda que não haja uma coleta sistemática de dados de vazão do Arroio do Salso, a observação em períodos de grande pluviosidade, acompanhada da coleta de dados de descarga e do nível da lâmina d'água, permite que se obtenha uma idéia geral do comportamento da drenagem, visto que a determinação de um padrão exigiria vários anos de observação. Ainda que não se tivesse presenciado nenhum evento, a pesquisa não seria prejudicada em sua essência; entretanto, coube à natureza dispor de um mês de setembro (em 2009) com chuvas excepcionais para os padrões normais, fornecendo informações de grande importância.

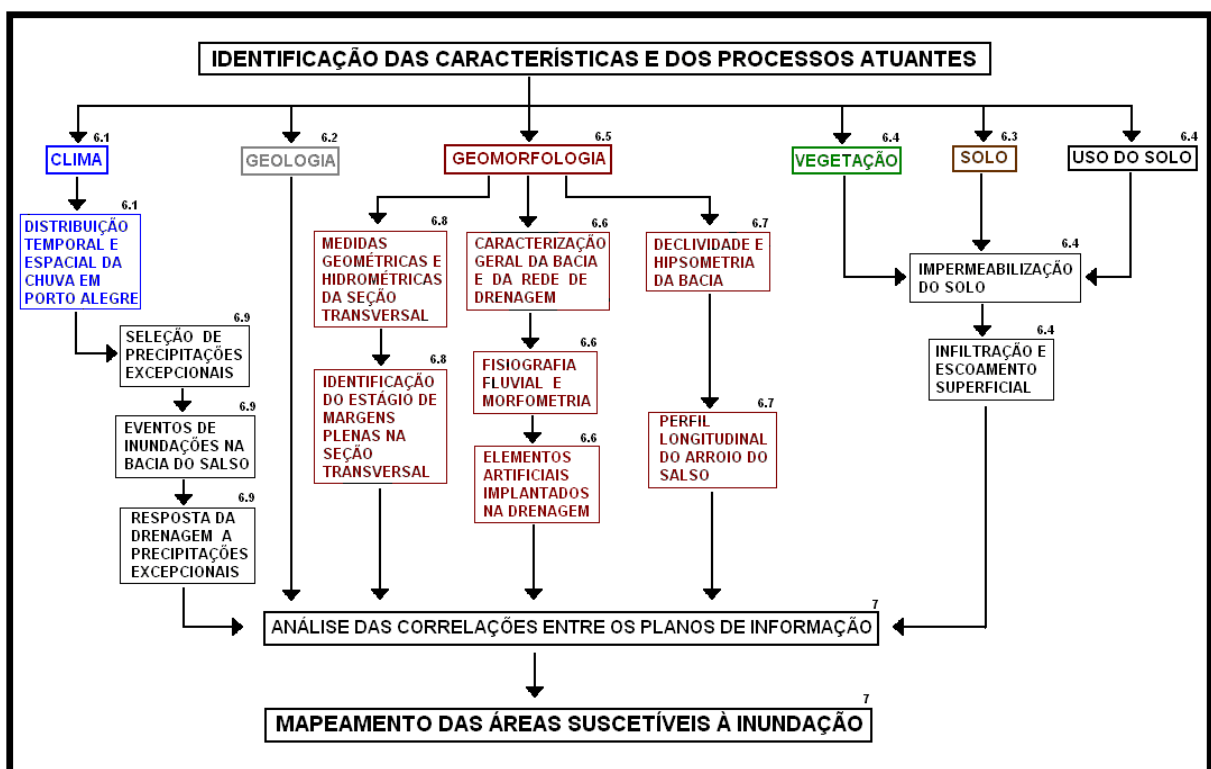
5.4 ANÁLISE AMBIENTAL COM ÊNFASE GEOMORFOLÓGICA

O estudo das inundações é uma temática complexa, para a qual não há fórmulas definitivas – é possível que, se uma mesma área for estudada com a aplicação de diferentes métodos, os resultados sejam semelhantes – ou, quiçá, muito divergentes. As engenharias e a Hidrologia, por exemplo, investem bastante em ferramentas matemáticas, sobretudo com a aplicação de modelos *chuva-vazão* e uso de diversas equações que buscam simular o comportamento da drenagem. Embora a natureza não dê - pelo menos ainda - uma resposta objetiva e precisa às interrogações da ciência, os avanços no conhecimento da dinâmica hídrica são nitidamente visíveis e os modelos podem ser usados para uma série de aplicações, sobretudo no dimensionamento de obras de controle do escoamento.

Uma outra forma de abordagem é a análise descritiva dos múltiplos aspectos de um determinado ambiente, como os tipos de solo, a conformação do relevo, a influência da cobertura vegetal, as modificações antrópicas no terreno e na calha fluvial, etc. E este é o ponto inicial do caminho seguido nesta pesquisa, visto ser mais coerente com as

características multiabrange da Geografia, em que o foco não se dá apenas nos efeitos, mas se direciona também para as causas e as possíveis consequências para a população exposta. Entretanto, a pesquisa não se limitou à análise descritiva, mas também buscou dados quantitativos e qualitativos em campo e na cartografia - a FIGURA 21 sintetiza a organização dos procedimentos técnicos.

FIG. 21 – FLUXOGRAMA DOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Obs.: os números sobre os retângulos indicam o capítulo em que o tema é abordado.

Pinheiro (2007) afirma que “a ocorrência de uma enchente é o resultado de vários fatores que interferem na formação dos escoamentos e na sua propagação ao longo da bacia de contribuição”. Ainda, que estes fatores podem ser de origem natural ou artificial. Nesta mesma abordagem multidisciplinar, Zuffo (2007) relaciona as enchentes urbanas às características geológicas, topográficas e morfológicas da bacia hidrográfica. O substrato rochoso influencia na produção do tipo de solo predominante e, ainda que Pinheiro (2007) relativize o papel do solo em caso de chuvas intensas - pois seria rapidamente saturado - é um

dado de importância fundamental e que não pode ser desconsiderado. Já pela análise da topografia, pode-se inferir a velocidade e a direção do escoamento hídrico.

Todos estes dados permitem que se faça deduções, que devem ser confirmadas em campo, com uma visão geográfica abrangente que contemple todos os fatores envolvidos - na medida do possível, considerando-se que as pesquisas envolvem principalmente tempo e recursos, podendo-se admitir que, no mínimo, as limitações sejam de ordem prática e não metodológica. Inicialmente, buscou-se a identificação dos macro elementos que compõem e/ou atuam sobre o município de Porto Alegre, ou seja, os processos climáticos, a ação modificadora do homem, as características geológicas e geomorfológicas, a cobertura vegetal e os tipos de solo (capítulo 6, seções 1 a 5).

A partir da identificação destes fatores, partiu-se para o detalhamento, em maior escala, de alguns aspectos diretamente relacionados ao estudo das inundações. Primeiramente, na seção sobre o clima, foram utilizados dados de precipitação fornecidos pelo 8.^o Disme (2009) e pelo Metroclima (2009) para o reconhecimento de padrões de distribuição temporal e espacial da chuva em Porto Alegre – e os gráficos comparativos demonstram que a variabilidade espacial é bem marcante entre as regiões da cidade. Na seção que trata dos solos, foram analisados os diversos tipos ocorrentes na área da bacia e sua influência no tema das inundações, com base no material cartográfico e em dados complementares do IBGE (2007). A seção 6.4 abordou o uso do solo na bacia e a cobertura vegetal remanescente, demonstrando as classes de ocupação e as possíveis consequências da impermeabilização do solo em áreas urbanizadas. Para isto, utilizou-se de material bibliográfico de vários autores, além da base cartográfica de Hasenack (2008), nas temáticas de escoamento superficial e uso e ocupação do solo.

Nesta pesquisa, foram analisadas com maior ênfase as características geomorfológicas (incluindo as alterações antrópicas) que predisõem à ocorrência de inundações e que foram perceptíveis na área da bacia. Foram estudadas as imagens de satélite do Google Maps (2009) e o material cartográfico obtido de Fujimoto & Dias (2008), observando-se o arranjo da drenagem e sua relação com a topografia. A base cartográfica produzida por Fujimoto & Dias (2008) pode ser incluída no terceiro táxon da classificação proposta por Ross (1992), conforme QUADRO 04. Partindo-se deste grau de generalização

geomorfológica, a seção 6.6 aborda as características mais específicas da bacia, tais como a fisiografia fluvial, o arranjo e a hierarquia da drenagem, as medidas morfométricas e as obras de engenharia implantadas na drenagem. A seguir, na seção 6.7, foram estudadas as características topográficas, com a produção de material cartográfico. As curvas de nível fornecidas pela PMPA (2009c) foram utilizadas tanto para geração do perfil longitudinal do Arroio do Salso como para elaboração dos mapas de hipsometria e declividade (com o uso do *software Idrisi 32*), além de um modelo tridimensional do terreno (com a utilização do *Surfer*).

QUADRO 04 - NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

| TAXON | CARACTERÍSTICAS |
|-------|--|
| 1 | Unidades morfoestruturais. Exemplos: bacia sedimentar e estruturas dobradas metamorfoizadas. |
| 2 | Unidades morfoesculturais, geradas pela ação climática na morfoestrutura. Exemplos: planaltos e depressões periféricas. |
| 3 | Unidades dos Padrões de Formas Semelhantes do Relevo ou Padrões de Tipos de Relevo. Exemplo: Padrões de formas em cristas, morros e serras. |
| 4 | Formas de relevo individualizadas dentro de cada Unidade de Padrão de Formas Semelhantes. Exemplo: colinas de topos convexos e colinas de topos planos e amplos. |
| 5 | Vertentes ou setores das vertentes das formas individualizadas de relevo. Exemplos: setores de uma vertente (planos, convexos, retilíneos, etc.). |
| 6 | Formas menores produzidas por processos erosivos atuais ou por depósitos atuais, incluindo formas antrópicas. Exemplos: voçorocas, assoreamentos e aterros. |

Fonte: Ross (1992)

Organização: Luís M. Martins de Lima (2009)

Foi escolhida uma seção transversal para elaboração do perfil do leito do Arroio do Salso e realização de medidas, inclusive com a identificação do limite de margens plenas (seção 6.8), visando colher subsídios para avaliação do comportamento da drenagem sob precipitação, o que foi feito logo a seguir, na seção 6.9. Este estudo da seção transversal é essencial para que se possa identificar e compreender os efeitos da ação antrópica na dinâmica da drenagem. Com base nos relatos de ocorrências fornecidos pelo DEP e pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul (além de informações obtidas em pesquisa na imprensa), foi elaborada uma seleção de eventos de chuvas intensas, relacionando as datas em que houve inundações com os respectivos índices pluviométricos. Para estas datas, foram calculados dados complementares, sendo que alguns destes dias coincidiram com inspeções de campo, de forma que as fotografias e os dados obtidos e calculados permitiram a comparação do comportamento da drenagem em diversas ocasiões.

O mapeamento (capítulo 7) representa o resultado, em forma gráfica, de todo o trabalho de pesquisa, e foi elaborado com base nas informações coletadas, tanto na literatura como em campo e no material cartográfico. Inicialmente, a simulação das áreas potencialmente inundáveis pelo lago Guaíba foi elaborada com base no *layer* de altimetria, do qual foram subtraídos, por meio do processo *scalar* do *software Idrisi 32*, os valores de 1, 2, 3 e 4 metros. A seguir, o arquivo resultante foi reclassificado por meio do comando *reclass*, para que fossem exibidos somente os *pixels* em que a altimetria assumiu valor inferior ou igual a zero. Para o mapeamento das manchas de inundação, foram consideradas somente as áreas contínuas.

Posteriormente, foram correlacionados os planos de informação estudados no capítulo 6, sendo analisados os elementos reconhecidos na literatura como causadores ou potencializadores de inundação. Foram considerados três critérios, simultaneamente, para delimitação espacial da mancha de áreas suscetíveis, a saber: declividade predominante inferior a 2%, cota altimétrica máxima de 20 metros e padrão de relevo em forma de planície flúvio-lagunar (com ou sem cordões arenosos). No interior da mancha, as áreas suscetíveis foram distribuídas em quatro classes, acrescidas da identificação dos pontos em que a suscetibilidade natural é intensificada devido à ação do homem na transformação da rede de drenagem e do seu entorno. Da soma de todo o conhecimento, foi elaborado o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação.

6 ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

Para que se pudesse analisar os condicionantes que tornam a bacia do Arroio do Salso suscetível à inundação, foi necessário identificar e descrever as características gerais e as peculiaridades da área, bem como caracterizar os processos climáticos que atuam sobre ela, sobretudo quanto ao seu elemento mais atuante – a chuva. Assim, as seções seguintes tratam dos diversos temas pertinentes.

6.1 CLIMA E CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO

6.1.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA REGIONAL

O clima atuante sobre o município de Porto Alegre, conforme a classificação de Köppen, é o subtropical úmido (Cfa), com uma precipitação média anual de 1400 mm, atingindo as maiores concentrações no mês de junho. A temperatura média anual é de 24,2^o C e a umidade relativa aproxima-se de 79% (MENEGAT *et al*, 1998a). A classificação *Cfa* indica um clima temperado chuvoso e quente, sem estação seca, com o mês mais quente do verão atingindo temperatura média superior a 22^o C e mês mais frio com temperatura média superior a 3^o C (SILVEIRA, 2007). Para Tucci *et al* (2000), as chuvas são bem distribuídas durante o ano, ocorrendo diferenças pouco significativas entre os extremos, ainda que as maiores precipitações ocorram no inverno e na primavera.

Para o estudo das inundações, o foco da análise climática está relacionado diretamente à questão dos índices de precipitação, considerando-se sua distribuição espacial e temporal. Afinal, enquanto a Geologia, a Geomorfologia, o uso e ocupação do solo, etc., influenciam principalmente no condicionamento de uma área à inundação, é a chuva que provoca a ocorrência efetiva da mesma (VEDOVELLO, 1996). Do ponto de vista espacial, a precipitação pode ter origem em mecanismos que atuam em âmbito regional ou local, sendo

que as chuvas regionais, principalmente no sul do Brasil, estão fortemente associadas à entrada de massas polares que se confrontam com outras mais quentes e úmidas e dão origem aos fenômenos das frentes frias. E estas frentes estão associadas à ocorrência de chuvas intensas e de curta duração no verão e de precipitações mais duradouras e de menor intensidade no inverno.

As chuvas causadas por mecanismos locais – que podem se sobrepor aos efeitos das perturbações frontais – são as principais responsáveis pela variabilidade pluviométrica de uma determinada área e podem se manifestar pela movimento convectivo onde houver um maior aquecimento ou pela ascensão do ar devido à presença de barreiras orográficas (NETTO, 1996). Segundo Britto (2004), as flutuações regionais dos índices de pluviosidade no Rio Grande do Sul crescem no sentido sul-norte, variando de 1200 mm a 2000 mm anuais, ou seja, em termos gerais, chove mais no norte do Estado do que na sua metade sul, o que poderia ser explicado pela orografia da região norte, também sujeita à maior atuação dos sistemas tropicais, no verão.

A variabilidade pluviométrica sazonal no Estado está bastante relacionada à atuação de diferentes massas de ar. No inverno, a Massa Polar Atlântica avança no Estado, sobretudo em direção nordeste, e frequentemente encontra-se com a Massa Tropical Atlântica, cujos ventos predominantes são oriundos de Nordeste - e este confronto causa a maior parte das chuvas da estação. Estes sistemas frontais, no inverno, ocorrem com bastante frequência e têm grande velocidade de deslocamento, sendo responsáveis por chuvas intensas e/ou prolongadas. Na primavera, há uma diminuição da intensidade das massas polares mas elas continuam atuando, podendo ocasionar grandes declínios de temperatura nos meses de setembro e outubro. Além disto, o Estado também sofre a ação dos Complexos Convectivos de Mesoescala, sistemas que se formam à noite no norte da Argentina e no sul do Paraguai (BRITTO, 2004) e que se deslocam com rapidez, causando intensa precipitação no noroeste do Estado.

No verão, a Massa Polar Atlântica tem sua intensidade bastante reduzida, e passam a atuar com mais intensidade a Massa Tropical Continental e a Massa Tropical Atlântica (quente e úmida), que se desloca para o sul. O grande calor do verão no Estado provoca a formação de nuvens convectivas do tipo *cumulonimbus*, podendo resultar em

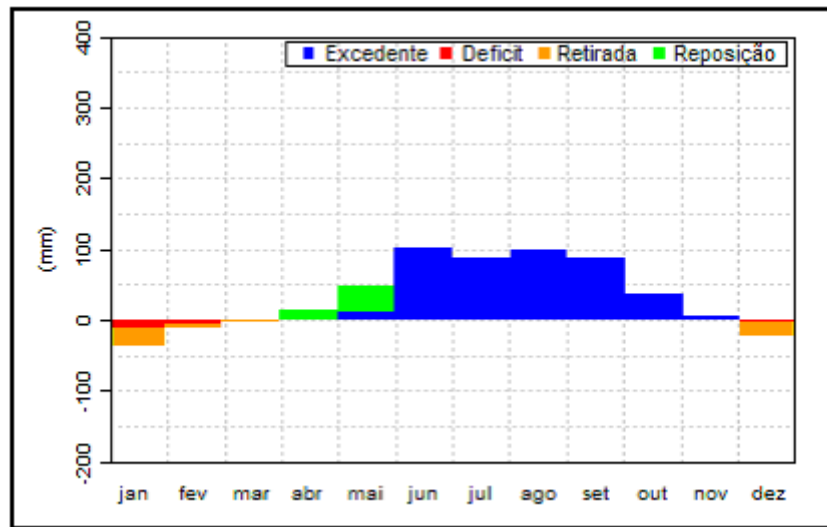
chuvas intensas de curta duração, principalmente nos finais de tarde (BRITTO, 2004). As chuvas também podem estar associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul, que são áreas de instabilidade que se deslocam do sul do Amazonas até o norte do Rio Grande do Sul (BRITTO, 2004). O outono, semelhantemente à primavera, é um período de transição, que pode apresentar tanto características de verão como de inverno e é uma época em que a ação das massas de ar tropicais continentais pode ser intensificada, frequentemente ocorrendo bloqueios atmosféricos que mantêm estacionadas as frentes polares sobre o rio Uruguai e no sul do Estado.

Analisando a variabilidade interanual das precipitações no Estado, Nery *et al* (1997) identificaram que uma grande parte das intensidades pluviométricas mais significativas no período abrangido pelo estudo estavam associadas ao fenômeno El Niño Oscilação Sul/ENOS. Os autores identificaram dezenove anos de precipitações intensas no Estado entre 1913 e 1990, a saber: 1914, 1915, 1928, 1932, 1936, 1940, 1941, 1954, 1959, 1966, 1972, 1973, 1977, 1982, 1983, 1984, 1986, 1987 e 1990. Não por coincidência, em vários destes anos houve ocorrências de inundações em Porto Alegre, conforme pode ser visto no QUADRO 1 (seção 1.4.3).

6.1.2 VARIABILIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM PORTO ALEGRE

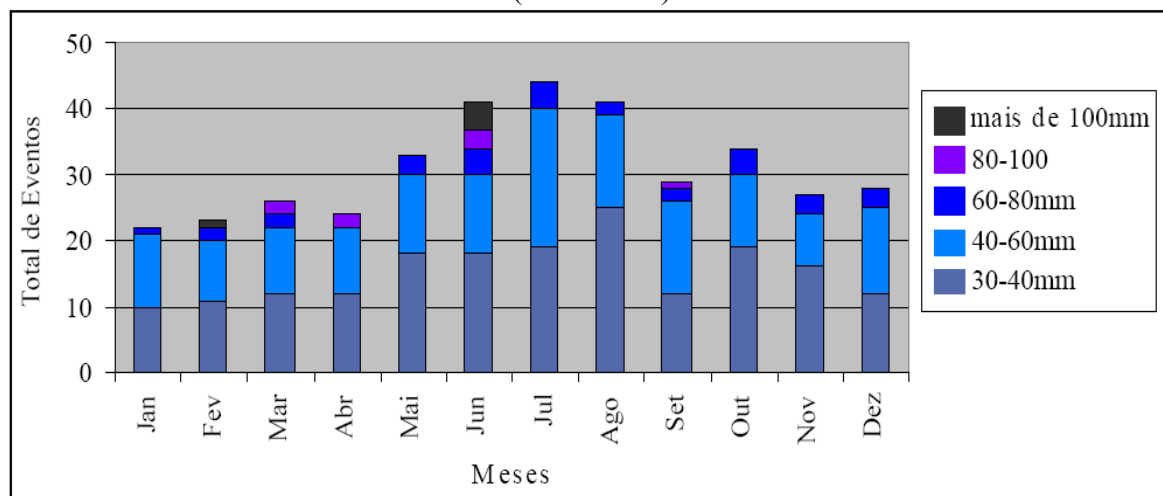
Fujimoto (2001) utilizou dados de precipitação fornecidos pelo 8.^o Disme para analisar a dinâmica das chuvas em Porto Alegre, no período de 1970 a 1999 e, da mesma forma que Nery *et al* (1997), também reconheceu como mais chuvosos os anos de 1972, 1987 e 1984, com índices, respectivamente, de 1984,6 mm, 1731,2 mm e 1677,8 mm. Quanto à distribuição temporal, Fujimoto (2001) observou que a precipitação em Porto Alegre é bem distribuída durante o ano, com maior concentração no período de junho a setembro, atingindo médias mensais de 130 a 145 mm nos meses mais chuvosos, o que se confirma pelo GRÁFICO 03, que demonstra a normal do balanço hídrico no período de 1961 a 1990. No GRÁFICO 04, pode ser vista a distribuição dos eventos entre 1970 e 1999, ficando nítida a predominância de ocorrência de chuvas com índices de precipitação entre 30 e 40 mm, seguidos pela faixa de 40 a 60 milímetros.

GRÁF. 03 – BALANÇO HÍDRICO DE PORTO ALEGRE (1961-1990)



Fonte: Inmet (2009)

GRÁF. 04 – DISTRIBUIÇÃO DOS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO EM PORTO ALEGRE (1970-1999)

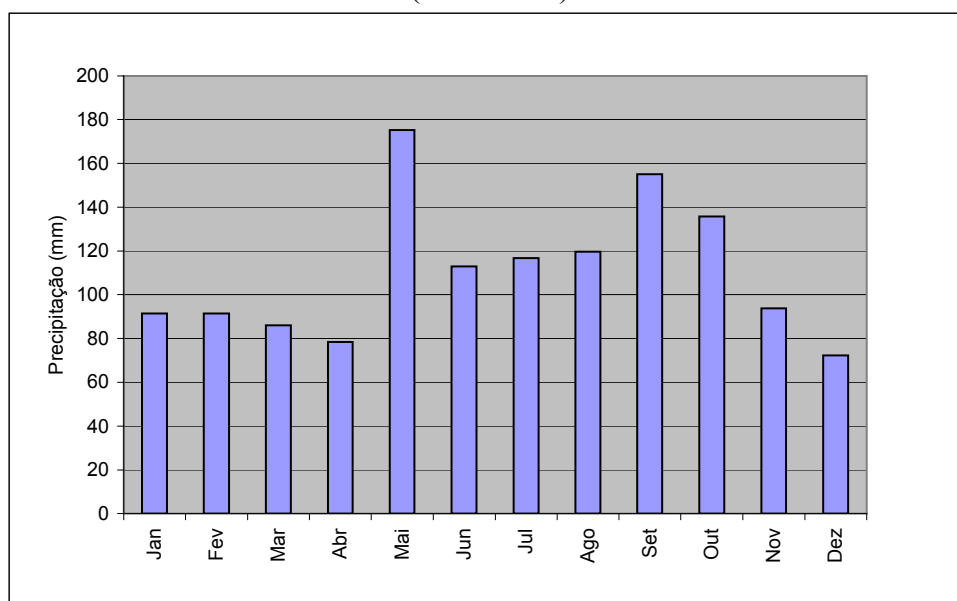


Fonte: Fujimoto (2001)

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

Já para o período de 2004 a 2008, esta pesquisa utilizou dados também fornecidos pelo 8.^o Disme, de forma que no GRÁFICO 05 podem ser observados os volumes médios de precipitação mensal. O período avaliado é curto, insuficiente para caracterizar qualquer tendência climática, servindo apenas como demonstrativo do comportamento pluviométrico em cada mês, nos últimos anos.

GRÁF. 05 – MÉDIAS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM PORTO ALEGRE
(2004-2008)



Fonte: 8.^o Disme (2009)
Organização: Luís M. Martins de Lima (2009)

Zahed Filho & Marcellini (1995) demonstram que a distribuição temporal da chuva condiciona o volume de água que se infiltra no solo e a forma do hidrograma do escoamento superficial da precipitação excedente. Para demonstração gráfica da intensidade da chuva ao longo de um determinado período, utiliza-se o hietograma, que depende do fornecimento de dados contínuos, nem sempre disponíveis. Os mesmos autores afirmam que, embora haja grande dispersão nos padrões de hietogramas para chuvas de mesma duração (devido à complexidade dos múltiplos fatores envolvidos), algumas tendências podem ser percebidas e são apresentadas no QUADRO 05.

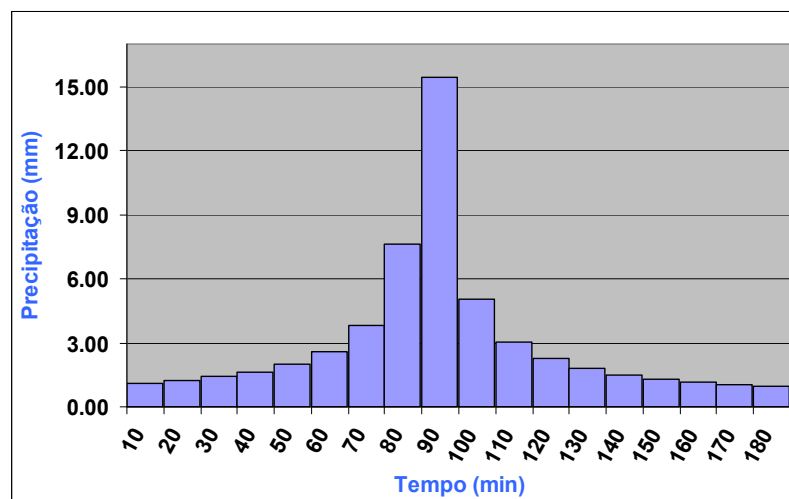
QUADRO 05 – PADRÕES TEMPORAIS DE PRECIPITAÇÃO

| DURAÇÃO DA CHUVA | PADRÕES OBSERVADOS |
|------------------------------------|---|
| Curta, menos de 30 minutos. | O hietograma demonstra grandes intensidades no início da precipitação. |
| Intermediária, menor que 10 horas. | As maiores intensidades da chuva ocorrem na primeira metade da duração total. |
| Longa, acima de 10 horas. | O hietograma demonstra intensidades mais uniformes de precipitação. |

Fonte: Zahed Filho & Marcellini (1995)
Organização: Luís M. Martins de Lima (2009)

Uma das variáveis envolvidas no estudo da dinâmica hídrica é o tempo de concentração, que representa o tempo que a água precipitada precisa, hipoteticamente, para se deslocar do ponto mais distante de uma bacia até sua seção principal. Nos estudos para implantação do Complexo de Tratamento de Esgotos/CTE da Serraria, no âmbito do Programa Integrado Socioambiental/PISA, a PMPA (2000) dividiu a área a montante do empreendimento em 3 bacias (inseridas na bacia do Arroio do Salso), visando estimar a contribuição hídrica das mesmas e obteve um tempo de concentração de 180 minutos. Outro parâmetro importante é a Curva de Intensidade-duração-frequência (IDF), que representa uma precipitação que é “o máximo pontual que possui abrangência espacial reduzida” (TUCCI *et al*, 2005) e é determinada com base em dados históricos de pluviógrafos. Utilizando-se da curva IDF estimada para o posto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas/IPH, em Porto Alegre, e considerando um tempo de retorno de 10 anos (adequado para projetos de microdrenagem), além do tempo de concentração de 180 minutos, a PMPA (2000) construiu um hietograma de projeto, demonstrando o padrão esperado de evolução da precipitação na bacia (FIGURA 22).

FIG. 22 – HIETOGRAMA DE PROJETO PARA AS BACIAS A MONTANTE DO CTE SERRARIA



Fonte: PMPA (2000)

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

6.1.3 VARIABILIDADE ESPACIAL DAS CHUVAS EM PORTO ALEGRE

Conforme TUCCI (2005), as precipitações intensas costumam ocorrer de forma mais localizada, tendo origem convectiva e orográfica, ao passo que as chuvas de origem frontal atual sobre grandes áreas. Visto que o município de Porto Alegre tem uma grande área e características geomorfológicas bastante diversificadas, há condições para que ocorram intensidades diferenciadas de chuvas nas regiões da cidade, o que torna ainda mais importante a análise da distribuição espacial das precipitações. Após o intenso temporal ocorrido na cidade em 04/11/2005, com chuvas de 100 milímetros e de grande impacto sobre a população, a Prefeitura Municipal de Porto Alegre, por iniciativa da Defesa Civil, passou a planejar a criação de um plano para monitoramento meteorológico, concretizado em 2007 com o surgimento do Projeto Metroclima – Sistema de Vigilância Meteorológica de Porto Alegre. O Metroclima permite o monitoramento em tempo real dos efeitos dos eventos pluviométricos e possui uma rede de estações automáticas e pluviômetros (FIGURA 23), cujos dados permitem uma análise mais próxima da realidade de determinadas áreas da capital.

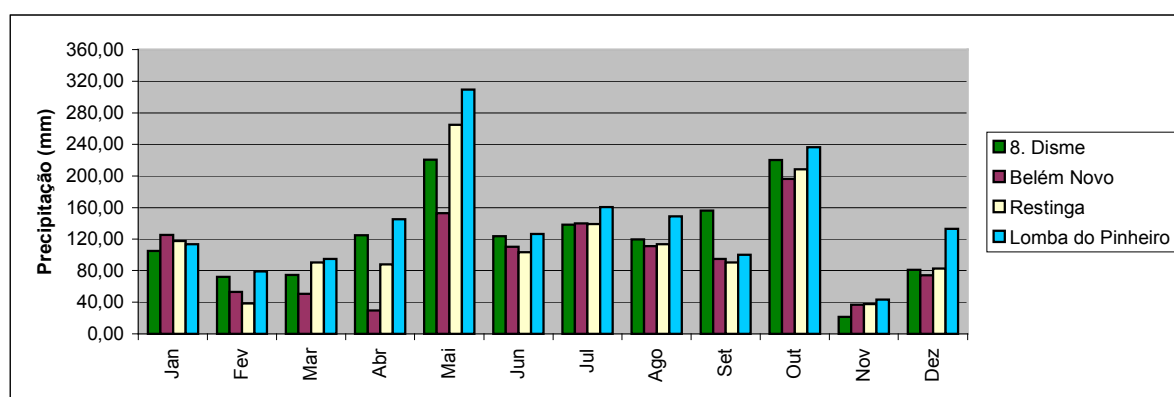
FIG. 23 – REDE DE MONITORAMENTO DO METROCLIMA



Fonte: Metroclima (2009)

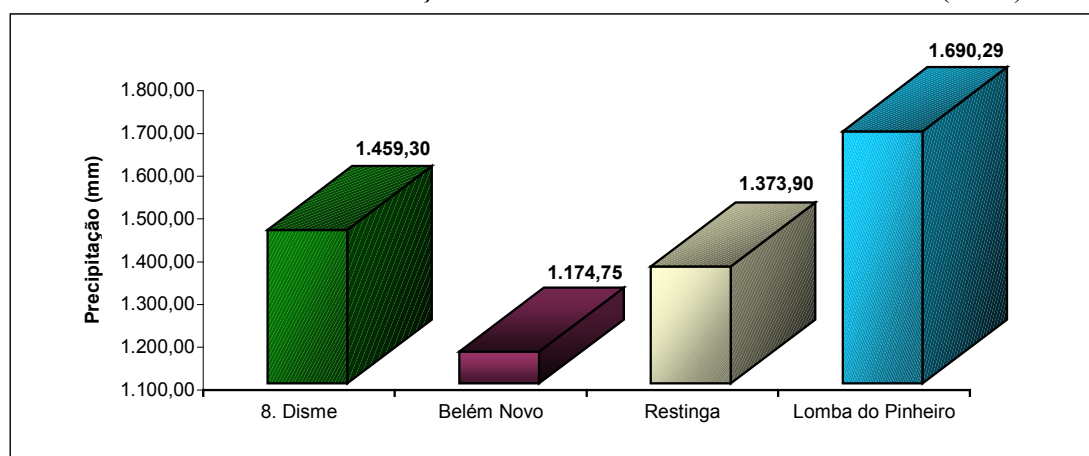
O GRÁFICO 06, elaborado por meio da tabulação dos índices pluviométricos fornecidos pelo 8.^o Disme – localizado no bairro Jardim Botânico - demonstra a diversidade dos volumes **mensais** de chuva, em 2008, quando comparados aos dados dos pluviômetros do Metroclima, instalados na *metade sul* de Porto Alegre. No GRÁFICO 07, é possível visualizar o comparativo das precipitações **totais** ocorridas no ano de 2008, observando-se um incremento de mais de 43% nos valores coletados no pluviômetro da Lomba do Pinheiro em relação ao de Belém Novo.

GRÁF. 06 – PRECIPITAÇÕES MENSAIS EM PORTO ALEGRE (2008)



Fontes: 8.^o Disme (2009) e Metroclima (2009)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

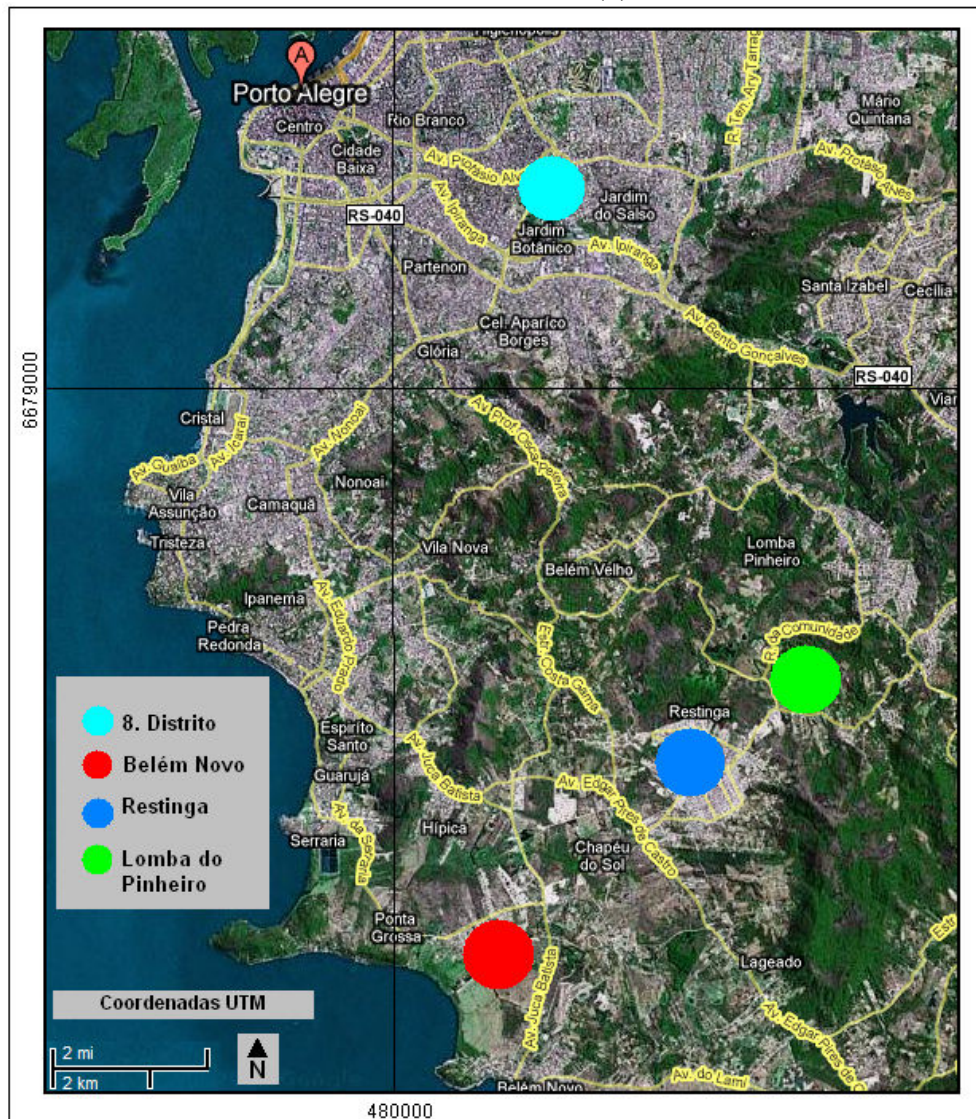
GRÁF. 07 – PRECIPITAÇÕES TOTAIS EM PORTO ALEGRE (2008)



Fontes: 8.^o Disme (2009) e Metroclima (2009)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Informações obtidas com o Metroclima demonstram que os técnicos têm observado este incremento nos índices de chuva coletados na zona sul do município – os valores aumentam no sentido sudoeste-noroeste, a partir de Belém Novo, passando pela Restinga, até o ápice na Lomba do Pinheiro (FIGURA 24). Entretanto, as estações automáticas foram instaladas muito recentemente, e só a partir de meados de maio de 2010 será possível observar mais detalhadamente a relação dos índices pluviométricos com a direção e a velocidade dos ventos, havendo indícios de que este incremento possa ter influência orográfica.

FIG. 24 – LOCALIZAÇÃO DO 8.^o DISME E DOS PLUVIÔMETROS 8, 9 E 10 DO METROCLIMA (*)



Fontes: 8.^o Disme (2009), Google Maps (2009) e Metroclima (2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

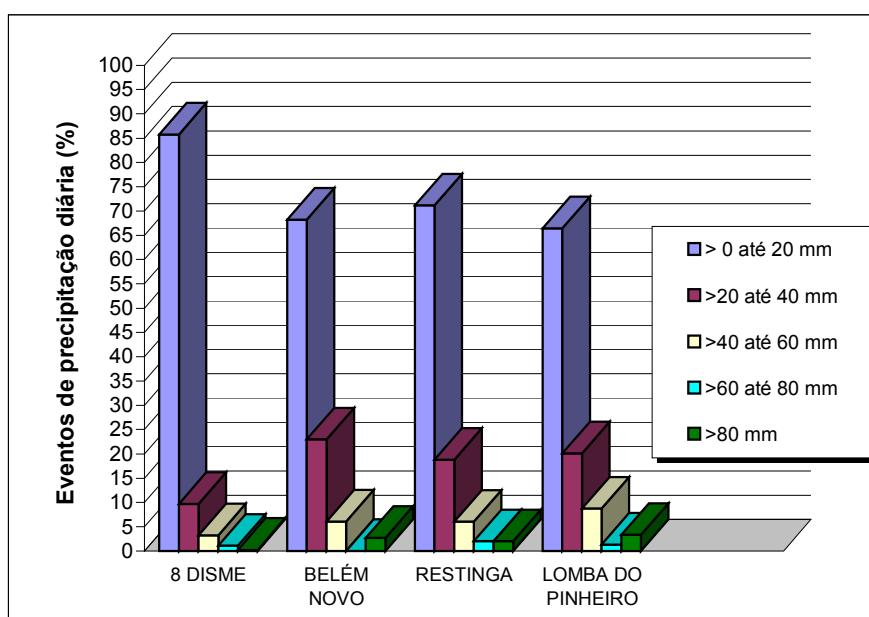
(*) Atendendo motivos de segurança do Metroclima, a localização dos pluviômetros não está expressa com exatidão. As estações do 8.^o Disme estão localizadas nas coordenadas 30°01' S e 51°13'.

6.1.4 PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS E SÉRIES ACUMULADAS

Zahed Filho & Marcellini (1995) enfatizam a importância do conhecimento das precipitações máximas (ou chuvas intensas) para a temática da drenagem urbana, devido à utilização deste parâmetro em diferentes procedimentos técnicos, sobretudo nas metodologias que utilizam modelos de transformação chuva-vazão para definição das vazões de projeto. Para Pinheiro (2007), quando as precipitações mais intensas ocorrem no final do tempo de resposta da bacia, atingindo solos já saturados, há condições mais favoráveis para o incremento do escoamento superficial e comumente são os tempos de retorno muito baixos (de 1 a 3 anos) e os picos de precipitação superiores a 100 mm (em um período de 24 horas) que potencializam a ocorrência de inundações (VEDOVELLO, 1996).

Tabulando-se todos os dados de pluviometria fornecidos pelo 8.^o Disme e pelo Metroclima (a partir de 01/10/2003 e 01/01/2008, respectivamente, até 28/09/2009), pode-se observar uma intensa concentração dos eventos diários na faixa de até 20 milímetros, com variação considerável entre os pluviômetros – o GRÁFICO 08 demonstra estas tendências, em percentuais (pois abrangem períodos distintos), considerando-se somente os dias de chuva.

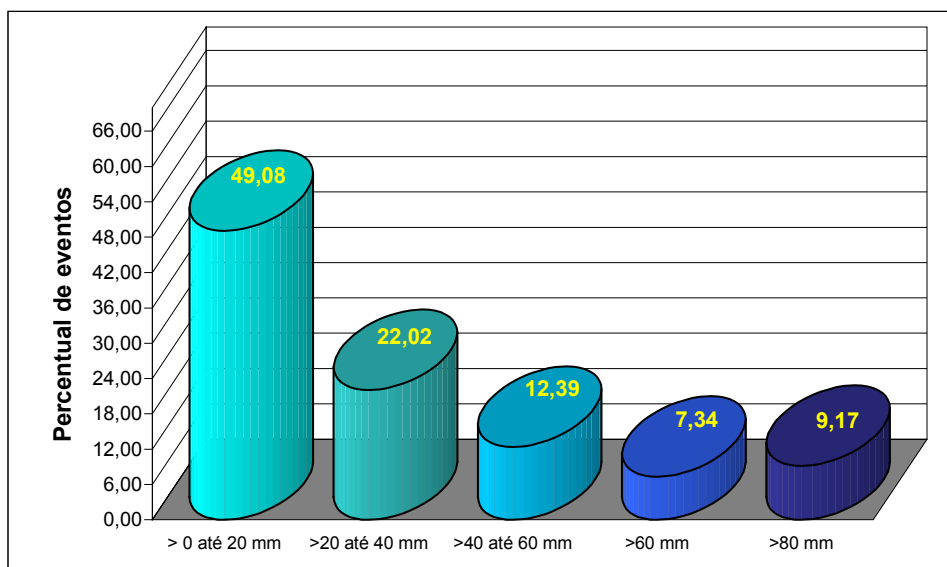
GRÁF. 08 – COMPARATIVO DOS ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA EM PORTO ALEGRE



Fontes: 8.^o Disme (2009) e Metroclima (2009)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

No entanto, não são somente os dias de precipitações excepcionais, isoladamente, que necessariamente respondem pelas ocorrências de inundações. O clima regional, bastante influenciado pela ação de sistemas frontais, frequentemente é caracterizado por sequências de vários dias de precipitação - e a umidade antecedente é fator fundamental para a saturação do solo e a consequente potencialização do escoamento superficial (CRISTO, 2002 e GUERRA, 2005). Para melhor visualização, o GRÁFICO 09 exibe as classes de distribuição dos 218 eventos contínuos de precipitação ocorridos em Porto Alegre, no período de 01/10/2003 a 28/09/2009. Considerou-se como *evento contínuo* cada série de dias de chuva precedida e sucedida por, no mínimo, um dia de estiagem. Para este gráfico, foram utilizados somente os dados do 8.^o Disme, visto que o Metroclima não efetua coleta nos pluviômetros nos finais de semana, de forma que a primeira coleta semanal reflete o acumulado de sábado, e domingo, até as 09:00 horas da segunda-feira, o que prejudica a definição das sequências. Mais adiante, na seção 6.9, serão analisados alguns eventos de chuvas intensas e a sua relação com o comportamento da drenagem.

GRÁF. 09 – DISTRIBUIÇÃO DOS ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM PORTO ALEGRE



Fonte: 8.^o Disme (2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

6.2 GEOLOGIA: A ESTRUTURA DA BACIA E SEU CONTEXTO REGIONAL

A importância do reconhecimento das características geológicas, tanto no estudo dos movimentos de massa como nas ocorrências de inundações, se dá pelo fato de que diferentes rochas podem demonstrar comportamento distinto sob ação do intemperismo, dando origem a variados tipos de solos e de sedimentos (Vedovello, 1996). E estes são fatores que influenciam bastante a dinâmica hídrica, no que se refere à capacidade de absorção da água e ao escoamento superficial do excedente.

A área ocupada pelo município de Porto Alegre está inserida no Escudo Sul-rio-grandense, uma grande extensão de terra que abrange a porção central do Estado e que é constituída de rochas formadas há cerca de 570 milhões de anos. Este escudo se compõe de diversas unidades geotectônicas (HASENACK, 2008), cada qual representando distintas fases de transformação geológica pelas quais a região sul do país passou ao longo de sua formação. O escudo está inserido no Batólito Pelotas, o qual tem aproximadamente 350 km de extensão e 150 km de largura, estendendo-se de Porto Alegre até Jaguarão (PHILIPP *et al*, 2009), sendo formado por centenas de corpos graníticos de diferentes idades, divididos em diversos conjuntos principais - Granito Quitéria (650 milhões de anos/Ma), Suíte Cordilheira (635-630 Ma), Complexo Pinheiro Machado (625-615 Ma), Suíte Viamão (630-610 Ma), Suíte Piquiri (615-610 Ma), Suítes Encruzilhada do Sul e Dom Feliciano (ambas com aproximadamente 600 Ma) e a Suíte Itapuã, de evolução mais recente (600-570 Ma).

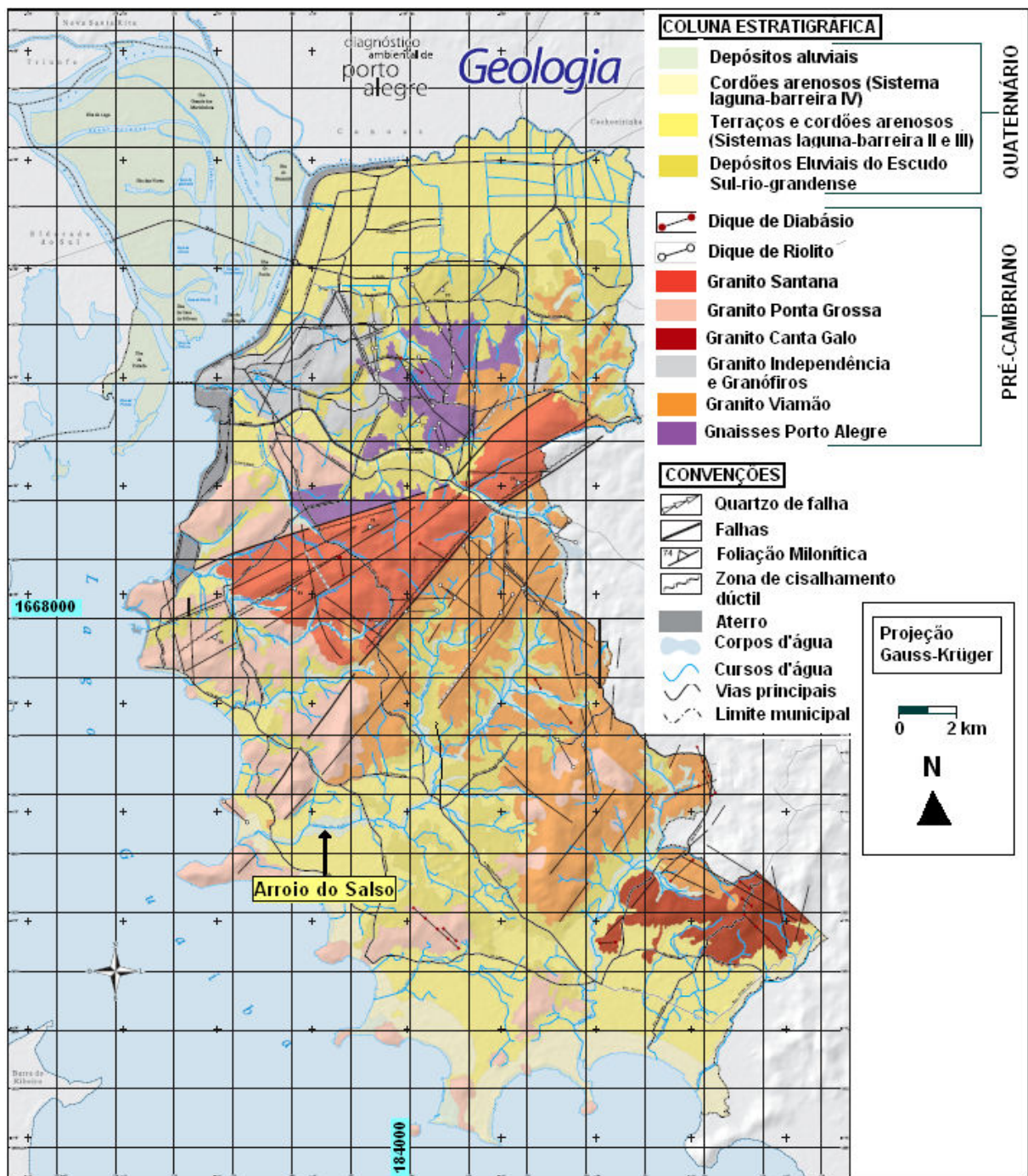
O Batólito Pelotas é uma das mais importantes unidades do Cinturão Dom Feliciano, uma antiga cadeia de montanhas com evolução relacionada ao Ciclo Brasileiro (PHILIPP *et al*, 2009). O cinturão contém fragmentos da porção sul da antiga Plataforma Sul-americana (de idade Paleoproterozóica), os quais estão representados no município pelos Gnaisses Porto Alegre. Os gnaisses são rochas com idade aproximada de dois bilhões de anos e que se apresentam no município na forma de áreas arrasadas, planas e quase que totalmente encobertas pela urbanização – pequenos afloramentos podem ser observados nos bairros Chácara das Pedras, Três Figueiras e Petrópolis (HASENACK, 2008).

Entretanto, o substrato rochoso do município é composto sobretudo por rochas graníticas (Hasenack, 2008), que se destacam na cidade na forma de colinas e morros, frequentemente associados em cristas. Em Porto Alegre, são encontradas três suítes principais de granitóides (Viamão, Dom Feliciano e Itapuã), reconhecidas na forma de cinco unidades: granitos Santana, Independência, Canta Galo, Viamão e Ponta Grossa (PHILIPP & CAMPOS, 2004), mas somente as duas últimas se destacam na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso (FIGURA 25). Além dos granitos, também são encontrados no município – sobretudo próximos ao Granito Santana - diques de riolito ou de diabásio, que representam manifestações tardias de atividades magmáticas na região de Porto Alegre (HASENACK, 2008).

O Granito Viamão é encontrado em uma extensa área na bacia hidrográfica em estudo, incluindo áreas de nascentes do Arroio do Salso e de vários de seus afluentes. O solo que recobre a rocha é predominantemente arenoso, variando de um até três metros de profundidade. Ao norte, este granito está recoberto por sedimentos oriundos da bacia do rio Gravataí; a leste e sudeste, por material da planície costeira.

O Granito Ponta Grossa pode ser encontrado desde as margens do lago Guaíba, estendendo-se para noroeste, incluindo até a área ocupada pelo bairro Restinga. São comuns os afloramentos, caracterizados por extensos lajeados e campos de matacões (Hasenack, 2008). O solo é comumente arenoso, pouco desenvolvido, variando de 2 a 3 metros de profundidade nos vales e de 30 cm a 1 metro nas encostas e nos topos de morro.

FIG. 25 – MAPA GEOLÓGICO DE PORTO ALEGRE



Fonte: Hasenack (2008)

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

Além do embasamento granítico-gnáissico pré-cambriano, um segundo domínio se apresenta na cidade, sob a forma de coberturas sedimentares, representado por depósitos dos períodos Terciário e Quaternário que se concentram, sobretudo, nas regiões nordeste e sul da capital. Este domínio se caracteriza pelas áreas baixas na cidade, ocupadas por terrenos sedimentares na forma de planícies e terraços (CONCREMAT, 2002b).

Na área da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, próximos à rede de drenagem - nos contatos com o Granito Viamão - podem ser percebidos os depósitos eluviais do Escudo-sul-rio-grandense, mas a partir da porção central da área da bacia, em direção leste-oeste, passam a predominar extensas áreas de terraços e cordões arenosos, originários das sucessivas transgressões e regressões marinhas que caracterizaram os sistemas laguna-barreira II, III e IV. Por fim, no oeste da bacia – às margens do lago Guaíba - também podem ser vistas áreas menores, representando depósitos de sedimentos aluviais.

6.3 OS TIPOS DE SOLO DA BACIA E SUA INFLUÊNCIA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

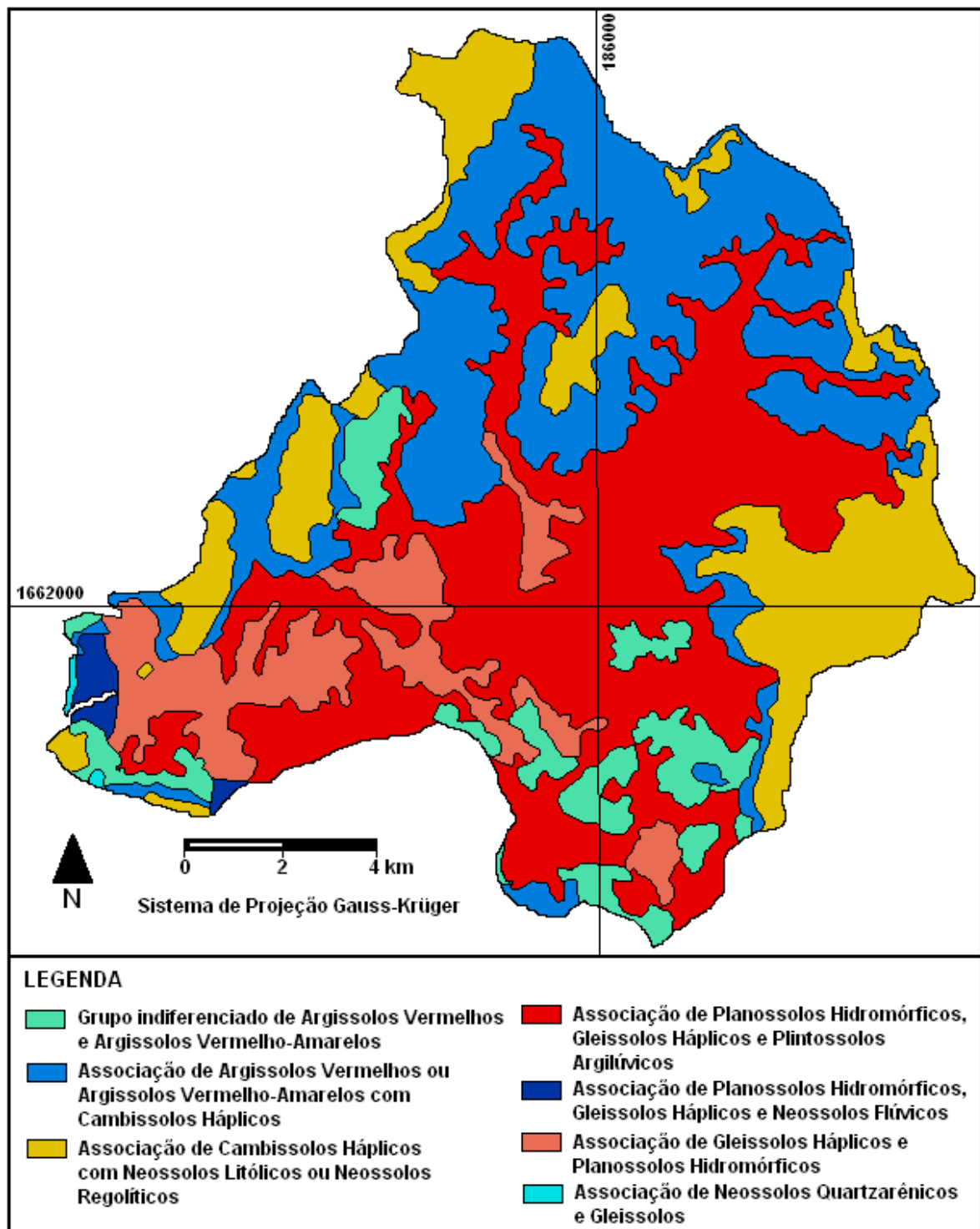
As características dos solos, aliadas a outros fatores tais como os padrões de chuvas, a umidade antecedente, o tipo de cobertura vegetal e as características geomorfológicas (GUERRA, 2005), entre outras, são essenciais na definição do escoamento da água precipitada sobre as bacias. Para Netto (1996), o conhecimento da vocação hidrológica de uma determinada área tem aplicação direta para as previsões referentes, por exemplo, à questão das inundações. Para o autor, são os solos que “determinam o escoamento da chuva, a sua distribuição temporal e as descargas máximas, tanto em superfície como em subsuperfície”. Ainda conforme Netto (1996), o teor de umidade do solo aumenta com a distância em relação ao topo das encostas e quanto mais próxima do canal for a área mais alto será o nível do lençol freático. Em caso de chuva, haverá uma elevação mais rápida do lençol próximo ao canal, aumentando também a vazão do mesmo. Os fundos de vales recobertos por solos profundos e bem drenados favorecem o fluxo subsuperficial, ao passo que solos rasos e mal drenados incrementam o escoamento superficial. Todas estas informações contribuem

para demonstrar a relação direta do solo com a Geomorfologia e como a temática das inundações exige estudos sob múltiplos aspectos.

Nesta pesquisa, foi utilizado o levantamento de solos elaborado pelo Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (HASENACK, 2008) e, dada a importância desta temática, cabe expor alguns esclarecimentos iniciais. O levantamento foi realizado com base na fotointerpretação de fotografias na escala 1:40.000, com observações complementares em campo e o resultado foi classificado com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2009). O resultado final não identifica cada tipo de solo de forma isolada e sim como unidades de mapeamento, cada qual contendo uma determinada **associação de solos** - que o IBGE (2007) define como “um grupamento de unidades taxonômicas associadas geográfica e regularmente em um padrão de arranjo definido”. Ou seja, uma associação se constitui de classes de solos distintos, com limites nítidos ou pouco nítidos entre si e que poderiam, talvez, serem melhor definidos em levantamentos mais detalhados.

Considerando a temática em foco - inundações - seria ideal o uso de um detalhamento maior que o disponível em um mapa produzido para representar todo o município de Porto Alegre, de forma que pudessem ser identificadas as distribuições de cada tipo de solo, quando este estivesse nitidamente diferenciado. Mas na ausência de tais dados, e considerando-se a grande extensão da área da bacia do Arroio do Salso, foram utilizadas as unidades de mapeamento identificadas pelo Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, constituídas de diversas associações, além de um grupo indiferenciado de solos (formado por duas unidades taxonômicas pouco diferenciadas) – a FIGURA 26 exibe os tipos ocorrentes na área de estudo.

FIG. 26 – MAPA DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO



Fonte: Hasenack (2008)

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

O QUADRO 06 lista as associações de solos ocorrentes na área da bacia e as características morfológicas dos terrenos onde são encontrados, ao passo que no QUADRO 07 são discriminadas as unidades taxonômicas que se inserem na área de estudo, com a síntese das características mais relevantes.

QUADRO 06 – DESCRIÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DE SOLOS

| TIPO | ÁREAS DE OCORRÊNCIA |
|--|---|
| Grupo indiferenciado de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-amarelos | Topo e encosta de elevações, em relevo suavemente ondulado e ondulado. |
| Associação de Argissolos Vermelhos ou Argissolos Vermelho-amarelos com Cambissolos Hápicos | Topo e encosta de elevações, em relevo ondulado e fortemente ondulado e nos terços inferiores de encostas de morros em relevo fortemente ondulado e montanhoso (*). |
| Associação de Cambissolos Hápicos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos | Topo e encosta de morro, em relevo fortemente ondulado a montanhoso (*). |
| Associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Hápicos e Plintossolos Argilúvicos | Planícies aluviais e lagunares com micro-relevo. |
| Associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Hápicos e Neossolos Flúvicos | Áreas marginais ao longo de arroios, em relevo plano. |
| Associação de Gleissolos Hápicos e Planossolos Hidromórficos | Planícies aluviais e lagunares. |
| Associação de Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos | Feixes de restinga ocupando relevo plano e suavemente ondulado. |

Fonte: Hasenack (2008)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

(*). O IBGE (2007) considera como *montanhoso* o terreno “de topografia vigorosa, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos”.

QUADRO 07 – UNIDADES TAXONÔMICAS DE SOLOS

| UNIDADE | PROFUNDIDADE (*) | GRANULOMETRIA/TEXTURA | CONDIÇÃO DE DRENAGEM |
|---|--|--|--|
| Argissolos Vermelhos Distróficos (PVd) típicos. | Profundos (150 cm ou mais). | Horizonte Bt mais argiloso que o A. Podem apresentar fração grosseira (cascalho). | Bem drenado, ausência de encharcamento prolongado após chuvas. |
| Argissolos Vermelho-amarelos Distróficos (PVAd) típicos. | Profundos (150 cm ou mais). | Horizonte Bt mais argiloso que o A. Podem apresentar fração grosseira (cascalho). | Bem a moderadamente drenado, possibilitando encharcamento mais prolongado após chuvas. |
| Cambissolos Háplicos Ta Distróficos (CXvd) típicos. | Rasos até profundos. | Podem apresentar fração grosseira (cascalho). | Bem a moderadamente drenado. |
| Gleissolos Háplicos (GX) Distróficos ou eutróficos típicos. | Profundos. | Variável, conforme a origem dos sedimentos. | Muito mal drenados, com risco de inundação. |
| Neossolos Litólicos Distróficos (RLd) típicos. | Rasos, até 50 cm. | Podem apresentar fração grosseira (cascalho). | Bem drenados em relevos fortemente ondulado e sujeitos a encharcamento em depressões de relevo acidentado. |
| Neossolos Regolíticos Distróficos (RRd) típicos. | Rasos a medianamente profundos (rocha situada a mais que 50 cm). | Podem apresentar fração grosseira (cascalho). | Bem drenados em relevo fortemente ondulado e sujeitos a encharcamento em depressões de relevo acidentado. |
| Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo) típicos. | Profundos. | Textura arenosa, essencialmente constituída de quartzo. | Variam de bem drenados na posição convexa a mal drenados na côncava. |
| Neossolos Flúvicos Tb Distróficos (RUbd) típicos. | Variável. | Sedimentos de origem fluvial de origem e tamanho variável (conforme a profundidade do perfil de solo). | Variável, conforme o material de origem. |
| Planossolos Hidromórficos (SG) Distróficos ou eutróficos, espessarênicos ou típicos. | Variável, até 170 cm. | Horizontes A e E arenosos, com o horizonte Btg, mais argiloso, inserido entre ambos. | Imperfeitamente a mal drenados, com retenção de água e encharcamento do solo, com risco de inundação. |
| Plintossolos Argilúvicos (FT) Distróficos ou eutróficos. | Profundos (150 cm ou mais). | Horizonte B argiloso. | Imperfeitamente drenados. |

Fonte: Hasenack (2008)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

(*) O IBGE (2007) estabelece como padrão de medida de profundidade o limite com o contato lítico, sendo considerado *raso* o solo com até 50 cm, *pouco profundo* o de mais de 50 até 100 cm, *profundo* quando tiver de mais de 100 até 200 cm e *muito profundo* aquele com medidas superiores a 200 cm.

A **capacidade de drenagem** do solo é influenciada pelas condições de textura, umidade antecedente e profundidade, sendo que solos profundos, com grande quantidade de matéria orgânica e textura grosseira têm alta capacidade de infiltração. O QUADRO 08 demonstra as classes e as características gerais dos solos correspondentes.

QUADRO 08 – CLASSES DE CAPACIDADE DE DRENAGEM

| CLASSE | CARACTERÍSTICAS DA DRENAGEM E DOS SOLOS |
|-------------------------|---|
| Excessivamente drenado | A água é removida do solo muito rapidamente. Solos de textura arenosa, como os Neossolos Quartzarênicos Órticos. |
| Fortemente drenado | A água é removida rapidamente do solo. Solos muito porosos, de textura média a arenosa e bem permeáveis, como os Latossolos Vermelhos de textura média. |
| Acentuadamente drenado | A água é removida rapidamente do solo. Os solos são normalmente de textura argilosa a média; porém, são sempre muito porosos e bem permeáveis, como os Latossolos Vermelhos de textura argilosa. |
| Bem drenado | A água é removida do solo com facilidade, porém não rapidamente. Solos de textura argilosa ou média, tais como os Nitossolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos de textura argilosa ou média/argilosa. |
| Moderadamente drenado | A água é removida do solo um tanto lentamente, de modo que o perfil permanece molhado por uma pequena mas significativa parte do tempo. Estes solos comumente apresentam uma camada de permeabilidade lenta no <i>solum</i> (*) ou imediatamente abaixo dele. O lençol freático é encontrado imediatamente abaixo do <i>solum</i> ou afetando a parte inferior do horizonte B. Exemplos: alguns Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Amarelos de textura média/argilosa. |
| Imperfeitamente drenado | A água é removida do solo lentamente, o qual permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Os solos comumente apresentam uma camada de permeabilidade lenta no <i>solum</i> , lençol freático alto, adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação destas condições. Exemplos: alguns Vertissolos, Planossolos e Plintossolos. |
| Mal drenado | A água é removida do solo tão lentamente que este permanece molhado por uma grande parte do ano. O lençol freático comumente está à superfície ou próximo a ela durante uma considerável parte do ano. As condições de má drenagem são ocasionadas por lençol freático elevado, camada lentamente permeável no perfil, adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação destas condições. Exemplos: Gleissolos, alguns Espodossolos e Planossolos. |
| Muito mal drenado | A água é removida do solo tão lentamente que o lençol freático permanece à superfície ou próximo dela durante a maior parte do ano. Os solos usualmente ocupam áreas planas ou depressões, onde há frequentemente estagnação de água. Geralmente, são solos com gleização e, comumente, horizonte hístico. Exemplo: Organossolos. |

Fonte: IBGE (2007)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

(*) parte superior e pressupostamente mais intemperizada do perfil do solo, compreendendo somente os horizontes A e B (excluído o BC).

Na área de estudo são encontrados, na forma de associações, solos de diferentes características quanto à capacidade de absorção da água precipitada, mas pode-se perceber uma predominância de tipos com baixa capacidade de drenagem, sobretudo nas áreas planas (FIGURA 26).

6.4 USO DO SOLO E IMPORTÂNCIA DA COBERTURA VEGETAL

A área ocupada pelo município de Porto Alegre possui características geomorfológicas peculiares, apresentando uma grande variedade de padrões de relevo e de solos. Na bacia do Arroio do Salso, podem ser encontrados oito dos doze padrões de formas de relevo de que se compõe o município e esta diversidade de paisagens certamente contribui para que haja um contingente bastante variado de formações e espécies vegetais na área ocupada por Porto Alegre, incluindo matas, vegetação arbustiva e campos.

Em épocas geológicas mais próximas da atualidade, o domínio de um clima quente e úmido permitiu o avanço das matas sobre os campos secos e as matas arbustivas que até então predominavam na paisagem (PORTO, 1998). Nos morros, que ofereciam altas declividades e solo mais raso, as matas tiveram um avanço limitado de forma que, nas vertentes menos sombreadas, as formações vegetais ainda têm aspecto tortuoso. Já nas vertentes dos morros onde predominam vales sombreados e de solos mais profundos, houve condições para o desenvolvimento de uma mata mais alta e densa, na qual são encontradas espécies de vegetais de grande porte, além de palmeiras (PORTO, 1998).

O Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (HASENACK, 2008) identificou oito tipos de matas nativas no município, as quais ainda subsistem ao longo dos morros e nas áreas inundáveis do lago Guaíba e de seus tributários. As matas higrófilas possuem espécies vegetais de grande porte (12 a 20 metros de altura), com três ou até quatro estratos arbóreos, destacando-se nas camadas superiores o tanheiro (*Alchornea triplinervia*), a cangerana (*Cabralea Canjerana*) e a canela-ferrugem (*Nectandra oppositifolia*). Estas formações, que

têm forte influência da Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica), ocorrem nos fundos de vale e nas encostas sul dos morros.

As matas mesófilas ou meso-higrófilas (“matas médias”) têm alturas médias de 10 a 15 metros e ocupam as porções médias e baixas dos morros de Porto Alegre (inclusive no morro São Pedro, na área de estudo) e podem ser encontradas em terrenos planos quando as condições ambientais são favoráveis (HASENACK, 2008). Alguns exemplos de espécies que se desenvolvem nestas matas são a maria-mole (*Guapira opposita*), o camboatá-vermelho (*Cupania vernalis*) e o açoita-cavalo (*Luehea divaricata*). A terceira categoria de matas encontradas no município são as subxerófilas (“matas baixas”), que são vistas em formas de capões nos morros ou em suas encostas superiores, que são áreas de baixa umidade (HASENACK, 2008).

As matas ripárias – ou ciliares – acompanham os cursos d’água e chegam a atingir alturas entre 5 e 12 metros, sendo que nelas podem ser encontrados espécies de grande porte como o salgueiro (*Salix humboldtiana*), a corticeira-do-banhado (*Erythrina cristagalli*) e o ingá-banana (*Inga vera*). Além destas formações de maior porte, no município ainda podem ser encontradas as matas psamófilas (restinga, de aspecto semelhante às subxerófilas), as brejosas (pouco comuns), o maricazal (encontrado sobretudo no norte e sudoeste da cidade) e o sarandizal (nas margens do Guaíba e de seus rios tributários).

Embora as matas se destaquem na paisagem pelo seu porte, não menos importante do ponto de vista ecológico é a vegetação arbustiva, que corresponde a um estágio sucessional inicial de floresta, em locais degradados e posteriormente abandonados pelo homem (HASENACK, 2008), a vegetação herbácea, que está presente nos banhados (sobretudo no norte e sudoeste de Porto Alegre) e os campos rupestres. Conforme Hasenack (2004), na área abrangida pela bacia do Arroio do Salso predominam mosaicos vegetacionais úmidos, incluindo ilhas de matas com figueiras, além de banhados e campos com butiás e cactáceas. Ao longo das margens do Arroio do Salso ainda há grandes trechos com mata aluvial preservada e observa-se, também, a existência de matas baixas remanescentes, no entorno dos morros.

A importância da vegetação não se restringe à questão da preservação da biodiversidade nem à beleza cênica da paisagem. Na temática das inundações, a cobertura vegetal exerce uma importante função no ciclo hidrológico. Primeiramente, uma densa e extensa cobertura vegetal permite que parte da chuva precipitada seja capturada nas folhas e galhos, diminuindo o volume que cairia diretamente no solo. Esta água capturada pode, então, ser evapotranspirada ou se projetar ao solo – mas em maior lapso de tempo, diminuindo o volume de água que, sem a vegetação, poderia saturar mais rapidamente o solo e favorecer o escoamento superficial.

A segunda ação da vegetação é a proteção do solo contra a erosão acentuada, que é facilitada pela retirada da cobertura vegetal, visto que nestas condições a água atinge a superfície em maior quantidade e com maior energia cinética. Um solo exposto está fortemente suscetível à erosão por salpicamento – também conhecida como efeito *splash*, que é o estágio inicial do processo erosivo (GUERRA, 2005). Quanto menor a presença de material orgânico, maior a possibilidade das gotas de chuva romperem os agregados superficiais, transformando-os em sedimentos menores que podem preencher os poros da superfície, impermeabilizando o solo e aumentando o escoamento superficial (GUERRA, 2005). Esta impermeabilização pelo efeito *splash*, somada ao recobrimento do solo por elementos artificiais como cimento e asfalto, influencia no hidrograma da bacia, representando um volume de pico de chuva muito mais intenso, que pode contribuir significativamente para o transbordamento da calha fluvial. Um terceiro fator que representa a importância da cobertura vegetal é o fato de que a erosão acentuada de um solo exposto resulta em um maior volume de sedimentos lançados na rede de drenagem, podendo resultar em assoreamento e maior potencial de ocorrência de inundação.

O problema no meio urbano não é tanto a ocupação em si, mas sim a **forma** como ela se processa: ordenada e planejadamente ou, como é muito comum, improvisadamente, o que resulta em maiores impactos ambientais e extensa impermeabilização do solo. Em simulações feitas com precipitação artificial sobre diferentes tipos de pavimentos, Araújo *et al* (2000) observaram que pode haver um acréscimo de até 44% no escoamento superficial, o que é de grande importância para a temática de inundações, como pode-se observar no QUADRO 09.

QUADRO 09 – RESPOSTA DE DIFERENTES PAVIMENTOS À PRECIPITAÇÃO SIMULADA

| SUPERFÍCIE | RESULTADO |
|----------------------------|---|
| Pavimentos permeáveis | Quase não houve escoamento superficial, nas simulações. |
| Solo compactado | O escoamento superficial começa 2 minutos após o início da precipitação e o tempo de esvaziamento é grande, devido ao atrito com a vegetação rasteira. |
| Concreto | O escoamento se inicia imediatamente. O Coeficiente de Escoamento é 44% maior que o do solo compactado. |
| Superfícies semipermeáveis | A água começa a escoar logo após o início da chuva simulada, mas o volume gerado é inferior ao do concreto. Comparando-se com o solo compactado, o coeficiente de escoamento dos paralelepípedos é 11% menor que no solo compactado, ao passo que nos blocos de concreto é superior em 22%. |

Fonte: Araújo *et al* (2000).

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Na bacia do Arroio do Salso, há ainda grandes espaços não urbanizados, com algumas áreas mantendo vegetação preservada ou pouco degradada. Além disto, considerável porção da bacia ainda mantém uma vocação de uso rural, embora já existam grandes aglomerados urbanos, como a Restinga, que poderá abrigar mais de 58% de toda a população da bacia em 2015 (CONCREMAT, 2002a), o bairro Lomba no Pinheiro (na porção nordeste, onde se concentram a maioria das nascentes do Arroio do Salso), o loteamento Chapéu do Sol e a ocupação irregular do Túnel Verde no bairro Ponta Grossa, entre outros. E novos loteamentos e ocupações irregulares surgem rapidamente, constituindo um desafio para os órgãos públicos encarregados do planejamento e da sustentabilidade urbana de Porto Alegre.

O Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (HASENACK, 2008) identificou 21 tipos de unidades de ocupação e fisionomias naturais no município de Porto Alegre. Baseado nestes dados, o QUADRO 10 sintetiza as características das categorias com ocorrência na área de estudo, ao passo que a FIGURA 27 demonstra o uso do solo na bacia (foram representados somente os elementos perceptíveis, visto que o mapeamento original foi elaborado na escala de 1:25000).

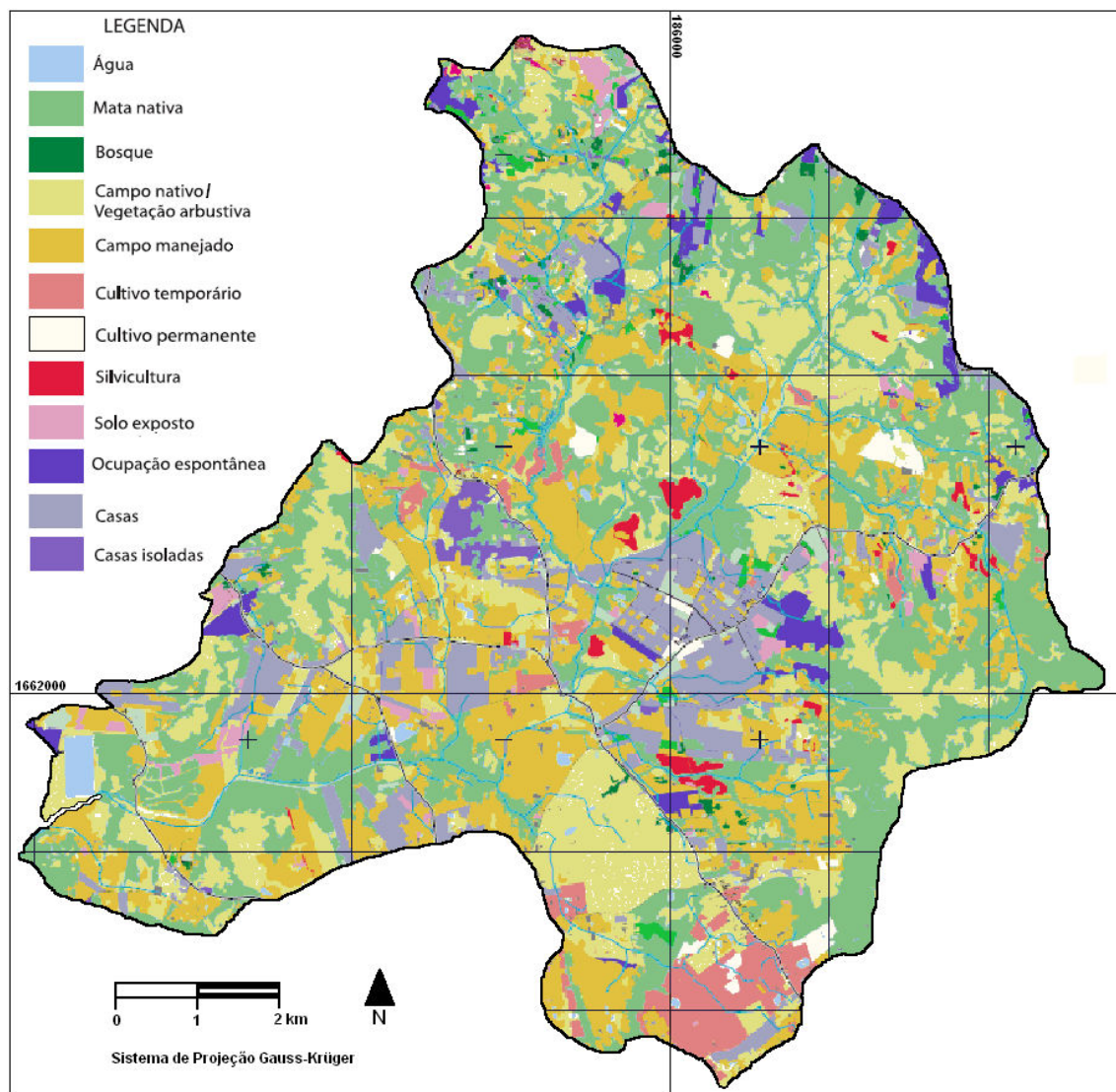
QUADRO 10 – CATEGORIAS DE USO DO SOLO E VEGETAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

| CATEGORIAS | CARACTERÍSTICAS |
|---|---|
| Mata nativa ou bosque | Inclui matas bem conservadas ou com algum grau de degradação. Os bosques tem dosséis contínuos e estratos inferiores descaracterizados ou ausentes (comuns em parques). |
| Campos nativos e vegetação arbustiva | Campos nativos com baixa pressão antrópica em áreas de várzea ou nos topos de morros. Áreas com predomínio de vegetação arbustiva, com presença de árvores isoladas. |
| Campos manejados e áreas de cultivos (temporários ou permanentes) e silvicultura. | Campos manejados em uso para pastagem, lazer ou lavoura de arroz. Cultivos temporários de espécies anuais (milho, por exemplo) ou permanentes (principalmente pomares). Silvicultura de espécies exóticas como pinus, eucalipto e acácia. |
| Casas e casas isoladas | Áreas com arruamento regular, em que predominam casas, em loteamentos ou de forma isolada, geralmente utilizadas como residências unifamiliares. |
| Ocupação espontânea | Áreas com ocupação irregular, ruas sinuosas e casas de tamanho geralmente reduzido. |
| Água | Inclui todos os corpos hídricos com largura significativa. |
| Solo exposto | Áreas que perderam sua cobertura vegetal, devido à ação antrópica (aterros, mineração, etc.). |

Fonte: Hasenack (2008).

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

FIG. 27 – MAPA DE VEGETAÇÃO E USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO



Fonte: Hasenack (2008).
Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

O crescimento da urbanização geralmente é acompanhado por extensa impermeabilização do solo, o que aumenta o volume do escoamento superficial em até 400% (PORTO, 1995) e é justamente esta lâmina de água excedente a maior responsável pelas vazões de cheia. Neste sentido, Vieira e Cunha (2005) defendem que é essencial reconhecer a importância da existência de áreas impermeabilizadas, associando-se estas observações às características naturais da área. Mas a falta de dados sobre bacias urbanas geralmente conduz os pesquisadores à utilização de métodos sintéticos de transformação chuva-vazão, tais como

o Modelo hidrológico SCS, desenvolvido pelo Soil Conservacion Service (SCS, 1964), que pode ser aplicado aos projetos de obras hidráulicas e nos estudos de enchentes. Conhecido como Método da Curva Número ou Método da Precipitação Efetiva, o modelo SCS permite estimar o escoamento superficial com base em uma equação empírica (HASENACK, 2008) que requer como entrada a precipitação e o coeficiente relacionado às características da bacia – conhecido como curva número (CN). Inicialmente, Hasenack (2008) aplicou a metodologia para estimativa da capacidade de retenção do solo (S) em Porto Alegre, com base na seguinte fórmula:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ (mm)}$$

Para o estabelecimento do parâmetro CN, o Diagnóstico Ambiental (HASENACK, 2008) utilizou-se de uma escala que varia de zero (cobertura de solo muito permeável) até 100 (completamente permeável) e de um solo com alta capacidade de infiltração até um de baixa infiltração. Cabe ressaltar que o parâmetro CN depende de fatores como tipo de solo (porosidade e permeabilidade), uso e ocupação e umidade antecedente, todos bastante variáveis tanto do ponto de vista espacial como temporal. Portanto, embora os valores de CN “gerem, na maioria dos casos, bons ajustes de processos chuva-vazão simulados” (HASENACK, 2008), é importante ressaltar que modelos não expressam, necessariamente, a realidade com absoluta precisão. Obtido o valor estimado para a retenção superficial, foi aplicada a seguinte fórmula, para cálculo do volume superficial acumulado:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a} \text{ (mm)}, \text{ onde:}$$

Q é o volume superficial acumulado, em mm;

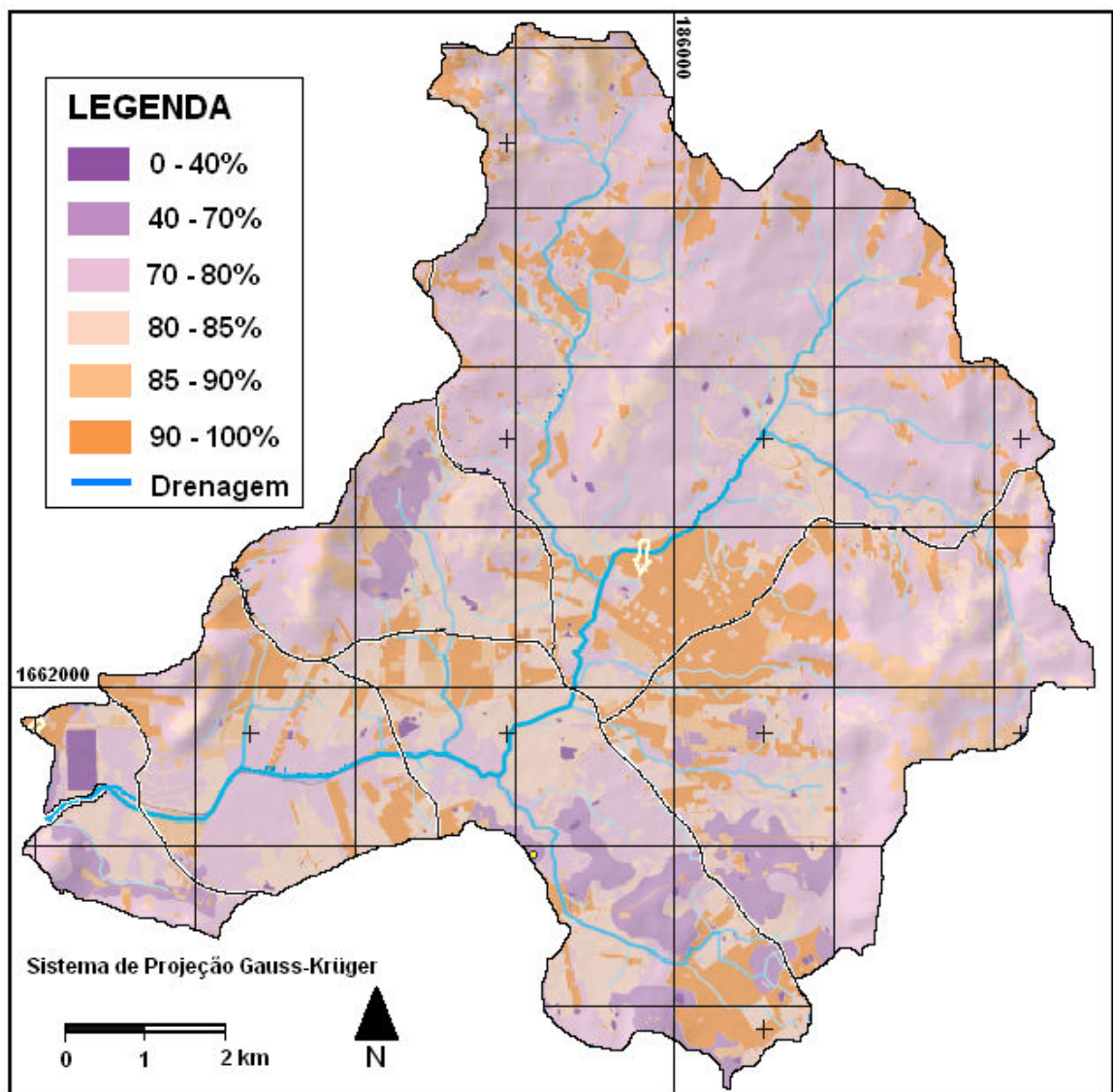
P é a precipitação total acumulada, em mm;

I_a são as perdas iniciais (retenção superficial e infiltração anterior ao início do escoamento) e

S é a capacidade máxima de armazenamento do solo.

Para cálculo do volume superficial acumulado, foi estimado um valor médio para I_a de 0,2 ou seja, 20% da capacidade do armazenamento do solo – assim, se $P < I_a$, então $Q = 0$. Aplicando o cruzamento dos mapas de classes de uso do solo e dos grupos hidrológicos de solos, o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre elaborou um mapa com as classes de valores de escoamento superficial, cuja adaptação à bacia do Arroio do Salso pode ser vista na FIGURA 28.

FIG. 28 – MAPA DO POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL



Fonte: Hasenack (2008).
Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

Observando-se as FIGURA 27 e 28, percebe-se a heterogeneidade da paisagem da bacia, de vocação predominantemente rural até alguns anos atrás mas atualmente com muitos núcleos de ocupação e extensas áreas impermeabilizadas - ao lado de outras com vegetação preservada ou pouco degradada. A maior parte da ocupação ocorre ao longo das margens do Arroio do Salso, sobretudo em áreas de baixa declividade e os efluentes domésticos e o escoamento superficial destas áreas impermeabilizadas certamente contribuem para o aumento dos picos de vazão da drenagem.

6.5 GEOMORFOLOGIA E SUA IMPORTÂNCIA NA ANÁLISE DA DINÂMICA HÍDRICA

Esta pesquisa tem como um de seus pilares metodológicos a análise com ênfase geomorfológica, devido à capacidade que esta ciência tem de explicar a paisagem como algo dinâmico, demonstrando que existiram, no passado, processos que atuaram na conformação do que hoje se vê. Mais ainda, o estudo geomorfológico permite estudar processos que agem também na atualidade, incluindo a intensa ação transformadora do homem sobre o meio ambiente.

Seguindo nesta mesma perspectiva, Cunha (2003) afirma que a “Geomorfologia Fluvial representa um destaque na ciência geomorfológica, pelo seu caráter condicionante da vida humana” e demonstra que, sobretudo a partir de 1970, os estudos nesta temática vêm sendo bastante intensificados, com ênfase nos processos e mecanismos atuantes no canal fluvial mas ampliando também sua forma de compreensão, por meio de inter-relações com a Hidrologia, a Pedologia e a Ecologia. A mesma autora ainda cita que o estudo dos cursos d’água e das bacias hidrográficas passa pelo entendimento conjunto da Geologia, do relevo, dos processos geomorfológicos, das características hidrológicas, da vegetação remanescente e das formas de uso do solo pelo homem.

Na questão da cartografia geomorfológica, Vedovello (1996) cita que o conhecimento das características do relevo, como amplitude, declividade e forma das encostas, é essencial para a compreensão dos processos de inundação, entre outros. Por sua vez, Botelho (2005) elenca algumas características essenciais da paisagem que devem ser identificadas, tais como ambientes de acumulação e transporte, afloramentos rochosos, depósitos de tálus, rampas de colúvio, planícies de inundação, terraços, feições antrópicas, etc. Não se pode desconsiderar, entretanto, que o grau de detalhamento está limitado à escala de trabalho. Nesta pesquisa, considerando-se a grande extensão da bacia do Arroio do Salso, partiu-se de uma caracterização geomorfológica geral – incluindo seu contexto regional – e buscou-se a identificação de aspectos específicos pertinentes à dinâmica hídrica.

A paisagem geomorfológica de Porto Alegre se destaca por apresentar elementos bastante variados, resultado de uma evolução operante há cerca de 800 milhões de anos sobre a área do Rio Grande do Sul (MENEGAT *et al*, 1998b). Na zona norte de Porto Alegre, nas áreas próximas ao rio Gravataí e ao delta do rio Jacuí, podem ser observadas características resultantes do aporte de sedimentos da **Depressão Periférica** (Fujimoto & Dias, 2008), uma extensa área plana ou de topografia suave que se alonga de leste para oeste no Estado. O longo processo erosivo também expôs as rochas graníticas do **Escudo Sul-rio-grandense**, que hoje podem ser vistas na cidade na forma de morros isolados ou de associações em cristas. Conforme Menegat *et al* (1998b), os terrenos do escudo, caracterizados por coxilhas e morros, estendem-se desde o sul e leste do Uruguai e terminam justamente na área ocupada pela capital. Os morros de Porto Alegre ocupam 24% da área municipal, possuindo uma altitude de até 311 metros no morro Santana (QUADRO 11), conservando, aproximadamente, 10% da mata nativa original. Os morros Santana, São Pedro, Teresópolis e da Polícia possuem áreas de aproximadamente 1.000 hectares, enquanto que os restantes variam entre 100 e 700 hectares.

QUADRO 11 –MORROS DE MAIOR ALTITUDE DE PORTO ALEGRE

| NOME | ALTITUDE (m) |
|------------------------|--------------|
| Morro Santana | 311 |
| Morro Pelado | 298 |
| Morro da Polícia | 291 |
| Morro São Pedro | 289 |
| Morro da Pedra Redonda | 282 |
| Morro da Glória | 279 |
| Morro Teresópolis | 262 |
| Morro Tapera | 252 |
| Morro da Companhia | 224 |
| Morro das Quirinas | 211 |

Fonte: Menegat *et al* (1998b)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Nos limites sul e sudoeste de Porto Alegre, podem ser observadas características litorâneas, marcadas pela existência de restingas, banhados e lagos (MENEGAT *et al*, 1998b). A drenagem de todas as bacias que compõem a Região Hidrográfica do Guaíba converge para o lago homônimo, configurando uma paisagem que marca a presença da província geomorfológica de formação mais recente - a **Planície Costeira**.

Nos últimos 400.000 anos, a área de Porto Alegre sofreu alternância entre ciclos climáticos glaciais e interglaciais, resultando em transgressões e regressões marinhas que configuraram a feição atual de grande extensão do leste do Rio Grande do Sul. O mar recebeu o incremento das águas do degelo polar, submergindo toda a região do vale do Guaíba, com exceção dos topos dos morros. A paisagem resultante deste processo evolutivo é bastante variada, marcada por colinas, morros isolados e cristas graníticas, que são uma divisão natural entre as terras baixas da porção norte da capital e as terras também baixas do sul, estas últimas caracterizadas por terraços e cordões arenosos originados pela acumulação sedimentar promovida pelo lago Guaíba (MENEGAT *et al*, 1998b).

O mapeamento geomorfológico de Porto Alegre (Fujimoto & Dias, 2008), demonstra a existência de oito padrões na área de estudo, inseridos em dois compartimentos morfoesculturais - estes padrões são listados no QUADRO 12, ao passo que a FIGURA 29 exhibe toda a geomorfologia do município.

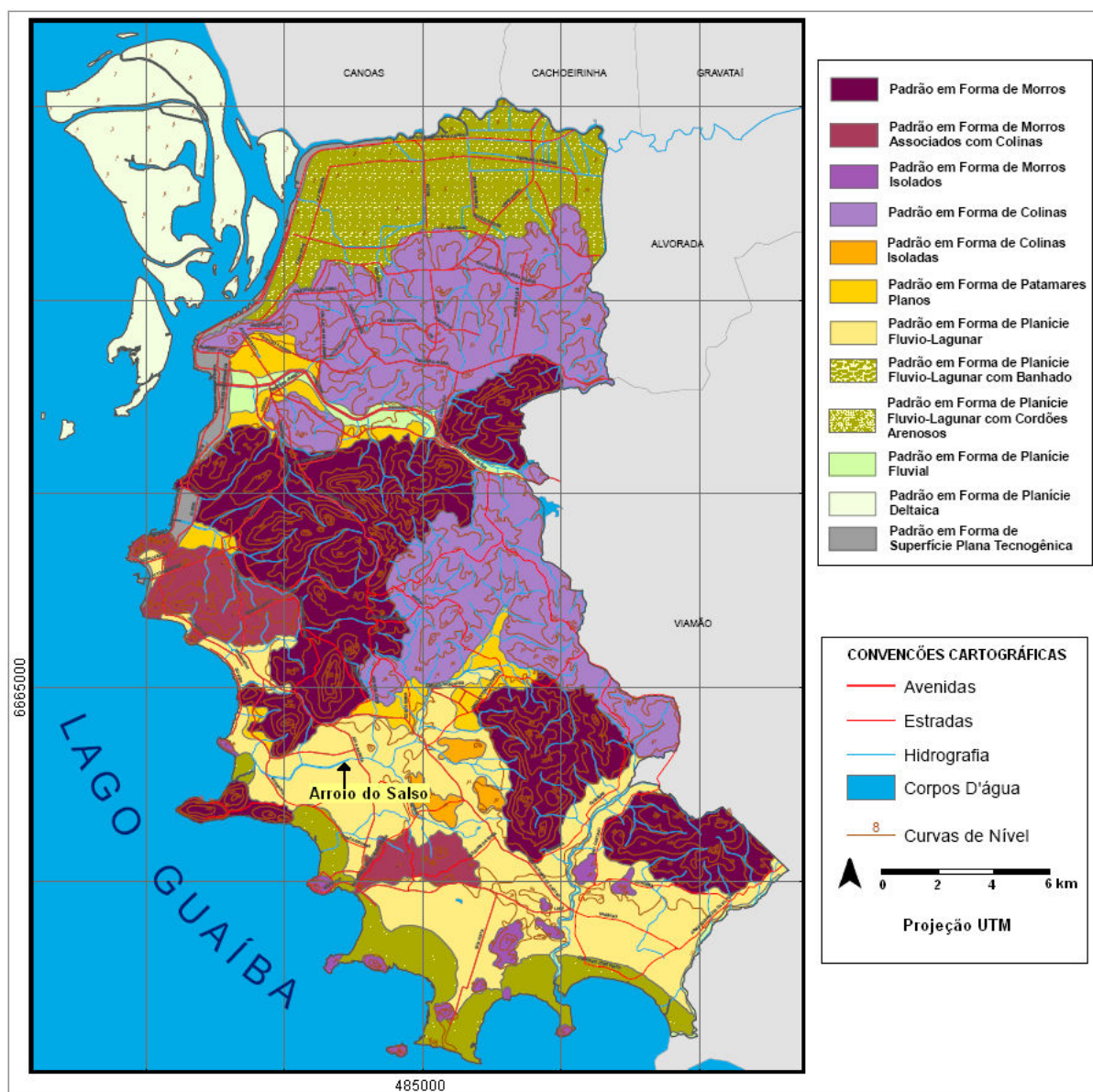
QUADRO 12 – PADRÕES GEOMORFOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

| MORFOESTRUTURA | MORFOESCULTURA | PADRÕES E TIPOS DE FORMAS DE RELEVO |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Escudo Uruguaio Sul-rio-grandense | Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense | Morros |
| | | Morros Associados com Colinas |
| | | Morros Isolados |
| Bacia Sedimentar de Pelotas | Planície e/ou Terras Baixas Costeiras | Colinas |
| | | Colinas Isoladas |
| | | Patamares Planos |
| | | Planície Flúvio-lagunar |
| | | Planície Flúvio-lagunar com Cordões Arenosos |

Fonte: Fujimoto & Dias (2008)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009).

FIG. 29 – MAPA GEOMORFOLÓGICO DE PORTO ALEGRE



Fonte: Fujimoto & Dias (2008)

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

O **Padrão em Forma de Morros** se destaca na paisagem geomorfológica de Porto Alegre, tanto pela suas altitudes (máximo de 311 metros, com declividades de até 20%) como devido a sua associação em cristas. São constituídos basicamente por granitos formados durante o estágio de evolução do Cinturão Orogênico Dom Feliciano e pelos sedimentos dele derivados. Nos morros, situa-se uma grande quantidade de nascentes dos arroios que cortam a cidade, além de farta vegetação nas suas vertentes voltadas para o sul - nas feições orientadas para o norte, pode ocorrer até ausência de vegetação e exposição de rocha. Os solos se classificam como Neossolos Litólicos, geralmente rasos, principalmente em alta e média vertente, ao passo que são mais desenvolvidos nas porções baixas e côncavas das vertentes. Na bacia do Arroio do Salso, o Padrão em Forma de Morros pode ser observado em parte a noroeste, formando divisores de águas com outras bacias, bem como a sudeste, onde se localizam os dois morros de maior altitude da área de estudo (Morro da Tapera e morro São Pedro).

A segunda unidade encontrada é o **Padrão em Forma de Morros Associados com Colinas**, apresentando-se sob a forma de morros e colinas com topos predominantemente convexos, altitudes médias entre 30 e 90 metros e declividades de 2 até 10%. Os solos e a morfogênese são semelhantes ao Padrão em Forma de Morros, sendo difícil delimitar isoladamente as áreas de morros e colinas. Como diferencial, em algumas áreas desta unidade podem ser encontradas rampas coluvionares com declividades entre 2 e 5%, resultado do retrabalhamento do granito local ou do acúmulo dos sedimentos por ação gravitacional. Na área de estudo, esta unidade tem pouca expressão, estando limitada a uma área ao sul da bacia.

O **Padrão em Forma de Morros Isolados** também tem pequena representação na área de estudo, limitando-se a uma única formação a oeste da bacia, com altitude de 42 metros. Embora também seja formada por rochas graníticas durante a evolução do Cinturão Dom Feliciano, o diferencial desta unidade é que os morros foram isolados devido à intensa deposição sedimentar causada pelas variações do nível do mar, ocorridas no Quaternário. Neste período, a área hoje ocupada por Porto Alegre chegou a ser inteiramente submersa, com exceção do topo dos morros. Semelhantemente ao demais padrões de morros, os solos são classificados como Neossólicas Litólicos, sendo rasos e com frequentes afloramentos de matacões, podendo ser mais profundos nos segmentos côncavos em baixa vertente.

O **Padrão em Forma de Colinas** pode ser percebido em uma extensa área ao norte e à nordeste da bacia em estudo, onde se concentra o maior número de nascentes, tanto do Arroio do Salso como de alguns de seus afluentes. Os granitos são predispostos à intensa intemperização, o que facilita a pedogênese e o entalhamento fluvial. Caracteriza-se sob a forma de conjuntos de colinas de topos convexos e de vertentes predominantemente convexo-côncavas. Inseridas neste padrão, podem ser encontradas colinas com interflúvios médios e vales fechados em “V”, com altitudes de 40 a 80 metros e declividade entre 5 e 10%, bem como colinas com interflúvios amplos e vales abertos, de 20 a 60 m de altitude e até 2% de declividade. Os solos encontrados nesta unidade são profundos, classificados como Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-amarelos.

Na área em estudo, o **Padrão em Forma de Colinas Isoladas** está representado por três ocorrências e sua morfogênese está relacionada ao acúmulo de sedimentos arenosos ocorrido durante as transgressões e regressões marinhas do Pleistoceno (Sistema Laguna-barreira II). Sobre estes depósitos de sedimentos de origem eluvionar e coluvionar, passaram a atuar processos de intemperismo que resultaram em pedogênese, convexização das vertentes e entalhamento fluvial. As colinas têm altitudes predominantes entre 20 e 40 metros, declividades entre 2 e 5%, vertentes convexas e baixa densidade de drenagem. Os solos que as recobrem são profundos, caracterizados como Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-amarelos.

O **Padrão em Forma de Patamares Planos** é encontrado na porção central e nordeste da bacia, apresentando-se como superfícies planas (altitude de até 20 metros e declividades inferiores a 2%), fazendo a transição entre os morros e colinas e as áreas de planície fluvial e fluvio-lagunar. Os solos são mais granulados (areias médias a grossas), classificados como Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos e Plintossolos Argilúvicos. Os patamares têm origem nos depósitos sedimentares deixados pela primeira transgressão marinha (Sistema Laguna-barreira I), os quais sofreram retrabalhamento nos sistemas posteriores (Laguna-barreira II e III), além de terem se formado terraços ao longo dos arroios e rios, após a terceira transgressão.

A unidade geomorfológica com maior representação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso é o **Padrão em Forma de Planície Flúvio-lagunar**, se apresentando ao centro, sul e oeste da bacia, na forma de extensas áreas de baixas altitudes e pequenas declividades (menor que 20 m e 2%, respectivamente). O terreno é plano ou suavemente ondulado, ainda que ocasionalmente entrecortado por colinas e morros, e os solos - mal drenados - se classificam como Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Hápticos e Plintossos Argilúvicos. A morfogênese foi caracterizada pela deposição de sedimentos, principalmente na época de atuação do Sistema Laguna-barreira II, que uniu a área de Porto Alegre ao continente, por meio de áreas planas e terraços arenosos. Neste período, também ocorreu o retrabalhamento destas áreas pela ação da Laguna dos Patos e a estruturação dos canais fluviais, a partir da formação dos terraços fluviais.

A última unidade geomorfológica encontrada na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso é o **Padrão em Forma de Planície Flúvio-lagunar com Cordões Arenosos**. Ressalta-se que no município ainda se encontram mais quatro padrões geomorfológicos, mas sem representação na área de estudo: Planície Flúvio-lagunar com Banhado, Planície Fluvial, Planície Deltaica e Planície Plana Tecnogênica. As planícies flúvio-lagunares com cordões arenosos são encontradas no município sob a forma de pequenas áreas alagadas (com declividade e altitude inferiores a 2% e 20 metros), cordões arenosos e dunas estáveis, paralelas às enseadas do lago Guaíba. São áreas formadas por sedimentos areno-argilosos e areias grossas a finas depositadas no Holoceno, correspondendo ao Sistema Laguna Barreira IV. Os solos são classificados como Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos, podendo ser bem ou mal drenados, conforme a configuração topográfica local. As feições desta unidade geomorfológica ocorrem mais no extremo sul da capital - na área de estudo, esta unidade ocupa apenas uma pequena área na foz do Arroio do Salso.

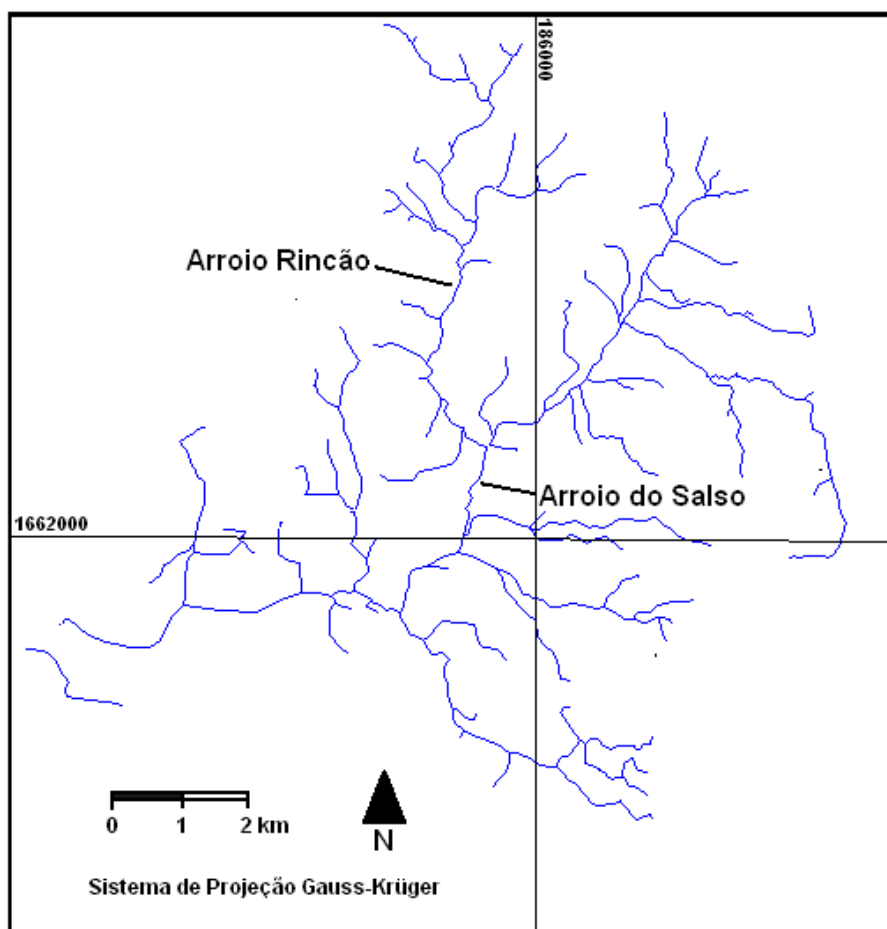
Nas seções seguintes, alguns aspectos geomorfológicos – arranjo da rede de drenagem, morfometria, declividade e hipsometria - serão analisados em detalhe, pois são elementos fundamentais para o estudo das inundações.

6.6 CARACTERIZAÇÃO GERAL E MORFOMÉTRICA DA BACIA E DA REDE DE DRENAGEM

6.6.1 ARRANJO DA REDE DE DRENAGEM

A bacia do Arroio do Salso tem uma área de aproximadamente 99 km², tendo como principal expoente da drenagem o arroio homônimo, com cerca de 15 km de comprimento. A rede fluvial é constituída por dezenas de canais de diversos portes, alcançando até a quarta ordem de drenagem antes de desaguar no lago Guaíba. A FIGURA 30 apresenta o arranjo da rede de drenagem da bacia, com destaque para o Arroio do Salso, ao centro da trama.

FIG. 30 – ARRANJO DA REDE DE DRENAGEM



Fonte: PMPA (2009-c)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

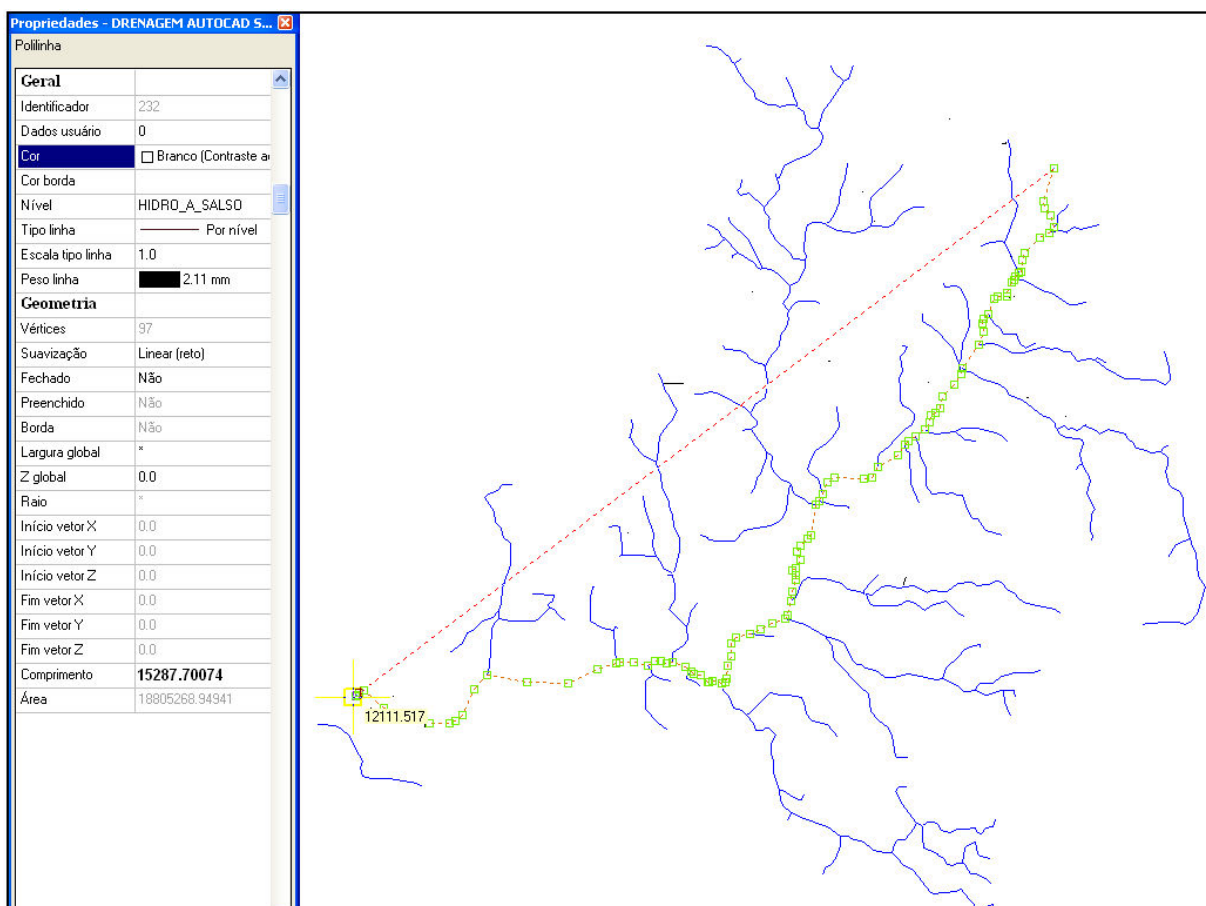
O escoamento superficial converge para o canal principal de todas as direções e o Arroio do Salso desenvolve seu curso predominantemente no sentido nordeste-sudoeste, infletindo para oeste na área mais plana. Como a área da bacia se afunila no sentido do seu exutório, pode-se inferir que o terço final do canal (e sua correspondente planície de inundação, nas cheias excepcionais) está sujeito a receber um considerável volume de água em períodos de grandes chuvas.

Conforme Cunha (1996 e 2003), uma bacia hidrográfica pode apresentar os padrões de canais reto, meandrante e anastomosado, mas não necessariamente de forma exclusiva: um mesmo rio ou canal pode assumir diferentes padrões conforme a variação temporal do regime pluviométrico, podendo ser anastomosado em períodos de estiagem ou meandrante em épocas de cheia. A observação dos padrões fisionômicos da drenagem é importante porque reflete, segundo a autora, as dimensões predominantes dos sedimentos transportados (e depositados). Os canais retilíneos são pouco encontrados na natureza e geralmente são representados por segmentos curtos controlados por linhas tectônicas ao passo que os anastomosados se caracterizam, principalmente, por apresentar grandes volumes de sedimentos no leito e múltiplos canais separados por ilhas assimétricas e barras arenosas (CUNHA, 2003).

A terceira fisionomia proposta é a do canal meandrante, típica de áreas úmidas, cobertas por vegetação ciliar e com baixos gradientes de relevo. O índice de sinuosidade do Arroio do Salso, calculado pela relação entre o comprimento real do canal e o eixo hipotético da nascente à foz (15287 m/12111 m, calculados como o *software MSCad* versão 237, conforme FIGURA 31), resulta em um valor de 1,26 – o que não o qualificaria como um canal meandrante típico, visto que o resultado é inferior a 1,5 (CHRISTOFOLETTI, 1974 e CUNHA, 2003). Além disto, o arroio não apresenta predominância das “curvas sinuosas harmoniosas e semelhantes entre si”, que Cunha (2003) cita como uma das características dos canais meandrantos. Porém, o arroio também não tem uma fisionomia única, sendo menos sinuoso no seu terço inicial e mais curvilíneo a partir da sua porção central, aproximadamente. O fato é que a autora indica que há diversas outras classificações, de forma que necessariamente não há que se enquadrar o Arroio do Salso em uma categoria fisionômica estanque. Mas, sob a perspectiva da geometria dos canais, fica evidente o aspecto

“arborescente” (CUNHA, 2003) que os canais da bacia do Arroio do Salso apresentam, correspondente ao padrão de drenagem dendrítica.

FIG. 31 – CÁLCULO DA SINUOSIDADE DO CANAL



Fonte do arquivo *shape*: PMPA (2009c)
 Fonte da apresentação: *software MSCad v237*
 Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

6.6.2 MORFOMETRIA DA BACIA E DA REDE DE DRENAGEM

O uso de algumas medidas morfométricas contribui para que se compreenda como as formas de uma bacia podem influenciar na suscetibilidade à inundação, embora estes elementos não possam ser considerados determinantes absolutos. O QUADRO 13 apresenta algumas destas medidas, sendo que dados de hipsometria e declividade não estão contemplados, pois serão analisados separadamente, na seção 6.7.

QUADRO 13 – MEDIDAS MORFOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO

| PARÂMETROS | FÓRMULAS | UNIDADES | RESULTADOS ⁽¹⁾ |
|--|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Área da bacia (A) | x | km ² | 99,36 |
| Perímetro (P) | x | Km | 52,16 |
| Comprimento do canal principal (L) | x | Km | 15,29 |
| Comprimento total dos cursos d'água (Lt) | x | Km | 101,69 |
| Extensão média do escoamento superficial (I) | $I = A / 4Lt$ | Km | 0,24 |
| Densidade da drenagem (Dd) | $Dd = Lt / A$ | Km/km ² | 1,02 |
| Densidade de rios (Dr) | $Dr = n / A$ - ver obs. (2) | Canais/km ² -ver obs.(3) | 0,75 |
| Fator de forma (Kf) | $Kf = A / L^2$ | - | 0,42 |
| Índice de Circularidade (Ic) | $Ic = 12,57 * (A / P^2)$ | - | 0,46 |
| Ordem máxima de drenagem (4) | - | - | 4. ^a |

(1) Os valores de A e Lt foram obtidos de Collischonn & Junqueira (2007).

(2) Foram encontrados 75 canais, correspondentes ao valor de n.

(3) Unidade adaptada à realidade da bacia em estudo, a qual não possui rios.

(4) A análise da hierarquia fluvial foi baseada em Cunha (2003) e em Strahler & Strahler (1989).

Fontes das fórmulas: Alcântara & Amorim (2005), Collischonn & Junqueira (2007), Cristo (2002), Sucupira *et al* (2006) e Zuffo (2007)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

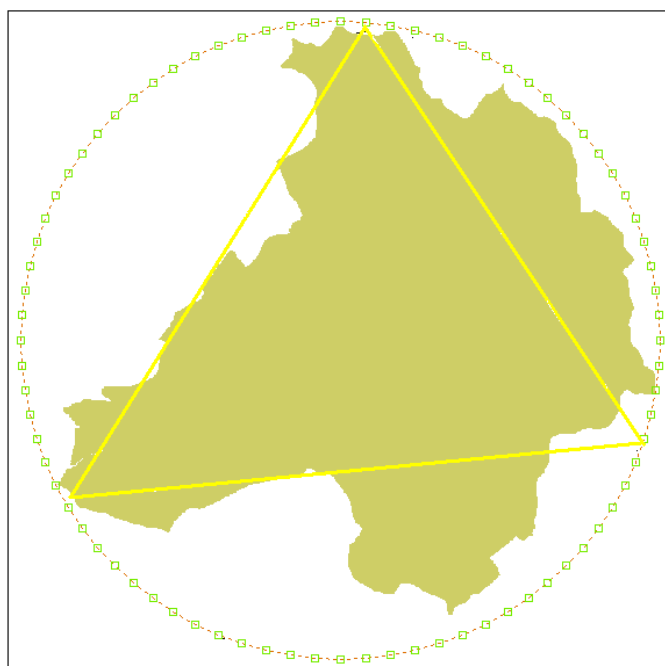
A extensão média do escoamento superficial (I) expressa a distância que a água teria de percorrer do ponto de precipitação até o curso d'água mais próximo, supondo-se que o escoamento se desse em linha reta. É um valor médio, válido apenas como estimativa, visto que os trajetos do escoamento superficial estão sujeitos a diversos obstáculos. Porém, juntamente com valores como área da bacia, perímetro, comprimento do canal principal e comprimento total dos cursos d'água, permite que se tenha uma idéia geral da dimensão areal e da drenagem.

No que se refere à quantificação da rede de drenagem na bacia, dois parâmetros são apresentados no QUADRO 13. Primeiramente, a densidade de drenagem (Dd) permite que se conheça o potencial de escoamento superficial da água (SUCUPIRA *et al*, 2006), expressa em quilômetros de canais por km² de área da bacia. No caso da bacia do Arroio do Salso, o valor obtido – 1,02 km/km² - demonstra uma rede de drenagem não muito expressiva, caso se considere que o intervalo pode variar, em termos de riqueza, de 0,5 a 3,5 km/km² (VILLELA & MATTOS, 1975). O segundo parâmetro é a densidade de rios (Dr), que neste caso é expressa em canais, visto que só há arroios e entidades menos expressivas na

bacia. Este parâmetro permite que se observe os processos de controle – artificiais ou naturais – no desenvolvimento da drenagem (SUCUPIRA *et al*, 2006). Quando os valores da densidade de drenagem são superiores ao de densidade de rios, observa-se um maior controle estrutural, com canais mais alongados, porém em menor quantidade.

No que se refere à forma da bacia, há diversos parâmetros para auxiliar na análise da suscetibilidade à inundação. O fator de forma (K_f) é obtido pela comparação do formato da bacia com a de um retângulo. Comparando-se duas bacias de tamanhos semelhantes, será menos sujeita a enchentes a que tiver um fator de forma menor. Outra maneira de se avaliar a suscetibilidade à inundação por meio do formato da bacia é comparar a sua área com um círculo. Quando menos circular for a forma da bacia, menor será a sua propensão à enchentes. Primeiramente, porque uma bacia arredondada tem mais possibilidades de conter inteiramente uma nuvem do que aquelas de forma alongada (exceto se a direção da chuva coincidir com a do escoamento superficial). Além disto, em uma bacia arredondada os pontos mais afastados do exutório da bacia estão a uma mesma distância média, contribuindo praticamente ao mesmo tempo para o preenchimento dos canais principais (vazão de pico). Circunscrevendo-se a representação da bacia do Arroio do Salso em um círculo (FIGURA 32), observa-se um formato intermediário, nem predominantemente circular mas também não alongado - o formato está mais próximo de um triângulo que de um círculo. Esta constatação se expressa também com o cálculo do índice de circularidade (I_c) da bacia, cujo intervalo de resultados pode variar entre 0 e 1 e que, no caso, atinge um valor significativamente intermediário (0,46).

FIG. 32 – REPRESENTAÇÃO DA FORMA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO



Fonte do arquivo *shape*: PMPA (2009c)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

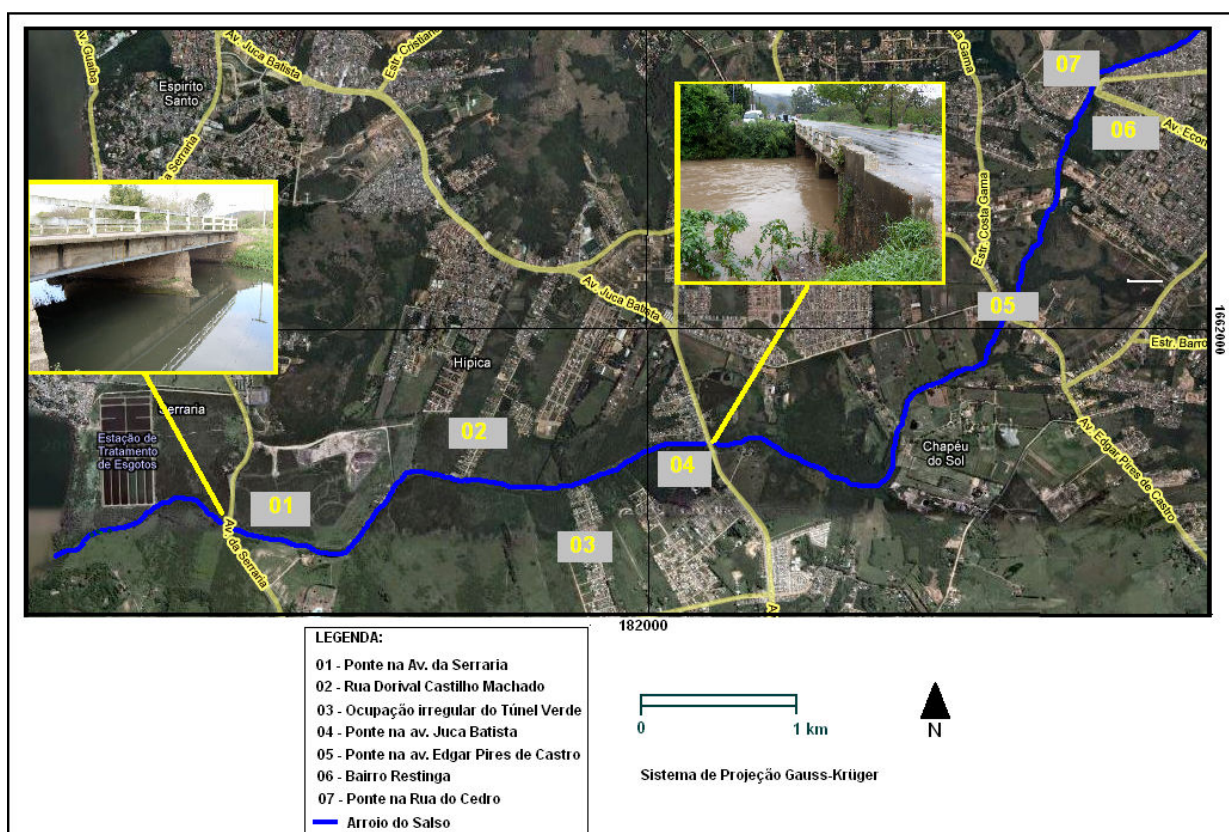
6.6.3 ELEMENTOS ARTIFICIAIS IMPLANTADOS NA DRENAGEM

Quando a urbanização se processa em uma bacia hidrográfica, a dinâmica hídrica pode ser afetada de diversas formas, dependendo da quantidade e concentração de habitantes, da técnica aplicada na construção das edificações, das obras de infraestrutura implantadas, etc. Similarmente, dependendo do planejamento e do investimento feito em uma área, a bacia poderá ser afetada em maior ou menor grau pelas consequências resultantes da retirada da vegetação nativa, da impermeabilização do solo e pelo aporte de efluentes e sedimentos nos canais de drenagem.

Além das ações impensadas, o fato é que mesmo as planejadas podem trazer prejuízos – é o caso de muitas obras de microdrenagem, que aumentam a vazão, esgotando o volume mais rapidamente para jusante e dos projetos implantados na macrodrenagem – tais como as canalizações - que podem resolver o problema no local mas acabam transferindo-o para outros pontos da bacia (TUCCI, 2003 e MARTINS, 1995).

A bacia do Arroio do Salso ainda apresenta uma concentração habitacional bastante inferior à zona norte da capital; entretanto, além dos núcleos habitacionais já existentes, vem ocorrendo uma implantação acelerada de novos loteamentos e ocupações irregulares, nos quais são implantadas estruturas de microdrenagem, nem sempre adequadas. A FIGURA 33 demonstra a ocupação em redor do leito do Arroio do Salso, bem como a disposição das pontes sobre a drenagem.

FIG. 33 – OCUPAÇÃO E PRINCIPAIS OBRAS NA DRENAGEM AO LONGO DO ARROIO DO SALSO



Fonte da imagem base: Google Maps (2009)
 Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

No caso específico das pontes, a influência sobre a drenagem em dias de grande vazão pode resultar em represamento do fluxo - efeito também denominado como “remanso”. A quantificação exata deste efeito exige uma análise acurada e prolongada, com base em diversos parâmetros – tais como nível da lâmina d’água, declividade do canal e capacidade em todo o trecho (TUCCI, 2003). Porém, é possível inferir e até observar em campo este efeito represador, como se pode ver no caso da ponte sobre a Av. da Serraria (FIGURA 34).

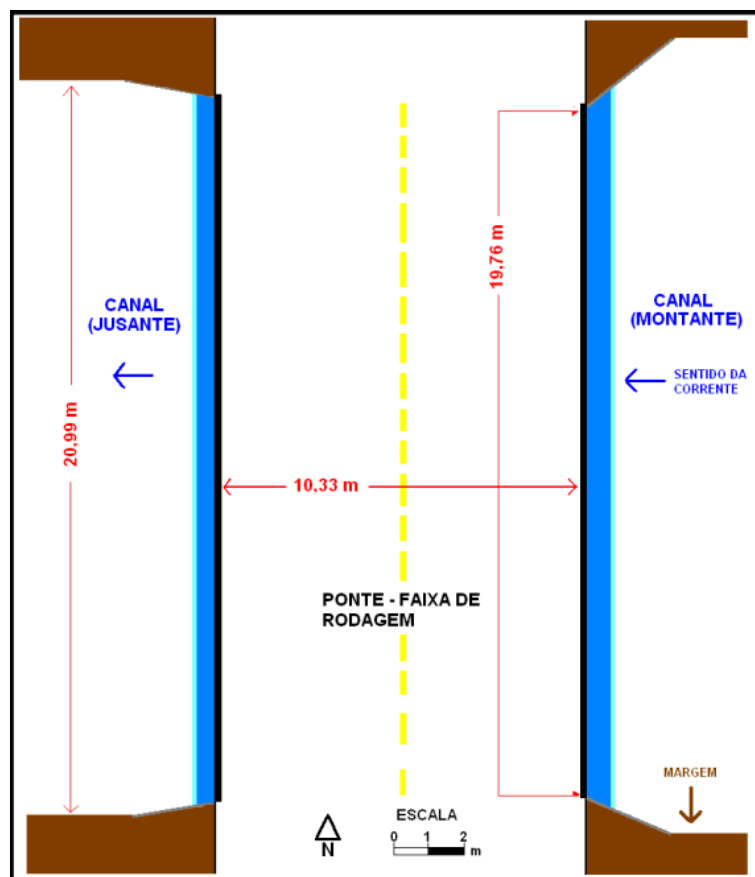
FIG. 34 – PONTE NA AVENIDA DA SERRARIA



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

A ponte tem uma extensão de aproximadamente 19,76 metros, 3,29 m de altura do fundo do talvegue até sua base (desconsiderando-se a amurada) e uma largura de 10,33 metros (FIGURA 35). A largura do canal, medida a jusante da ponte, tem um valor de 20,99 m no ponto escolhido (o leito não é regular), o que resulta em um afunilamento de cerca de 1,23 m na estrutura da ponte, que possui, ainda, uma única pilastra, com bordas triangulares e com laterais de aproximadamente 0,71m (FIGURA 36).

FIG. 35 – ESQUEMATIZAÇÃO DA PONTE NA AVENIDA DA SERRARIA



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

FIG. 36 – DETALHE DA PONTE NA AVENIDA DA SERRARIA



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

Em tempos de estiagem não se percebe o efeito represador, mas em períodos de grande precipitação a estrutura da ponte, associada ao *efeito dique* da Avenida da Serraria, provoca a contenção das águas, como se pode ver na FIGURA 37, que mostra o extravasamento do leito a montante da ponte e na FIGURA 38, onde pode-se ver em detalhe o efeito represador da via.

FIG. 37 – EXTRAVASAMENTO DO ARROIO DO SALSO



Autor: Luís M. Martins de Lima (12/09/2009)

FIG. 38 – EXTRAVASAMENTO DO ARROIO DO SALSO (DETALHE)



Autor: Luís M. Martins de Lima (12/09/2009)

Um outro exemplo de ponte é a que está implantada na avenida Juca Batista, sob a qual o leito do Arroio do Salso foi revestido com pedras (FIGURA 39), o que pode conferir maior estabilidade estrutural à seção mas contribui para alterar a velocidade das águas.

FIG. 39 - PONTE NA AVENIDA JUCA BATISTA (DETALHE)

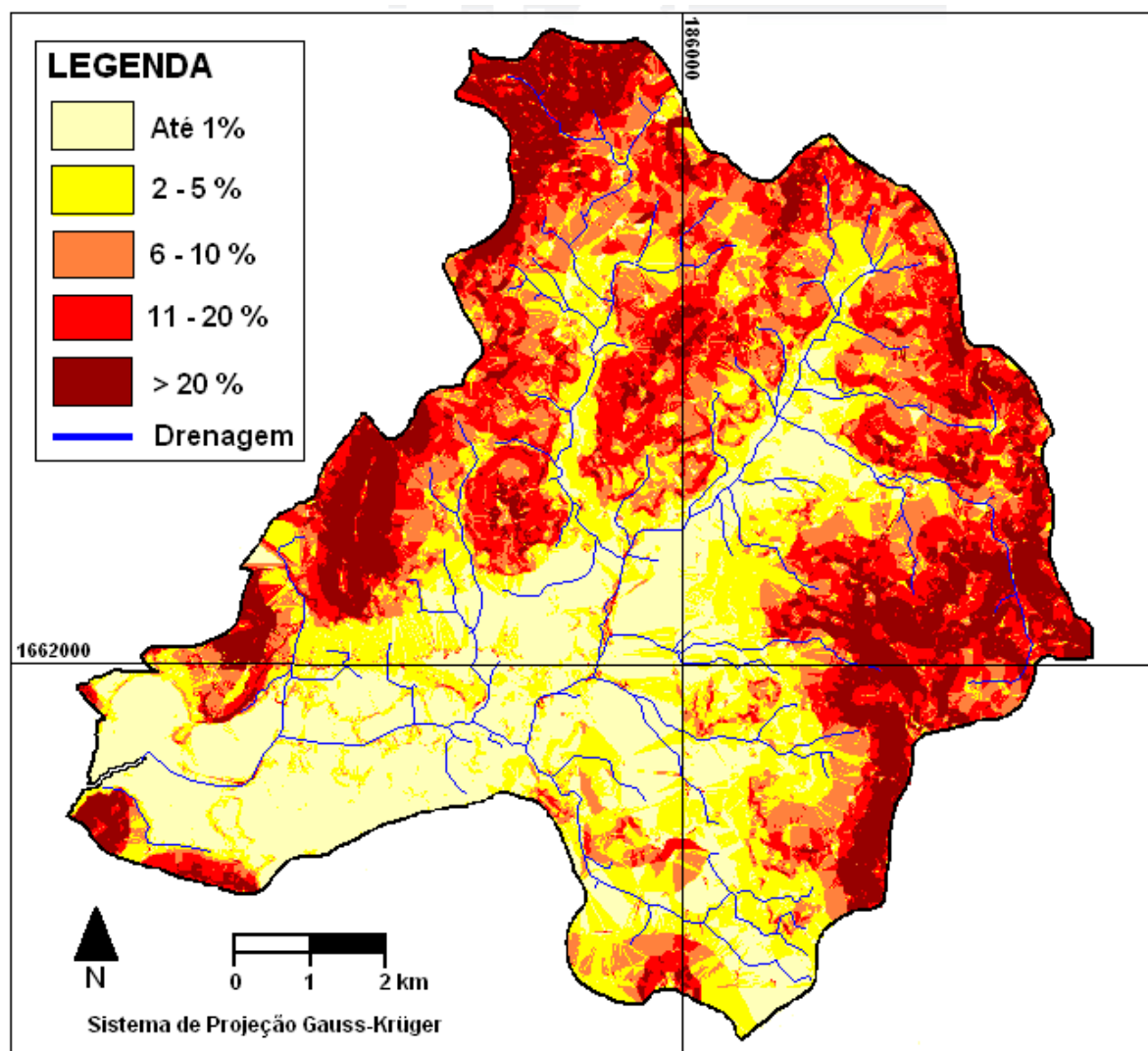


Autor: Luís M. Martins de Lima (12/09/2009)

6.7 DECLIVIDADE E HIPSOMETRIA DA BACIA E PERFIL LONGITUDINAL DO ARROIO DO SALSO

A declividade é um elemento de análise essencial na temática das inundações, pois influencia tanto a infiltração como a cinemática e a direção do escoamento superficial. Além disto, a declividade também reflete as forças de entalhamento e deposição em cada área específica (BRIGUENTI, 2005). As FIGURAS 40 e 41 demonstram, respectivamente, a declividade e a hipsometria na bacia do Arroio do Salso, sendo que os valores foram divididos em classes com maior detalhamento (menor intervalo) nas baixas declividades e altitudes.

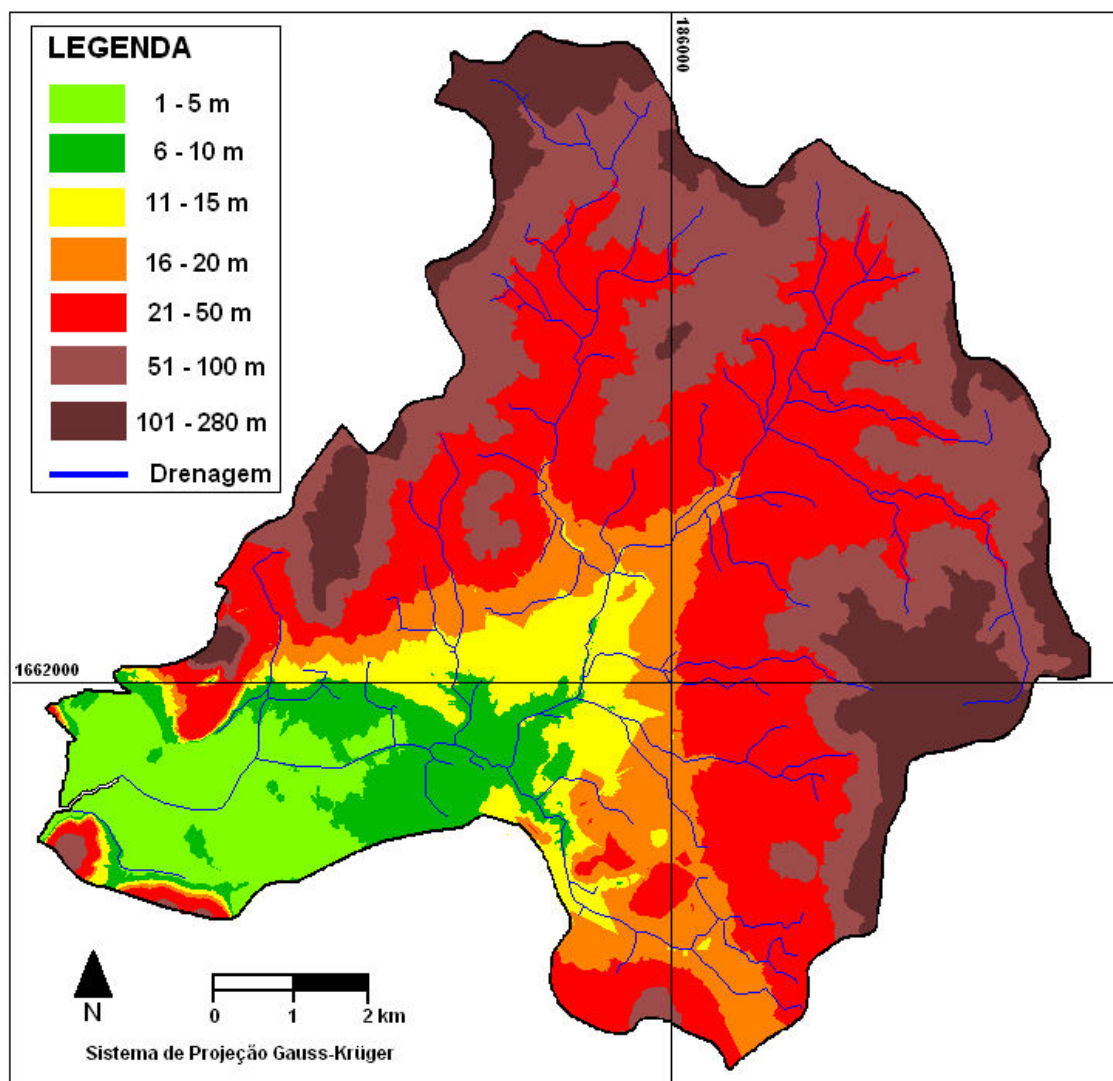
FIG. 40 – MAPA DE DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO



Fonte da base vetorial: PMPA (2009c)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

FIG. 41 – MAPA HIPSOMÉTRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO

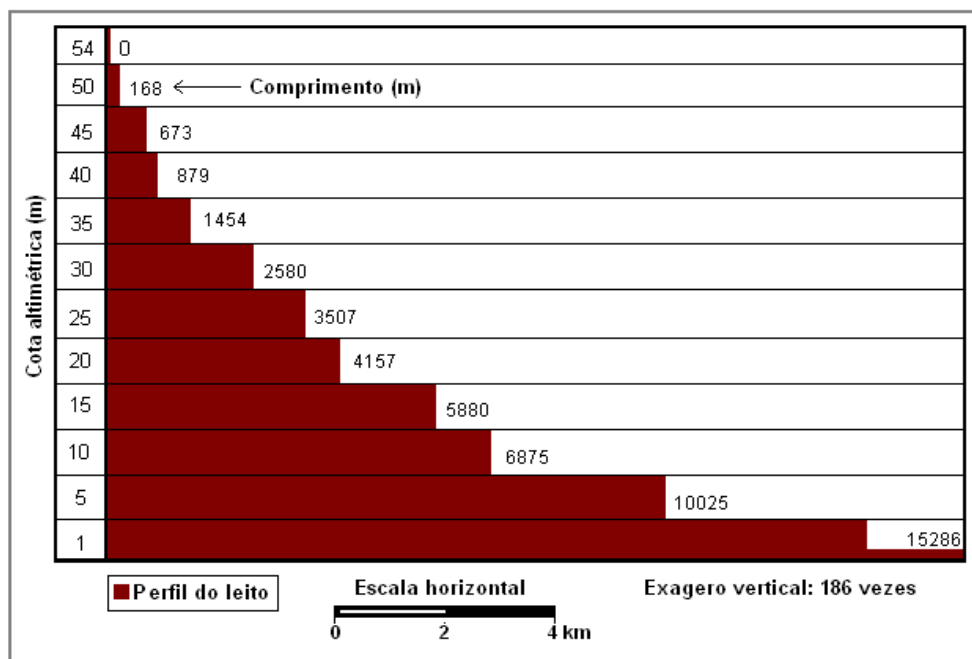


Fonte da base vetorial: PMPA (2009c)
 Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Com base nas curvas de nível, foi elaborado o perfil longitudinal do Arroio do Salso, para visualização do seu gradiente ao longo de todo o curso. Segundo Cunha (2003), o perfil típico de um canal fluvial é côncavo, com declividades maiores a montante, pois o canal busca o auto-ajuste a fatores diversos - tais como volume da corrente, declividade, tamanho dos sedimentos, etc. Este seria o padrão de um rio em equilíbrio mas, na prática, a autora afirma que o perfil longitudinal do canal é bastante modificado pelas obras de controle de drenagem, que seccionam o curso em diversos segmentos, cada qual com “perfis de equilíbrios próprios”. No caso do Arroio do Salso, o GRÁFICO 10 demonstra o seu perfil

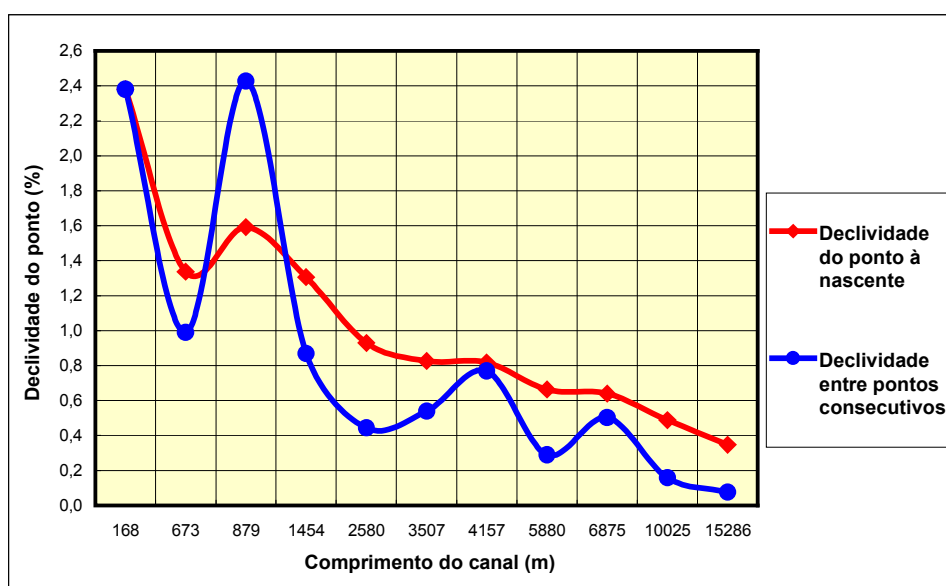
longitudinal, no que se refere à altimetria, ao passo que o GRÁFICO 11 permite a visualização da declividade de cada intersecção do canal com as curvas de nível de equidistância de 5 metros, tanto em relação ao ponto zero (nascente) como entre dois pontos consecutivos.

GRÁF. 10 – PERFIL LONGITUDINAL DO ARROIO DO SALSO



Fonte da base vetorial: PMPA (2009c)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

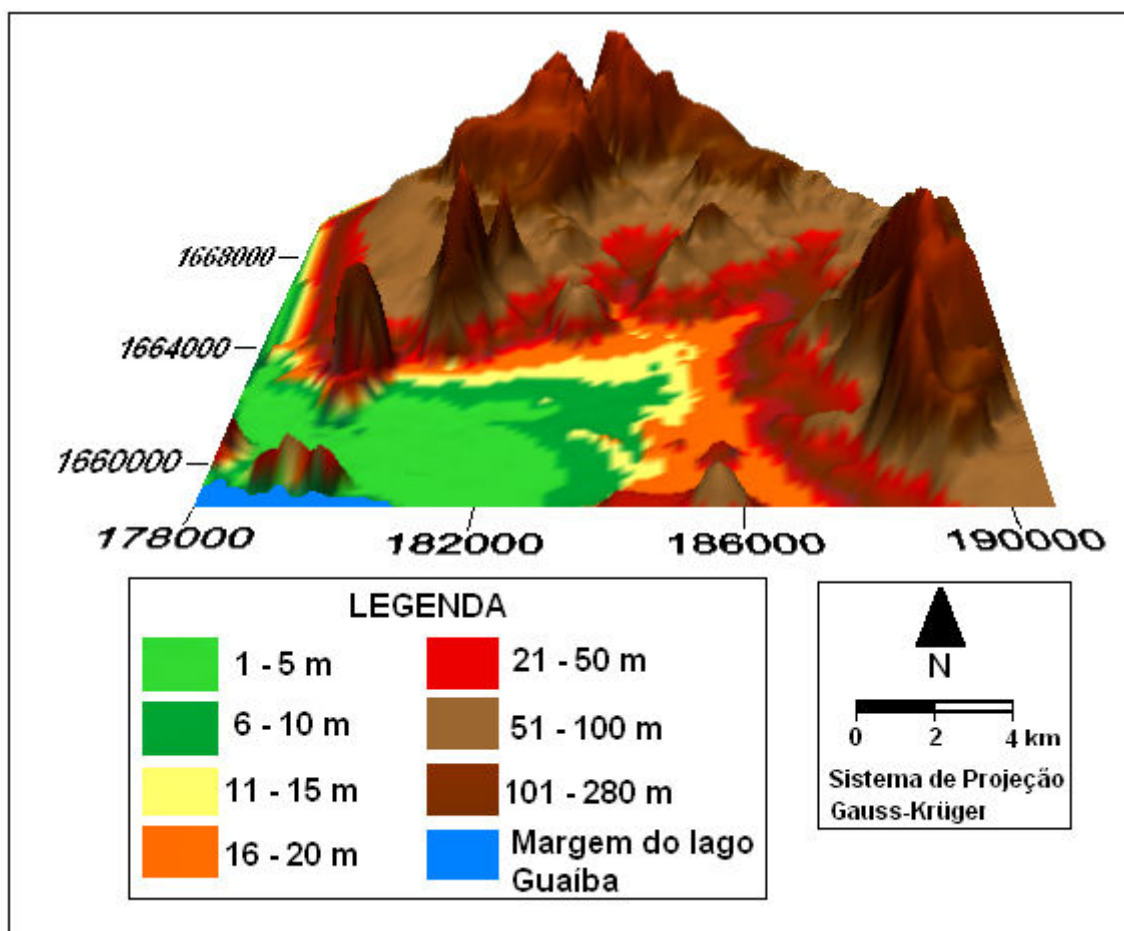
GRÁF. 11 – DECLIVIDADE DO ARROIO DO SALSO



Fonte da base vetorial: PMPA (2009c)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

O Arroio do Salso apresenta maiores declividades a montante mas, de um modo geral, os valores são pequenos, devido ao pequeno gradiente vertical (54 metros) em relação à grande extensão do canal principal – mais de 15 km de curso. Esta fisionomia do canal contrasta com a área da porção nordeste da bacia, onde são encontradas colinas e alguns morros com cotas e declividades mais relevantes (FIGURAS 40 e 41). Isto permite inferir-se que, sob precipitações intensas, o escoamento superficial oriundo destas áreas chega ao canal com grande velocidade, contrastando com o curso do Arroio do Salso, de energia mais moderada. Por fim, a FIGURA 42 demonstra o modelado do terreno da bacia em três dimensões - foram mantidas algumas áreas adjacentes e aplicado exagero vertical, para melhor visualização das formas de relevo.

FIG. 42 – MODELO TRIDIMENSIONAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO



Fonte da base vetorial: PMPA (2009c)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

6.8 PERFIL DE UMA SEÇÃO TRANSVERSAL DO ARROIO DO SALSO

A determinação do perfil de uma seção transversal do Arroio do Salso foi feita em 05/05/2009, na face leste da ponte na Avenida da Serraria - local escolhido por ser a última intersecção com uma via pública antes da foz do arroio. O procedimento de coleta de dados em pontes é mencionado tanto por Cunha (1996) como por Bruniard (1992) e proporcionou um resultado adequado sem a necessidade de utilização de barco ou contato direto com a água – que é contaminada pelo esgoto cloacal oriundo das diversas ocupações existentes ao longo do arroio. A caracterização do perfil da seção transversal foi elaborada com a utilização de uma linha de *nylon*, à qual foi acoplada uma ponteira metálica (FIGURA 43) com massa superior à capacidade de transporte da corrente – Porto Alegre vivenciava um período de 30 dias de estiagem.

FIG. 43 – MODELO DE PONTEIRA PARA COLETA DE DADOS



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

Foram definidos dez pontos de observação para determinação do perfil transversal, conforme FIGURA 44, sendo que os pontos 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 10 correspondem aos pilares da amurada da ponte. Quanto aos pontos 2 e 9, foram determinados pelos locais onde ocorriam os limites do contato da linha da água com a margem provisória, sendo que, juntamente com o dia 04/05/09, foi a única ocasião, em todos os levantamentos de campo

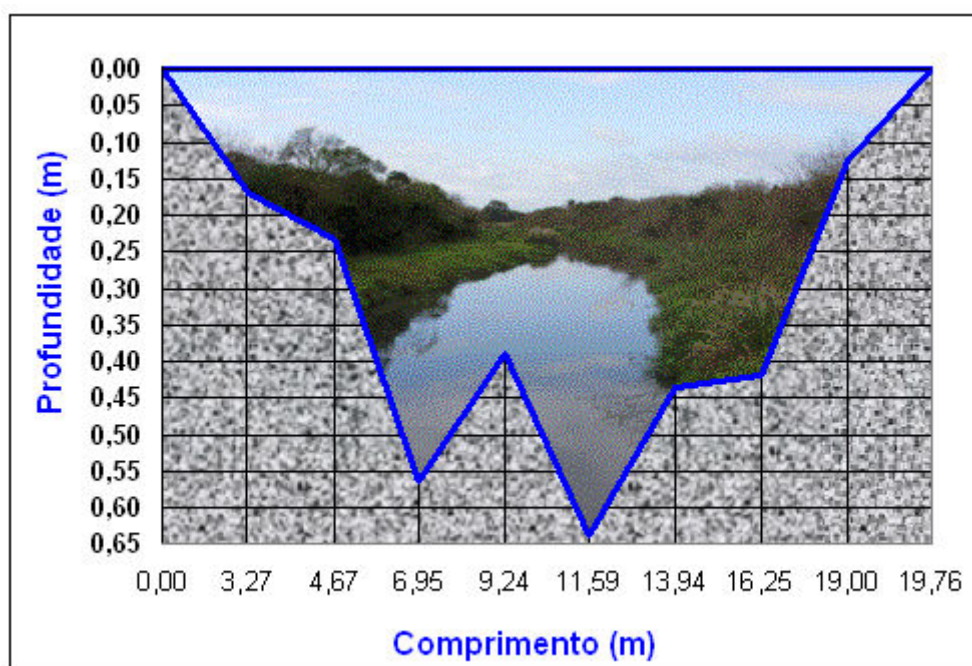
realizados, em que os pontos 1 e 10 não estiveram submersos. O GRÁFICO 12 ilustra o perfil do leito do Arroio do Salso, com as respectivas distâncias acumuladas entre os pontos, com exagero vertical.

FIG. 44 - PONTOS PARA COLETA DE DADOS NA SEÇÃO TRANSVERSAL



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

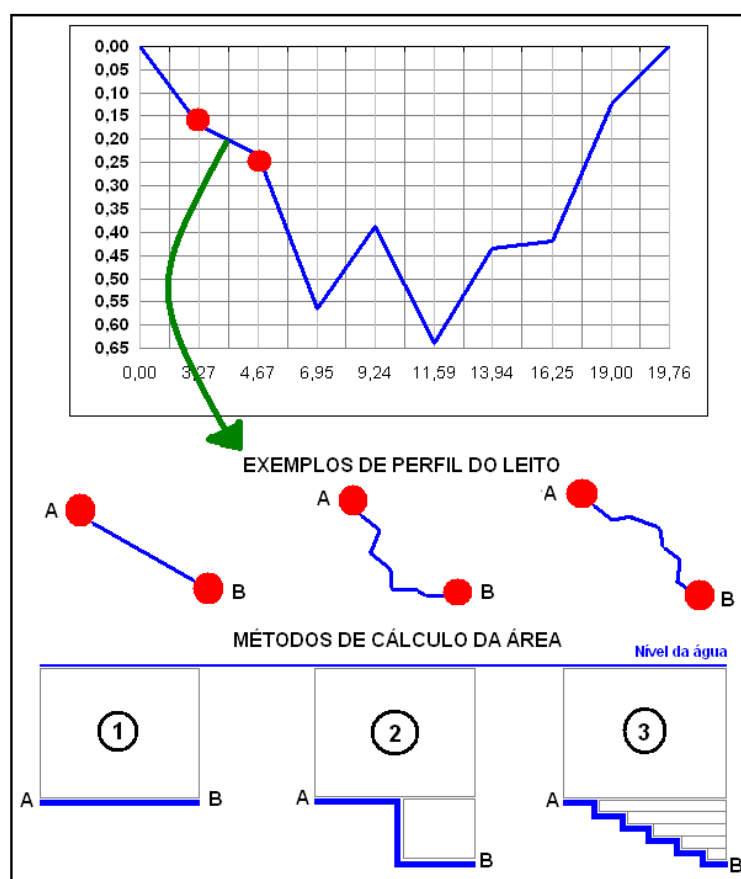
GRÁF. 12 – PERFIL DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO ARROIO DO SALSO EM 05/05/2009



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Para os dias em que foram efetuadas tanto a leitura do nível do arroio como a medição da velocidade da corrente, foi calculada também a vazão. Para o cálculo da área da seção molhada, considerou-se como parâmetro o perfil da seção do Arroio do Salso traçado em 05/05/09, ao qual foram acrescidos os valores das variações do nível da água ocorridas nas demais ocasiões. Entretanto, não se visualiza no gráfico o perfil entre **cada ponto**, podendo ser retilíneo ou não - e qualquer variação nestes segmentos do perímetro úmido resultaria em diferentes valores para o cálculo da área. A FIGURA 45 ilustra esta situação, apresentando o gráfico simplificado do perfil inicialmente medido e exemplos de variações possíveis para o formato da linha entre dois pontos – em cada caso, haveria uma medida de área com resultado distinto. No entanto, não há como calcular a área (e, conseqüentemente, a vazão) com exatidão sem que se faça a medição a cada centímetro do perímetro úmido (algo excessivamente laborioso e, no caso, até mesmo desnecessário). Mas pode-se buscar uma aproximação melhor e, visando isto, foram experimentados três procedimentos matemáticos simples para o cálculo – também demonstrados na FIGURA 45 e detalhados logo adiante.

FIG. 45 – VARIAÇÕES DE PERFIL E MÉTODOS DE CÁLCULO DA ÁREA



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

A primeira forma de cálculo utilizada considerou cada seção (distância de um ponto ao outro) com o valor uniforme em toda sua extensão. Ou seja, considerando-se que um ponto hipotético “A” tenha valor de profundidade de 30 cm, toda a extensão do segmento terá o mesmo valor até atingir o ponto “B”, o qual terá outra cota até o ponto “C” e assim sucessivamente. Como segundo método, foi utilizado o procedimento de dividir cada segmento entre dois pontos em duas partes, sendo que a primeira parte assume o valor de altura do segmento anterior e o segundo a cota posterior, e assim sucessivamente, para todos os pontos.

Por fim, a última forma utilizada e cujos valores resultantes foram adotados, consistiu em dividir cada segmento entre dois pontos em n partes, sendo n_1 igual ao valor do ponto inicial e os demais progredindo com a adição de uma razão aritmética. Assim, a extensão da ponte foi dividida em 1976 centímetros, atribuindo-se a cada subunidade, entre dois pontos de sondagem, um valor de profundidade obtido em forma de progressão aritmética, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$a_n = a_1 + (n - 1) * r \text{ onde}$$

a_n é o termo desejado para qualquer valor de n ;

a_1 é o primeiro termo de cada segmento;

n é o número sequencial da ocorrência, entre dois pontos e

r é a razão (resultado da subtração do ponto posterior pelo anterior, dividido pelo número de subunidades entre dois pontos).

Os valores reais de área obtidos para o perfil do arroio em 05/05/2009 são de 6,30 m² com o primeiro método, 6,88 m² com o segundo e 6,86 m² com o último método – este último foi adotado para os demais cálculos.

6.9 COMPORTAMENTO DA DRENAGEM FRENTE A PRECIPITAÇÕES

Observando-se os relatos de ocorrências de inundações nas ruas Dorival Castilho Machado (bairro Hípica) e Túnel Verde (Ponta Grossa), informados pelo Departamento de Esgotos Pluviais e pela Defesa Civil, foram selecionadas algumas datas para

análise do comportamento da drenagem frente a precipitações entre os anos de 2005 e 2009, conforme QUADRO 14. As datas escolhidas atendem aos critérios de ocorrência de uma sequência de dias com precipitação muito elevada, bem como à existência de notícia de inundação.

QUADRO 14 – EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO PARA ANÁLISE

| DATA | CARACTERÍSTICAS DO EVENTO (*) | FONTE DAS INFORMAÇÕES | PRECIPITAÇÃO DIÁRIA E ACUMULADA (mm) (**) | | | | | | | | | |
|----------|--|---|---|---|------------|--------|----------|--------|-------------------|--------|-------|-------|
| | | | 8º Disme | | Belém Novo | | Restinga | | Lomba do Pinheiro | | | |
| 27/08/05 | Inundação na rua Dorival Castilho Machado (bairro Hípica). Foi necessário o uso de barcos para remoção dos moradores, com o apoio da Brigada Militar. | DEP/PMPA | 0,00 | 0,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 28/08/05 | | | 17,00 | 17,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 29/08/05 | | | 7,00 | 24,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 30/08/05 | | | 44,20 | 68,20 | X | X | X | X | X | X | | |
| 31/08/05 | | | 7,80 | 76,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 01/09/05 | | | 22,60 | 98,60 | X | X | X | X | X | X | | |
| 02/09/05 | | | 11,70 | 110,30 | X | X | X | X | X | X | | |
| 03/09/05 | 0,00 | 0,00 | X | X | X | X | X | X | | | | |
| 29/05/06 | Inundação na rua Dorival Castilho Machado. | Defesa Civil (ocorrência n.º 221/2006) | 0,00 | 0,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 30/05/06 | | | 65,10 | 65,10 | X | X | X | X | X | X | | |
| 31/05/06 | | | 35,00 | 100,10 | X | X | X | X | X | X | | |
| 01/06/06 | | | 0,10 | 100,20 | X | X | X | X | X | X | | |
| 02/06/06 | | | 0,00 | 0,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 07/06/07 | | | 0,00 | 0,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 08/06/07 | | | 0,10 | 0,10 | X | X | X | X | X | X | | |
| 09/06/07 | Na Ponta Grossa, foi necessária a remoção de 40 pessoas do Túnel Verde. Registrado alagamento, no dia 11 (a/p 10:05 h), próximo ao número 1337 da rua Dorival Castilho Machado. | PMPA e Defesa Civil (ocorrência n.º 334/2007) | 5,10 | 5,20 | X | X | X | X | X | X | | |
| 10/06/07 | | | 57,80 | 63,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 11/06/07 | | | 65,60 | 128,60 | X | X | X | X | X | X | | |
| 12/06/07 | | | 2,20 | 130,80 | X | X | X | X | X | X | | |
| 13/06/07 | | | 2,30 | 133,10 | X | X | X | X | X | X | | |
| 14/06/07 | | | 30,60 | 163,70 | X | X | X | X | X | X | | |
| 15/06/07 | | | 20,10 | 183,80 | X | X | X | X | X | X | | |
| 16/06/07 | | | 18,90 | 202,70 | X | X | X | X | X | X | | |
| 17/06/07 | | | 0,00 | 0,00 | X | X | X | X | X | X | | |
| 20/09/07 | | | Na rua Túnel Verde, 24 pessoas ficaram desabrigadas. Registrada a retirada de uma família pela Defesa Civil, no dia 23 (a/p 19:00 h), transferindo-a para o Albergue Felipe Dill. | Website Terra e Defesa Civil (ocorrência n.º 564/2007) | 0,00 | 0,00 | X | X | X | X | X | X |
| 21/09/07 | 2,90 | 2,90 | | | X | X | X | X | X | X | | |
| 22/09/07 | 10,80 | 13,70 | | | X | X | X | X | X | X | | |
| 23/09/07 | 78,90 | 92,60 | | | X | X | X | X | X | X | | |
| 24/09/07 | 17,00 | 109,60 | | | X | X | X | X | X | X | | |
| 25/09/07 | 0,00 | 0,00 | | | X | X | X | X | X | X | | |
| 01/05/08 | Ciclone Extratropical, 149 mm de chuva em 24 horas. Na rua Dorival Castilho Machado, houve inundação e cerca de 100 famílias foram atingidas. Conforme a MetSul Meteorologia, a chuva foi equivalente à média de dois meses em alguns bairros. | PMPA | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 02/05/08 | | | 1,80 | 1,80 | 3,50 | 3,50 | 3,20 | 3,20 | 3,40 | 3,40 | | |
| 03/05/08 | | | 149,60 | 151,40 | 92,80 | 96,30 | 199,30 | 202,50 | 237,50 | 240,90 | | |
| 04/05/08 | | | 6,40 | 157,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 05/05/08 | | | 4,40 | 162,20 | 3,20 | 3,20 | 8,30 | 8,30 | 14,80 | 14,80 | | |
| 06/05/08 | | | 4,00 | 166,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 07/05/08 | | | 0,10 | 166,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 08/05/08 | | | 0,10 | 166,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 09/05/08 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 07/08/09 | | | 54 horas de chuva. No Túnel Verde, no dia 8 (a/p 16:00 h), 28 pessoas foram removidas e mais 29 no dia 10 (a/p 10:00 h). Na rua Dorival Castilho Machado, também houve inundação. | PMPA, Jornal Zero Hora e Defesa Civil (ocorrências n.ºs 362 e 363/2009) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 08/08/09 | 29,10 | 29,10 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 09/08/09 | 26,50 | 55,60 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 10/08/09 | 78,00 | 133,60 | | | 206,30 | 206,30 | 203,70 | 203,70 | 227,10 | 227,10 | | |
| 11/08/09 | 0,50 | 134,10 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 12/08/09 | 0,00 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 06/09/09 | Vários dias de chuvas intensas e prolongadas causaram inundação no Túnel Verde. | | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 07/09/09 | | | | | 9,40 | 9,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 08/09/09 | | | | | 29,80 | 39,20 | 37,20 | 37,20 | 32,90 | 32,90 | 38,70 | 38,70 |
| 09/09/09 | | | | | 1,40 | 40,60 | 1,00 | 38,20 | 0,90 | 33,80 | 0,90 | 39,60 |
| 10/09/09 | | | 7,80 | 48,40 | 6,80 | 45,00 | 11,90 | 45,70 | 7,60 | 47,20 | | |
| 11/09/09 | | | 21,90 | 70,30 | 28,70 | 73,70 | 27,40 | 73,10 | 26,30 | 73,50 | | |
| 12/09/09 | | | 47,50 | 117,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 13/09/09 | | | 19,80 | 137,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 14/09/09 | | | 2,80 | 140,40 | 81,20 | 81,20 | 77,40 | 77,40 | 96,80 | 96,80 | | |
| 15/09/09 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 25/09/09 | Inundação atingiu 98 residências no Túnel Verde, mas somente 21 pessoas aceitaram ser removidas de suas casas. | Jornal Zero Hora | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 26/09/09 | | | 0,40 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 27/09/09 | | | 74,20 | 74,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 28/09/09 | | | 8,40 | 82,60 | 132,40 | 132,40 | 113,50 | 113,50 | 128,40 | 128,40 | | |
| 29/09/09 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |

(*) Considerou-se como evento uma sequência de dias de chuva antecedida e sucedida por, no mínimo, um dia de estiagem.

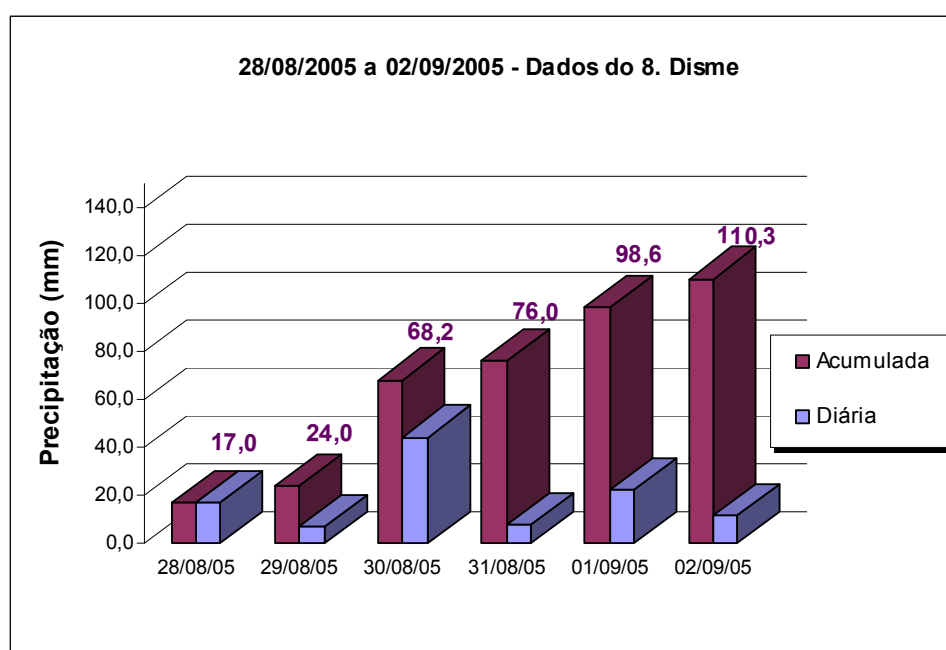
(**) As coletas do Sistema Metroclima não são feitas nos finais de semana, de forma que o valor das segundas-feiras corresponde ao acumulado até as 09:00 horas, incluindo as precipitações de sábado e domingo. O 8.º Disme efetua coletas diariamente em três horários: 09:00, 15:00 e 21:00 horas.

Fontes dos dados meteorológicos: 8.º Disme (2009) e Metroclima (2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Com base nos eventos do QUADRO 14, os GRÁFICOS 13, 14, 15 e 16 demonstram os volumes diários de chuvas, bem como a quantidade acumulada na sequência de dias de precipitação, conforme dados do 8.^o Disme. É essencial ressaltar que a sequência não significa chuva ininterrupta, mas sim uma série de datas consecutivas em que houve precipitação todos os dias – a sequência é antecedida e sucedida por, no mínimo, um dia de estiagem. Devido à sistemática diferenciada de coleta do Metroclima, para os eventos ocorridos a partir de 2008 são apresentadas somente as precipitações máximas acumuladas por pluviômetro em cada sequência de dias de chuva, conforme GRÁFICOS 17, 18, 19 e 20. Por fim, o GRÁFICO 21 apresenta os volumes de chuvas diárias de todas as sequências selecionadas, mas apenas com os dados do 8.^o Disme, devido às razões já explicadas.

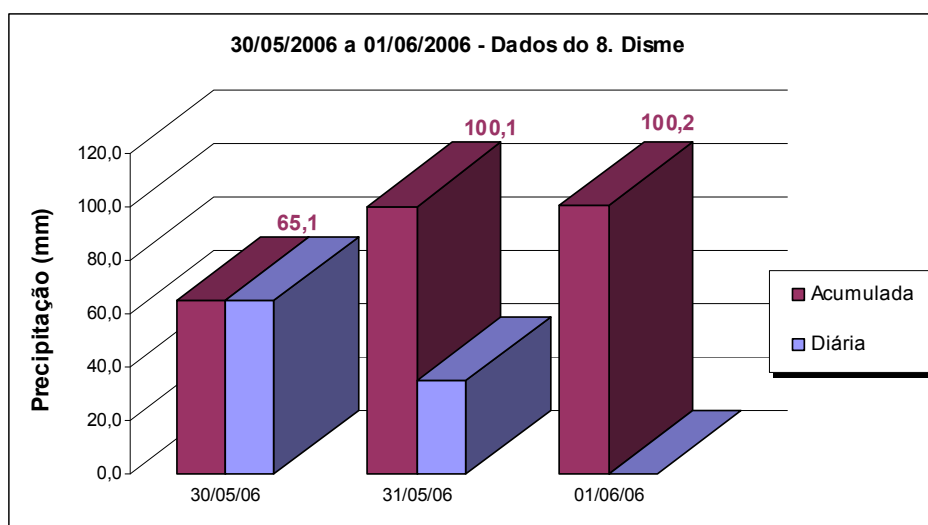
GRÁF. 13 – SEQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DE 28/08/2005 A 02/09/2005



Fonte: 8.^o Disme (2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

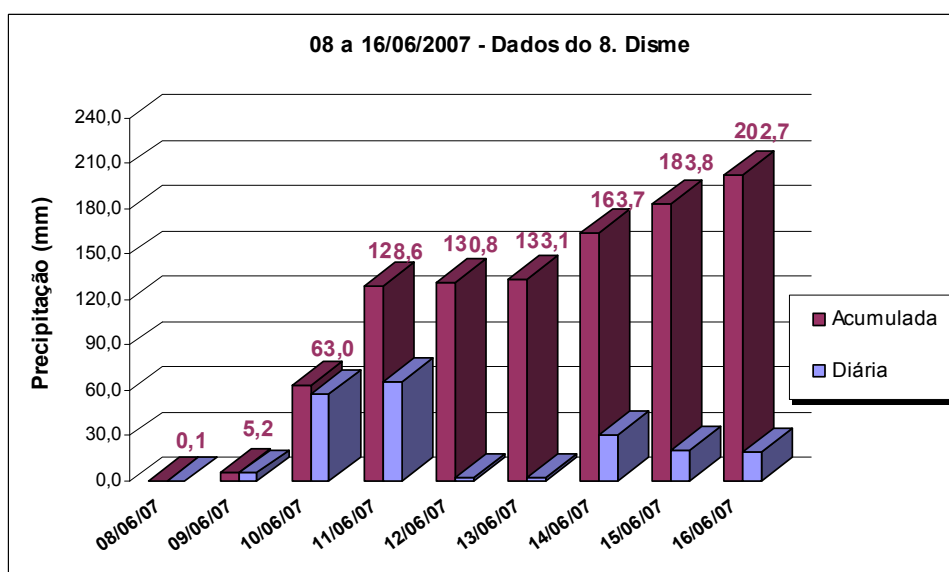
GRÁF. 14 – SEQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DE 30/05/2006 A 01/06/2006



Fonte: 8.^o Disme (2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

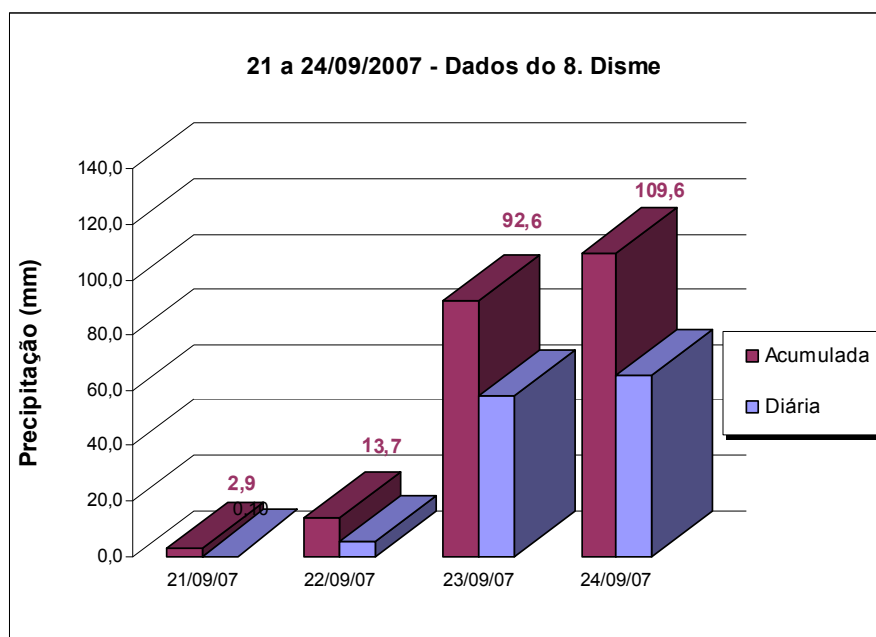
GRÁF. 15 – SEQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DE 08 A 16/06/2007



Fonte: 8.^o Disme (2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

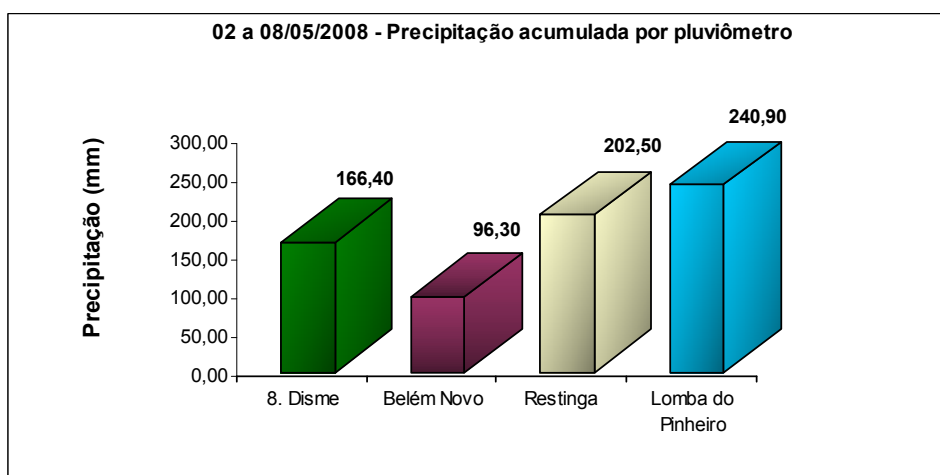
GRÁF.16 – SEQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DE 21 A 24/09/2007



Fonte: 8.^o Disme (2009)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

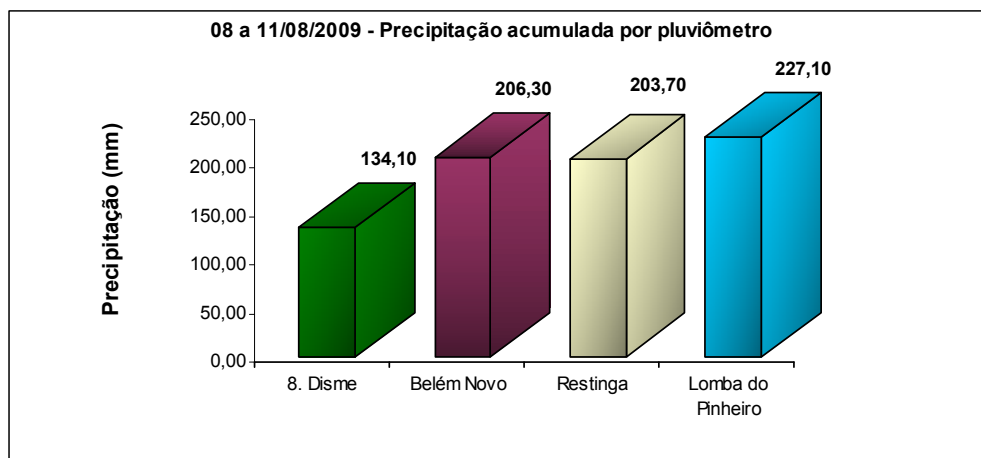
GRÁF. 17 - SEQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DE 02 A 08/05/2008



Fontes: 8.^o Disme (2009) e Metroclima (2009)

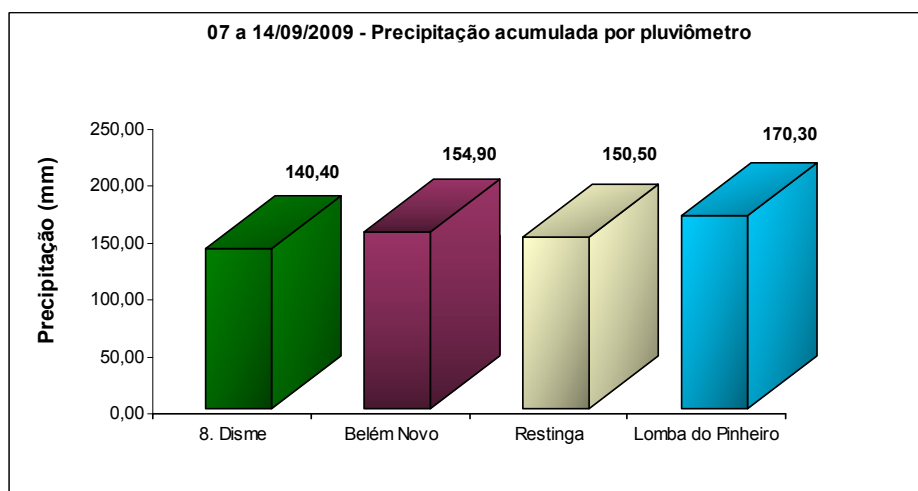
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

GRÁF. 18 – SEQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DE 08 A 11/08/2009



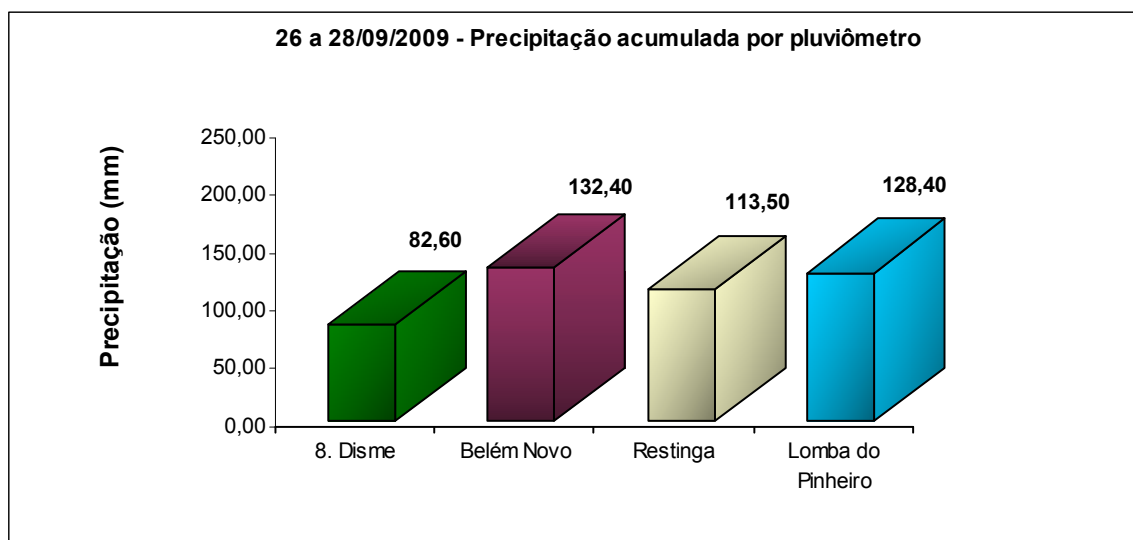
Fontes: 8.^o Disme (2009) e Metroclima (2009)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

GRÁF. 19 – SEQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DE 07 A 14/09/2009



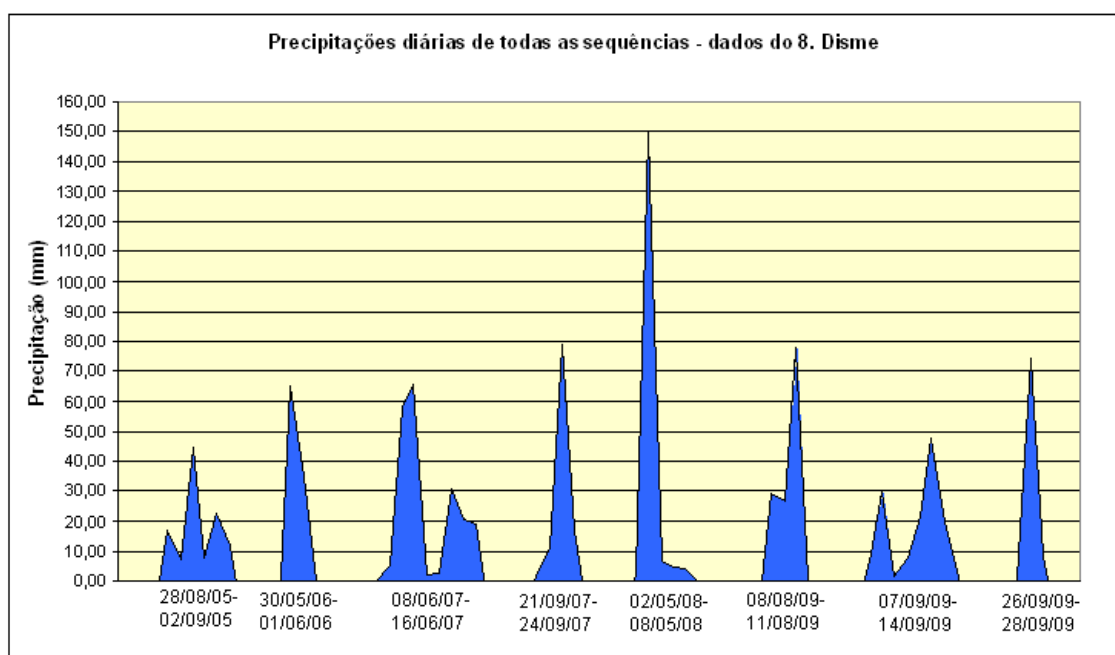
Fontes: 8.^o Disme (2009) e Metroclima (2009)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

GRÁF. 20 – SEQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DE 26 A 28/09/2009



Fontes: 8.^o Disme (2009) e Metroclima (2009)
 Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

GRÁF. 21 – PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS DAS SEQUÊNCIAS SELECIONADAS



Fonte: 8.^o Disme (2009)
 Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Cabe acrescentar que os dados de precipitação e os relatos de ocorrências permitem apenas uma tênue visualização dos padrões de chuvas capazes de causar inundação na área de estudo. No caso, há limitação tanto na quantidade de ocorrências encontradas como, sobretudo, devido à falta de coleta sistemática da vazão do Arroio do Salso. As diferenças entre os pluviômetros demonstrados nos GRÁFICOS 17, 18, 19 e 20 devem ser analisadas com cuidado, devido à sistemática de coleta diferenciada do Metroclima, mas servem como um indicativo da significativa variabilidade espacial da precipitação em Porto Alegre.

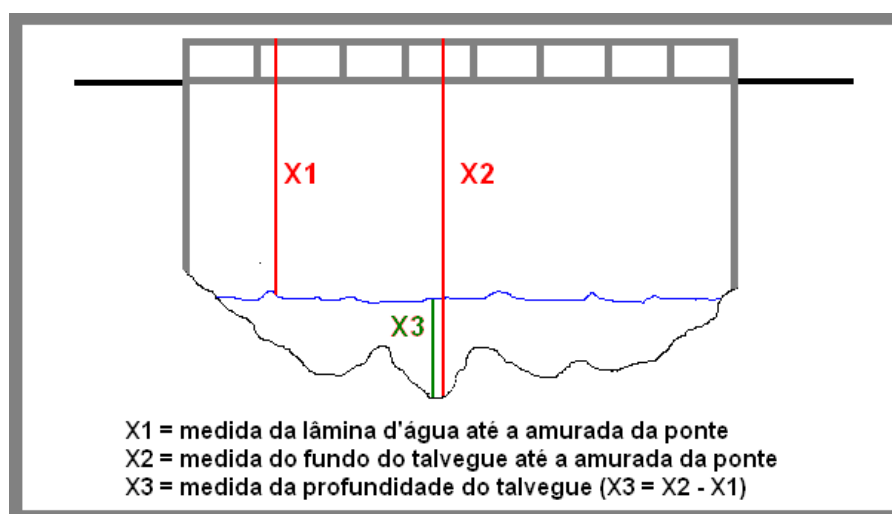
Da análise dos gráficos anteriores e do QUADRO 14, o que se percebe mais claramente é que os eventos de inundação relatados estão relacionados a vários dias consecutivos de chuva, embora não seja possível distinguir os valores exatos de precipitação diária e/ou acumulada que provocam o extravasamento do Arroio do Salso. Para obter esta *certeza*, dois requisitos são exigíveis: primeiro, o monitoramento minuto a minuto da seção transversal, em dia de precipitação, para registrar o instante em que o arroio atinge o estágio de margens plenas. Como não há limnógrafo no Arroio do Salso, restaria a observação pessoal e sistemática – não impossível, mas pouco prática, eis que o momento esperado pode ocorrer a qualquer hora do dia ou da noite. Supondo-se obtido este primeiro dado, ainda restaria necessário conhecer qual a precipitação acumulada até aquele instante, algo que também não está disponível para a bacia. Poderiam ser utilizados hietogramas fornecidos pelo 8.^o Distrito de Meteorologia, mas não seria o ideal, devido à localização diferenciada de sua estação, visto que os gráficos anteriores (incluindo os da seção 6.1) demonstram a disparidade de volumes de precipitação para diferentes partes da capital, ao passo que as estações automáticas do Metroclima só fornecerão estes dados a partir de 2010.

Nas diversas inspeções de campo efetuadas ao longo da pesquisa, foram feitos registros fotográficos em diferentes seções da drenagem. Também foram feitas medições do nível e da velocidade da corrente do Arroio do Salso na ponte da Avenida da Serraria, para observação e comparação da dinâmica hídrica em períodos de estiagem e de grandes volumes pluviométricos. O mesmo procedimento utilizado para elaborar o perfil do leito do Arroio do Salso (seção 6.8) também foi aproveitado para todas as medições do nível da linha d'água, realizadas em diversas ocasiões. Cada medição de nível foi repetida entre duas e três vezes, obtendo-se no final uma média, sendo que em geral a diferença encontrada entre cada

repetição da leitura não ultrapassou um centímetro. Em duas ocasiões, foi utilizada a medida indireta, obtida pela medição das fotografias da parede sul (montante) da ponte, comparando-se com uma medida real já previamente conhecida. Este procedimento, quando comparado com as medidas obtidas por linha e ponteira, mostrou-se bastante consistente.

O valor de 4,16 metros, correspondente à altura do fundo do talvegue (ponto seis) até a amurada da ponte, foi utilizado como parâmetro para acompanhamento da flutuação do nível do arroio (FIGURA 46). Em algumas ocasiões, também foi efetuada a medição da velocidade da corrente, com o uso de material orgânico flutuante – o resultado é a média de, no mínimo, duas leituras em cada ocasião. Este procedimento foi dificultado – e algumas leituras foram desprezadas – devido ao vento que em algumas ocasiões *encanava* sob a ponte da Avenida da Serraria, contra o sentido da corrente.

FIG. 46 – ESQUEMA DE COLETA DE DADOS NA SEÇÃO TRANSVERSAL



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Uma vez conhecidos os valores de profundidade e distância vertical da lâmina d'água até a amurada da ponte em um determinado dia de estiagem (05/05/2009), os dados foram utilizados como parâmetros para cálculo dos demais elementos, cujos resultados são demonstrados no QUADRO 15.

QUADRO 15 – MEDIÇÕES EFETUADAS NA SEÇÃO TRANSVERSAL

| DATA | PROFUNDIDADE DO TALVEGUE (m) | VELOCIDADE (m/s) | | ÁREA DA SEÇÃO MOLHADA (m ²) (**) | VAZÃO (***) | | PERÍMETRO ÚMIDO (m) (**) |
|------------|---------------------------------|------------------|-----------|---|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| | | SUPERFICIAL | MÉDIA (*) | | BRUTA (m ³ /s) | ESPECÍFICA (l/s/km ²) | |
| 24/7/2008 | 0,70 | x | x | 8,05 | x | x | 23,62 |
| 3/8/2008 | 1,44 | x | x | 22,66 | x | x | 25,10 |
| 4/5/2009 | 0,63 | 0,14 | 0,12 | 6,67 | 0,81 | 8,19 | 19,45 |
| 5/5/2009 | 0,64 | 0,14 | 0,12 | 6,86 | 0,83 | 8,34 | 19,47 |
| 6/5/2009 | 0,68 | x | x | 7,65 | x | x | 23,58 |
| 14/5/2009 | 1,15 | x | x | 16,94 | x | x | 24,52 |
| 12/9/2009 | 2,23 | 1,33 | 1,13 | 38,27 | 43,41 | 436,94 | 26,68 |
| 26/9/2009 | 1,27 | x | x | 19,31 | x | x | 24,76 |
| 27/9/2009 | 2,00 | 1,36 | 1,16 | 33,72 | 39,06 | 393,12 | 26,22 |
| 4/10/2009 | 1,47 | x | x | 23,26 | x | x | 25,16 |
| 18/10/2009 | 1,39 | 0,11 | 0,09 | 21,68 | 1,98 | 19,96 | 25,00 |

(*) A velocidade média foi obtida pela multiplicação da velocidade superficial por 0,85, conforme indicado por Cunha (1996).

(**) A área da seção molhada foi calculada na ponte na av. da Serraria.

(***) A vazão bruta foi obtida pela multiplicação entre a velocidade média e a área da seção molhada. A vazão específica foi calculada dividindo-se a vazão bruta, em litros, pela superfície da bacia, em km², considerando-se que 1 m³ equivale a 1000 litros. Conforme Bruniard (1992), esta medida permite que se estime a riqueza hidrológica da bacia, bem como possibilita uma caracterização mais geográfica da drenagem.

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

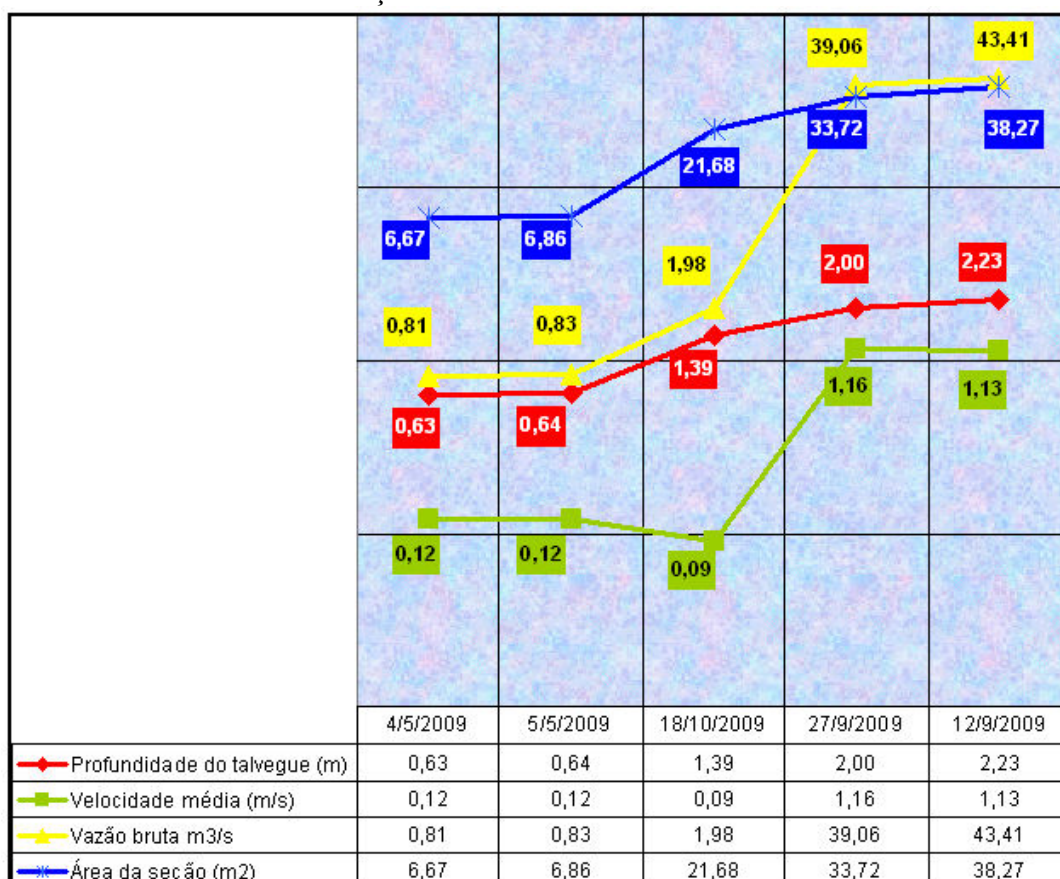
Tucci (2005) e Cunha (1996) defendem que a análise temporal da descarga das seções transversais deve ser feita com dados de vazão e altura do nível da água por longo período de tempo. Na ausência destes dados, há alternativas que permitem a busca da interpretação do comportamento da drenagem frente a precipitações de diferentes intensidades e durações, principalmente com a utilização dos já referidos modelos *chuva-vazão*, mas é preciso considerar que, apesar do aprimoramento das equações nas últimas décadas, os modelos permitem apenas aproximações de uma realidade desconhecida.

Nesta pesquisa, embora os dados hidrológicos sejam subsidiários à análise geográfico-geomorfológica, são importantes para fornecer informações sobre o funcionamento da drenagem em algumas condições, embora não sirvam para determinação de padrões confiáveis, dado o curto espaço temporal de análise. Por outro lado, Bruniard (1992) destaca que o monitoramento fluvial é uma operação custosa, de forma que é possível construir a curva de altura/descarga (*altura/caudal* ou *h/Q*), utilizando-se o nível já coletado em uma determinada ocasião. Salienta, entretanto, que estas medições têm validade temporal limitada, visto que o perfil transversal do canal está sujeito a modificações devido ao aporte

de sedimentos, à erosão e ao aprofundamento da calha. Bruniard (1992) também indica que esta curva pode ser utilizada para determinar o volume das grandes cheias por meio de extrapolação gráfica, mas é necessário considerar que após o transbordamento na planície de inundação o nível da água pouco se eleva, ao passo que a vazão pode sofrer grande incremento.

O GRÁFICO 22 demonstra a evolução das principais variáveis em cinco ocasiões (ordenadas pela profundidade do talvegue), sendo que as três primeiras referem-se a dias de estiagem ou sem chuvas significativas, ao passo que nas demais houve precipitação suficiente para provocar o extravasamento do canal. Destaca-se que no dia 12/09/09, apesar da profundidade ser ligeiramente maior, a velocidade média apresentou um valor um pouco inferior ao medido em 27/09/09, o que pode estar relacionado à influência do vento, ao represamento da ponte ou a outros fatores. Em termos práticos, entretanto, a diferença de valores é pequena demais para ser relevante, pois equivale a décimos de segundo na medição em campo.

GRÁF. 22 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE CINCO EVENTOS



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Observando-se o GRÁFICO 22, pode-se perceber similitude com o afirmado por Bruniard (1992), visto que nos três primeiros eventos a profundidade do talvegue e a vazão apresentam paralelismo gráfico, ao passo que nos dois últimos dias, nos quais houve extravasamento do leito do Arroio do Salso, a descarga teve uma evolução bastante desigual. É importante salientar que a área da seção molhada foi calculada na ponte, mas o efeito dique da ponte faz com que toda a água que extrapola as margens só tenha o arroio como possibilidade de escoamento superficial.

Visando permitir a avaliação da dinâmica do Arroio do Salso em diferentes séries temporais, a FIGURA 47 demonstra as variações do leito em três partes da seção transversal próxima à ponte da avenida Juca Batista. A primeira data corresponde a um período de estiagem e as duas últimas a dias de chuvas intensas e as setas indicam pontos comuns, demonstrando a flutuação do nível do arroio. Semelhantemente, a FIGURA 48 apresenta a cobertura fotográfica para a seção transversal na Avenida da Serraria, acrescida dos valores da profundidade do talvegue nas diferentes datas. Pode ser observado que no dia 04/05/2009 a cidade passava por uma sequência de dias de estiagem, de forma que é possível ver até bancos de sedimentos no canal, a jusante da ponte – o talvegue estava com uma lâmina d'água de apenas 0,63 metro. Já nos dias 12 e 27/09/2009, o Arroio do Salso superou seus limites, transbordando para a planície de inundação – alcançando profundidades de 2,23 e 2,00 m, respectivamente.

Alguns dias após as ocorrências de chuvas intensas, em 04/10/2009, as fotos da FIGURA 48 mostram que não há mais inundação, mas o arroio ainda está pouco abaixo do limite de suas margens plenas, com uma profundidade de 1,47 m no talvegue. É importante salientar que na margem direita, a jusante da ponte (e à direita nas fotos), podem ser vistos depósitos de sedimentos de cor clara, mas não fazem parte do dique marginal original – são resíduos derivados de obras de dragagem, iniciadas em maio de 2009.

FIG. 47 – VARIAÇÕES DO ARROIO DO SALSO - PONTE NA AV. JUCA BATISTA



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

FIG. 48 – VARIAÇÕES DO ARROIO DO SALSO – PONTE NA AV. DA SERRARIA



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Christofolletti (1981) elenca três parâmetros para análise da frequência dos fluxos do canal: a distribuição diária, a frequência das cheias (não necessariamente causadoras de inundação) e a definição dos débitos de margens plenas. Os dois primeiros dependem de observação longa e sistemática, embora estudos feitos nos Estados Unidos apontem para um tempo de recorrência médio de 1,58 anos para uma cheia. O débito de margens plenas (*bankfull discharge*), que Christofolletti (1981) caracteriza como um elemento de grande significação geomorfológica, influenciando a esculturação do canal (visto que a forma e o padrão dos canais se ajustam ao débito, aos sedimentos oriundos da bacia e ao material rochoso das margens) é definido como “o débito que preenche, na medida justa, o canal fluvial, e acima do qual ocorrerá transbordamento para a planície de inundação”. Entretanto, não é algo de fácil determinação, devido à variação das medidas geométricas de cada perfil, embora o autor cite alguns elementos para sua caracterização, como o já citado estágio das cheias de 1,58 anos de intervalo e o limite em que a vegetação brota de maneira contínua e definitiva.

O fato é que cada seção da drenagem pode ter seus próprios valores hidráulicos e geométricos, principalmente quando estão sob influência de um processo de urbanização. No caso da seção transversal da Avenida da Serraria, foram escolhidos dois pontos (com mínima e máxima altura visual) para medição da cota entre o limite do dique marginal e a lâmina d'água, resultando em 0,45 m e 0,55 m, ambos a jusante da ponte. A FIGURA 49 exemplifica o procedimento, demonstrando a diferença de cota entre a altura do dique e a linha d'água, bem como em relação à planície de inundação – à esquerda da fotografia.

FIG. 49 – MEDIÇÃO DO LIMITE DE CAPACIDADE DO CANAL



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (19/10/2009)

Relacionando-se as medidas geométricas de margem e profundidade e considerando-se os pontos medidos do dique marginal visualizado e a altura do talvegue no dia (1,39 m), é possível estimar que uma linha d'água superior a 1,84 m e 1,94 metros de profundidade do talvegue é o suficiente para que se inicie o transbordamento local. Estes valores são referenciais, dadas as irregularidades das margens ao longo do canal, e não devem ser extrapolados sequer para outros pontos da mesma seção, mas permitem que se tenha uma estimativa do estágio de capacidade plena do Arroio do Salso.

7 MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO

A respeito da geomorfologia fluvial e de sua relação com a dinâmica das inundações, Christofolletti (1981) afirma que inicialmente, no decorrer das cheias, a água e os sedimentos extravasam o canal fluvial em grandes quantidades, atravessando sulcos escavados nos diques marginais - principalmente nas margens côncavas, onde estes são mais desenvolvidos. Depois de ultrapassar o estágio de margens plenas do canal, a água escoar para a planície de inundação (faixa do vale fluvial formada por sedimentos aluviais e que bordejia o curso d'água), se espalha e passa a ocorrer “relacionamento diferente entre as variáveis da geometria hidráulica” (CHRISTOFOLETTI, 1981). Ou seja, embora sejam partes de um mesmo sistema, a planície de inundação está sujeita a processos diferentes do canal fluvial e desenvolve formas de relevo distintas.

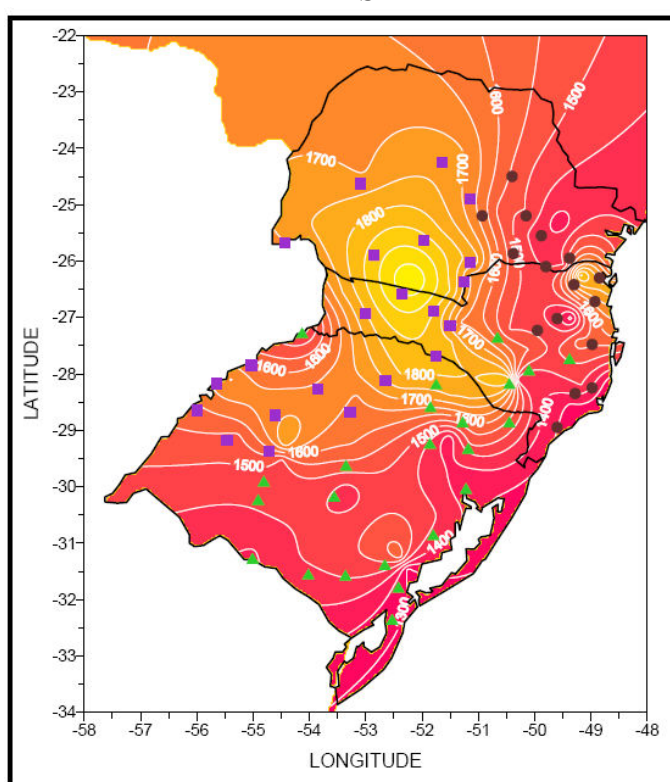
No interior da planície de inundação, podem ser encontradas as bacias de inundação, áreas mal drenadas e “sem movimentação topográfica”, geralmente localizadas próximas às faixas aluviais de canais meândricos, ativos ou não. Como limite físico no processo de inundação, o mesmo autor destaca o terraço fluvial como uma área “a escapo” destes eventos, visto que está topograficamente mais elevado que a planície de inundação. Tendo como ponto de partida as características geomorfológicas, acrescidas de outros elementos pertinentes, o mapeamento buscou identificar as áreas mais suscetíveis à inundação na bacia.

7.1 O CASO DO LAGO GUAÍBA

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso é tributária da bacia do lago Guaíba - a qual se insere na região hidrográfica homônima. Por sua vez, a Região Hidrográfica do Guaíba engloba uma área de aproximadamente 84.763,54 km² (FEPAM, 2009) e, considerando esta grande extensão territorial, pode-se inferir que está sujeita a diferentes dinâmicas de precipitação e escoamento. O resultado de toda esta complexa rede de

drenagem, na região ocupada por Porto Alegre, é o lago Guaíba, uma massa d'água de grande volume e dimensão que recebe a contribuição de outras oito bacias hidrográficas. Além de haver uma diferenciação na distribuição espacial da precipitação no Rio Grande do Sul, ainda que não extrema (FIGURA 50), a dinâmica do clima regional - marcada pela ação de massas de ar vindas de diferentes direções - faz com que o Estado frequentemente apresente variabilidade temporal das chuvas.

FIG. 50 – ISOETAS DOS TOTAIS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

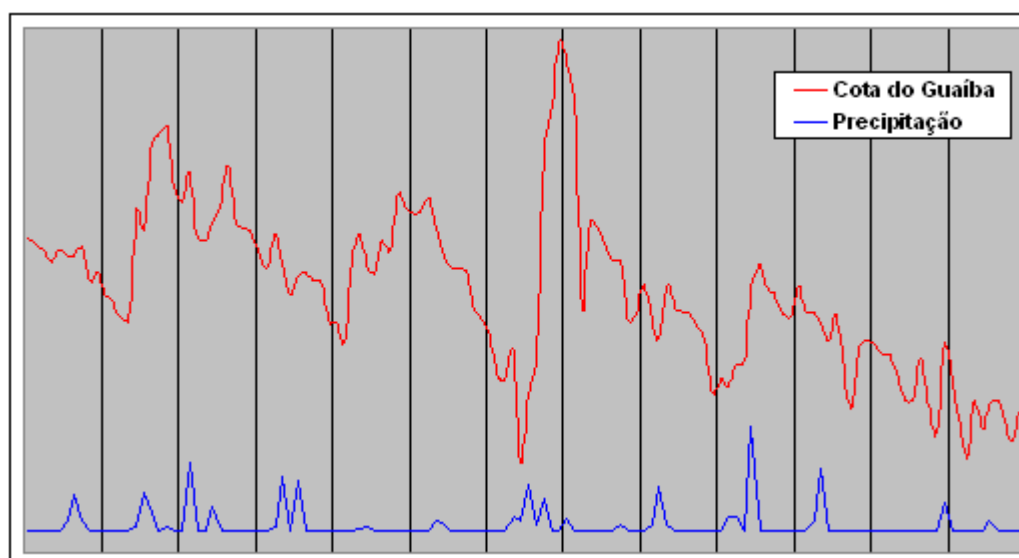


Fonte: Silva (2001)

Conforme a Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH, 2009), o zero da régua do posto da Praça da Harmonia (localizado nas coordenadas $30^{\circ}03' S$ e $51^{\circ}23' O$, no centro de Porto Alegre) está 23,72 centímetros abaixo do nível médio do mar. A SPH tem dados de monitoramento contínuo deste posto disponibilizados desde 1980 e as medições do ano de 2007 foram utilizadas para a elaboração do GRÁFICO 23, relacionando as cotas do lago Guaíba com os índices de precipitação coletados pelo 8.^o Disme no município de Porto Alegre. Cabe ressaltar que foram excluídas todas as datas em que não constava nenhum valor na tabela da SPH ou quando o valor correspondia a zero. Este procedimento foi adotado

porque, conforme informações obtidas de um servidor do órgão, em 26/11/2009, a régua não tem os valores negativos, ou seja, tanto a ausência do dado como uma medição zero podem significar **qualquer valor igual a zero ou inferior**. E, na falta desta certeza, preferiu-se omitir os dados - este fato demonstra uma das muitas precariedades estruturais de nossos órgãos públicos.

GRÁF. 23 – COTAS DO LAGO GUAÍBA E EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO EM PORTO ALEGRE (2007)

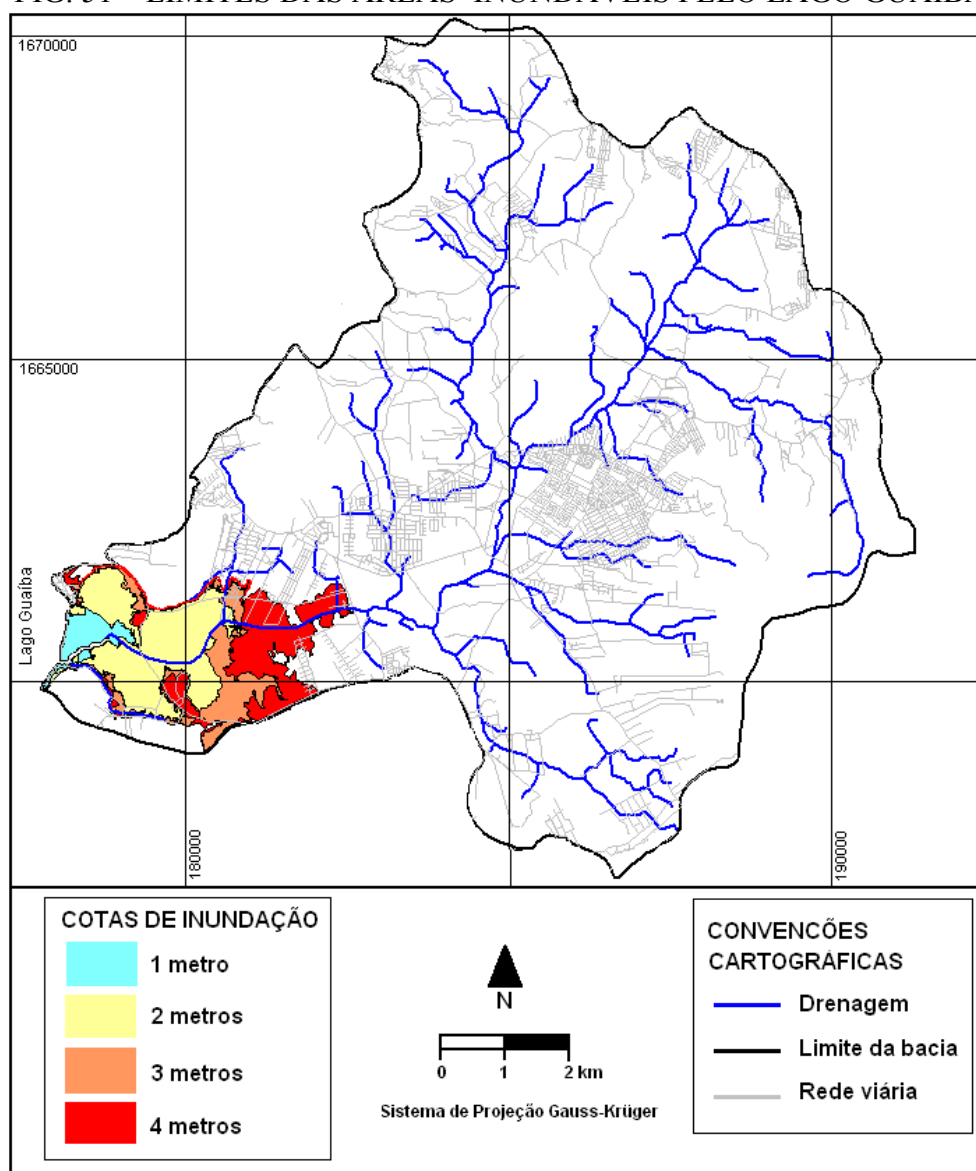


Fonte: 8.^o Dime (2009) e SPH (2009)
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2009)

Observando-se o GRÁFICO 23, não se percebe uma relação inequívoca entre a ocorrência de precipitação em Porto Alegre e a imediata e consequente elevação do nível do lago Guaíba, o que pode ser explicado pelas já citadas variações temporais e espaciais da chuva no Estado, bem como pela diferença dos tempos de concentração das bacias envolvidas. Somando-se as peculiaridades de cada bacia com a variabilidade da precipitação regional, o mapeamento da inundação na bacia do Arroio do Salso, **concomitantemente** com a do lago Guaíba, resultaria em múltiplas e complexas possibilidades, exigindo um trabalho específico, voltado à análise de risco.

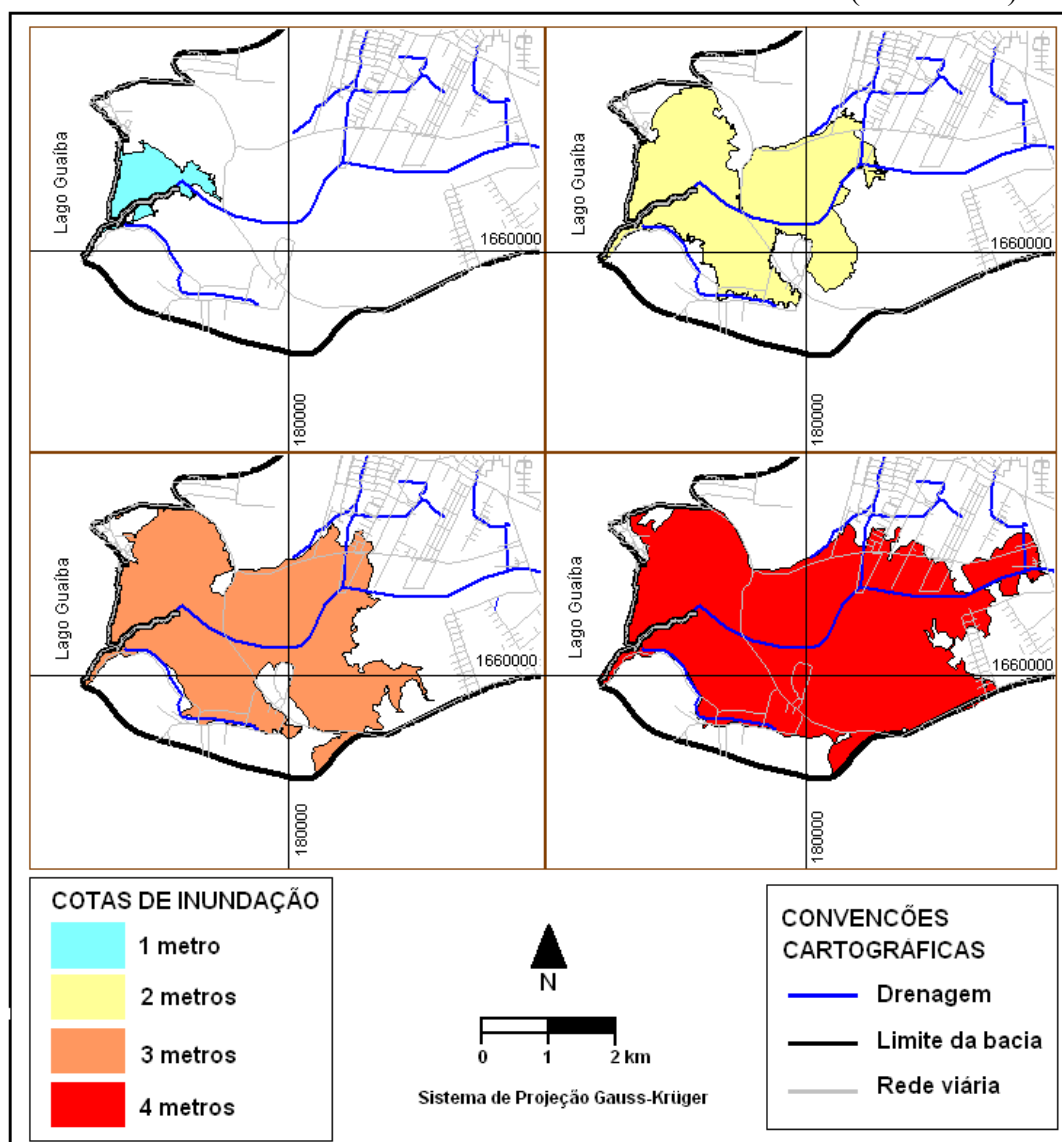
Entretanto, embora os objetivos desta pesquisa não estejam direcionados à identificação do risco e sim da suscetibilidade, é necessário caracterizar a abrangência das inundações causadas pelo lago Guaíba, o que influenciará, posteriormente, a definição das classes de mapeamento. Assim, com base na altimetria, foram calculadas as áreas potencialmente inundáveis para as hipóteses de incremento de 1, 2, 3 e 4 metros no *nível zero* do lago Guaíba. A FIGURA 51 demonstra o mapa da bacia com todas as manchas de inundação sobrepostas (com avanço predominantemente de oeste para leste), ao passo que a FIGURA 52 exhibe cada mancha em detalhe.

FIG. 51 – LIMITES DAS ÁREAS INUNDÁVEIS PELO LAGO GUAÍBA



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2010)

FIG. 52 – ÁREAS INUNDÁVEIS PELO LAGO GUAÍBA (DETALHE)



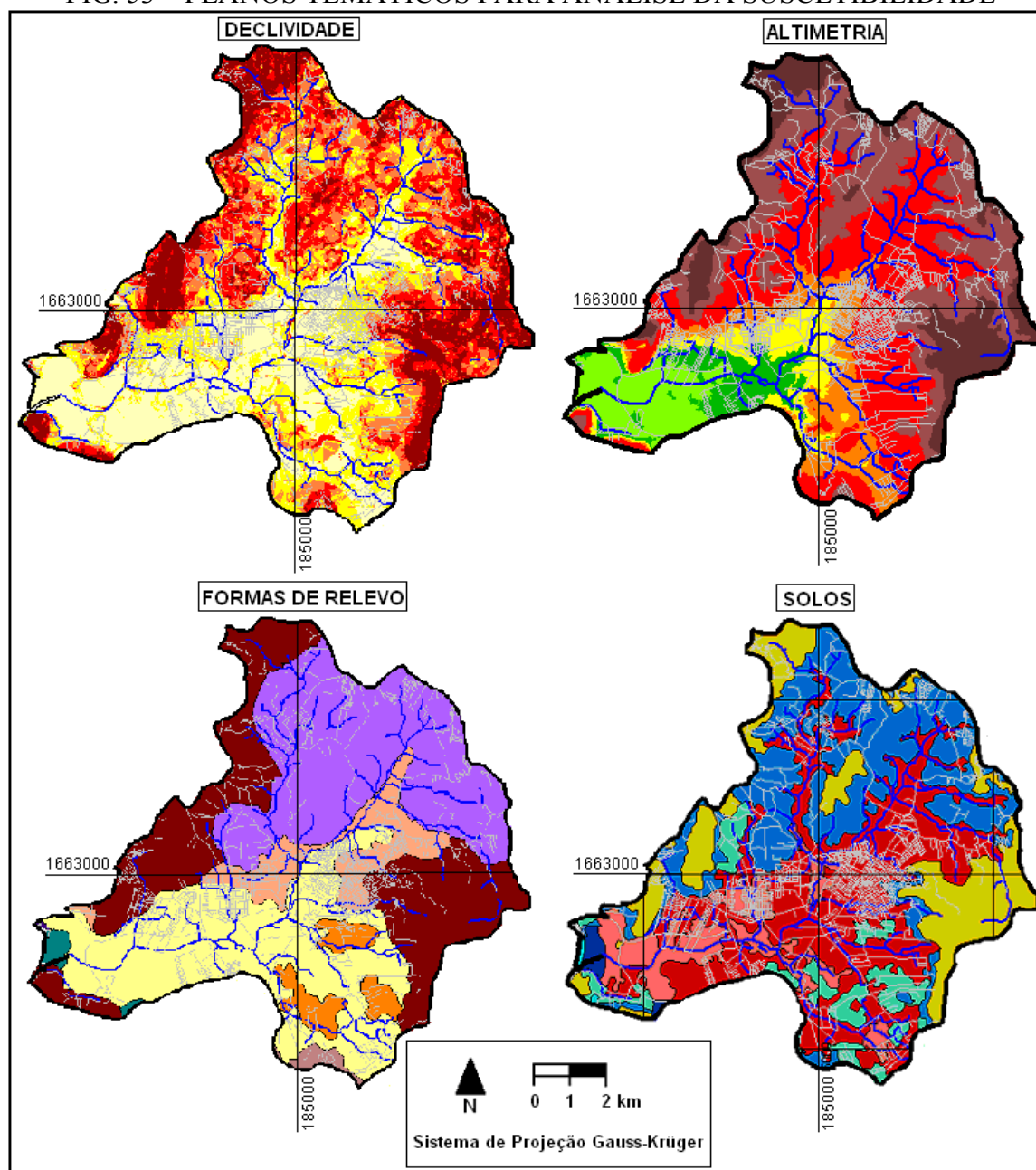
Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2010)

7.2 CORRELAÇÃO DE DADOS E CLASSES DE SUSCETIBILIDADE

Nesta pesquisa, foram utilizados os diversos planos de informação para identificação preliminar das áreas suscetíveis à inundação. Também buscou-se obter algumas informações com moradores e órgãos públicos sobre o alcance das águas na ocorrência de eventos pretéritos, mas com resultado improdutivo para o mapeamento, sem exatidão nem vinculação com as datas do eventos.

A primeira etapa do mapeamento consistiu na análise dos dados para estimativa das potencialidades de cada área. Foram selecionadas as temáticas que a literatura aponta como fatores de suscetibilidade à inundação e que possuem representatividade na área de estudo, ou seja: características geomorfológicas de declividade, altimetria e padrões de formas de relevo e a distribuição dos tipos de solos, conforme FIGURA 53 (representação simplificada).

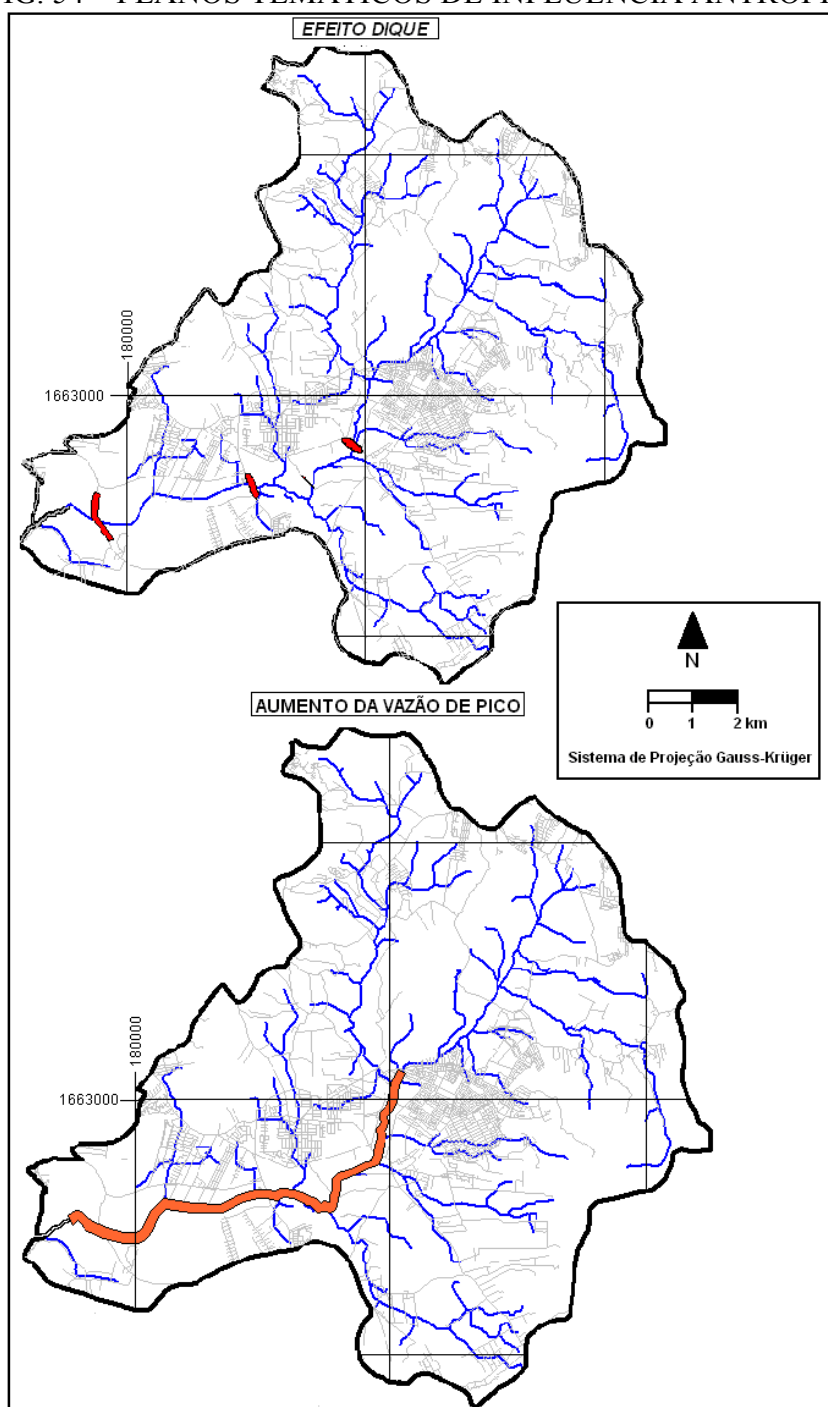
FIG. 53 – PLANOS TEMÁTICOS PARA ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2010)

A seguir, foram analisados os fatores antrópicos que intensificam a suscetibilidade natural à ocorrência de inundação (FIGURA 54), constituindo-se em áreas limitadas, distribuídas em pontos específicos, incluindo a já estudada seção transversal da Av. da Serraria. O QUADRO 16 detalha os elementos utilizados para correlação de dados, incluindo os fatores intensificadores da suscetibilidade.

FIG. 54 – PLANOS TEMÁTICOS DE INFLUÊNCIA ANTRÓPICA



Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2010)

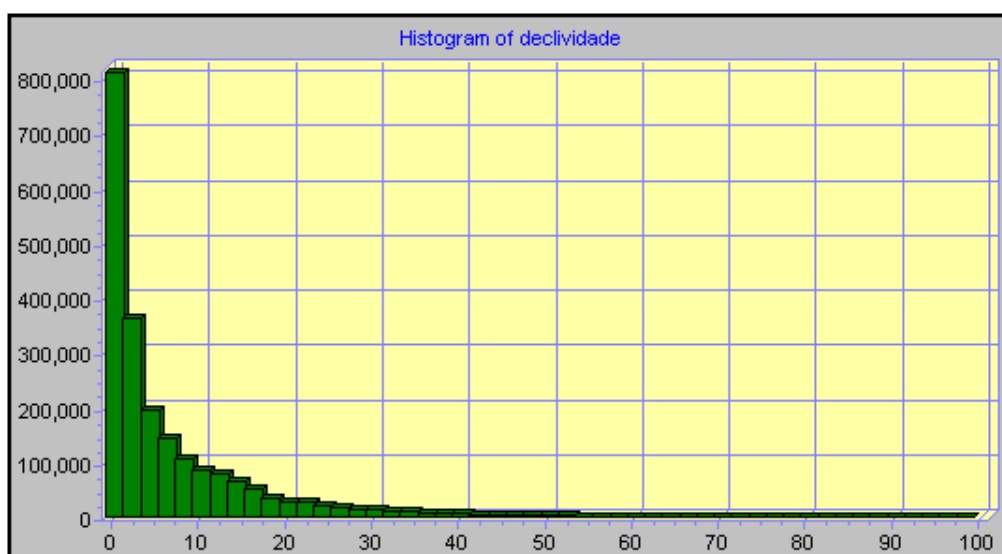
QUADRO 16 – ELEMENTOS PARA IDENTIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E FATORES INTENSIFICADORES

| ELEMENTOS | TEMAS | PARÂMETROS E ELEMENTOS PARA ANÁLISE |
|--|-------------------------------------|---|
| CARACTERIZADORES DA SUSCETIBILIDADE | Geomorfologia | Declividade predominante inferior a 2% |
| | | Cota topográfica de até 20 metros |
| | | Área suscetível à inundação pelas águas do lago Guaíba |
| | | Padrão de relevo em forma de Planície Flúvio-lagunar |
| | | Padrão de relevo em forma de Planície Flúvio-lagunar com Cordões Arenosos |
| | Solos | 1 - Associação de Cambissolos Háplicos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos |
| | | 2 - Grupo indiferenciado de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-amarelos |
| | | 3 - Associação de Argissolos Vermelhos ou Argissolos Vermelho-amarelos com Cambissolos Háplicos |
| | | 4 - Associação de Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos |
| | | 5 - Associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos e Plintossolos Argilúvicos |
| | | 6 - Associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos |
| | | 7 - Associação de Gleissolos Háplicos e Planossolos Hidromórficos |
| | INTENSIFICADORES DA SUSCETIBILIDADE | Alterações antrópicas |
| Áreas próximas a avenidas ou estradas elevadas em relação ao terreno circundante, a montante do cruzamento com a drenagem principal, onde as vias podem atuar como diques, retardando o escoamento da água em períodos de maior descarga | | |

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2010)

Na questão da declividade da bacia, o histograma demonstra uma concentração nítida em baixos valores, como pode-se ver no GRÁFICO 24, de forma que foram utilizados para análise somente os valores correspondentes à primeira das classes propostas por Ranzani (1969), conforme QUADRO 17, equivalentes ao deflúvio muito lento a lento.

GRÁF. 24 – HISTOGRAMA DA DECLIVIDADE



Fonte: gráfico gerado pelo comando *Histo* do *software Idrisi 32*, com a base vetorial da PMPA (2009c)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2010)

Obs.: o *Idrisi 32* não opera com a formatação numérica utilizada no Brasil, de forma que “800,000”, por exemplo, corresponde ao valor de 800.000 (*pixels*).

QUADRO 17 – CLASSES DE DECLIVIDADE PARA ANÁLISE

| CLASSE | GRADIENTE (%) | DETALHAMENTO |
|--------|---------------|---|
| A | Até 3 | Declividade fraca, áreas quase planas, deflúvio muito lento a lento. |
| B | >3 a 8 | Declividade moderada, formas ligeiramente onduladas a onduladas, deflúvio lento a moderado. |
| C | >8 a 16 | Declividade moderada a forte, áreas ligeiramente movimentadas a movimentadas, deflúvio moderado a rápido. |
| D | >16 a 30 | Declividade forte, áreas movimentadas a acidentadas. |
| E | >30 | Declividade muito forte, áreas acidentadas. |

Fonte: Ranzani (1969)

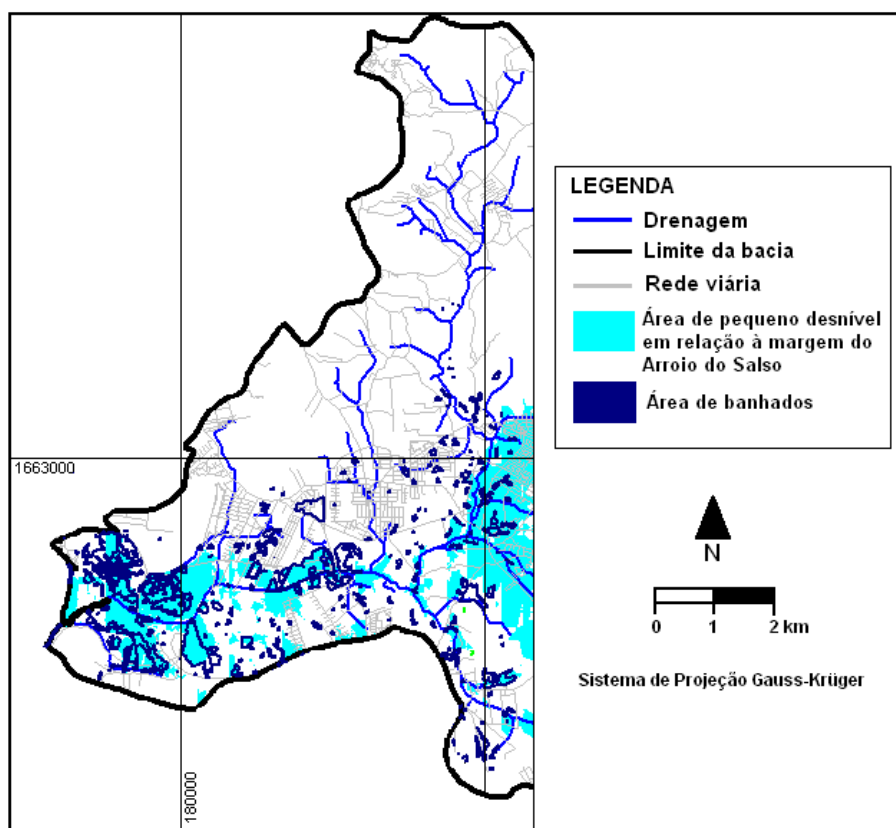
Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2009)

A PMPA (2009c) forneceu os arquivos vetoriais com as curvas de nível, abrangendo a área da bacia com equidistância de 1 m, além de isolinhas mestras a cada 5 metros. Entretanto, os arquivos não continham os atributos de elevação, de modo que foi necessário fornecê-los um a um ao *software* de geoprocessamento e realizar uma seleção das isolinhas. Para as áreas mais planas, foram utilizadas as curvas de nível com equidistância de 1 metro (no intervalo de 1 até 15 metros de altitude), visando obter uma interpolação mais aprimorada - aproximando-se do detalhamento indicado por Tucci (2005), que defende o uso de isolinhas de até 0,5 metros de equidistância no estudo de inundações. Para o restante da bacia, foi suficiente a equidistância de 20 metros.

Visando fornecer mais subsídios para a análise da suscetibilidade, após o correlacionamento dos planos temáticos foi elaborado um modelado mais detalhado do terreno, considerando somente as interseções do Arroio do Salso com as curvas de nível existentes no intervalo de 1 até 19 metros. Para todos os *pixels* de cada faixa foi atribuído o valor altimétrico da margem do Arroio do Salso e, a seguir, foi utilizado o aplicativo *Image Calculator* do *Idrisi 32* para cruzamento das faixas com o arquivo de altimetria, obtendo-se a identificação das áreas cujas cotas estão muito próximas (pouco superiores) ou abaixo da margem do Arroio do Salso. A imprecisão deriva da variabilidade altimétrica no interior de cada faixa, a qual assume o valor da curva de nível mais alta mas, no terreno, decresce de forma gradativa - não uniforme - até o próximo valor.

As manchas identificadas não são, necessariamente, áreas inundáveis, pois outros fatores além da altimetria influenciam a dinâmica da drenagem. Entretanto, de forma genérica e compatível com a escala de análise, as manchas indicam uma potencialidade de que as áreas sejam inundáveis, ou seja, é um dado que isoladamente não proporciona resultados conclusivos, mas contribui para uma análise conjunta com os demais fatores estudados. Não é por acaso que o *layer* de *banhados* cedido pela PMPA (2009c) tem uma forte correlação com estas áreas, conforme pode-se ver na FIGURA 55.

FIG. 55 – ÁREAS COM BAIXO GRADIENTE TOPOGRÁFICO EM RELAÇÃO À DRENAGEM PRINCIPAL



Fonte da base vetorial: PMPA (2009c)

Elaboração: Luís M. Martins de Lima (2010)

No caso específico dos solos, mapeados por Hasenack (2008) na forma de associações, foram atribuídos inicialmente pesos individuais para cada tipo – de 1 para *excessivamente drenado* até 8 para *muito mal drenado* - de acordo com as características detalhadas nos QUADRO 7 e 8. Nos casos em que o tipo de solo se inseria em uma classificação variável (*bem a moderadamente drenado*, por exemplo, no caso dos Argissolos Vermelho-amarelos), foi utilizada a média entre as classes do intervalo. No caso dos Neossolos Flúvicos, que possuem apenas o indicativo de *variável* quanto à capacidade de drenagem e que na área de estudo aparecem associados a solos com grande potencial de acúmulo superficial de água (Planossolos Hidromórficos e Gleissolos Háplicos), foi adotado um valor intermediário extraído das médias dos dois tipos de solos acima citados. Por fim, conforme os valores resultantes, as associações de solos foram ordenadas de acordo com o seu potencial de acumulação superficial de água.

Para delimitação das áreas potencialmente afetadas pelo *efeito dique* causado por algumas vias de circulação de veículos, foi considerada toda a extensão da avenida ou estrada, próxima à drenagem principal, em que a cota da via estava acima do terreno circundante, até o limite máximo de 600 metros de extensão (ou, ocorrendo antes, a interseção com outra via). A área delimitada varia bastante devido, sobretudo, às peculiaridades da topografia em cada interseção do Arroio do Salso com as vias. Para a delimitação das áreas sujeitas a aumento de pico em função da ocupação, foi considerada uma faixa de aproximadamente 200 metros de extensão em cada margem do Arroio do Salso, a jusante do bairro Restinga, envolvendo também parte dos núcleos habitacionais na avenida Juca Batista, na rua Dorival Castilho Machado e no Túnel Verde.

Por fim, os planos de informações (incluindo as áreas sujeitas aos efeitos do transbordamento do lago Guaíba) foram correlacionados por meio do processo *Image Calculator* do *software Idrisi 32* e, com base no resultado, foram estabelecidas as classes de suscetibilidade à inundação, demonstradas no QUADRO 18.

QUADRO 18 – CLASSES DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

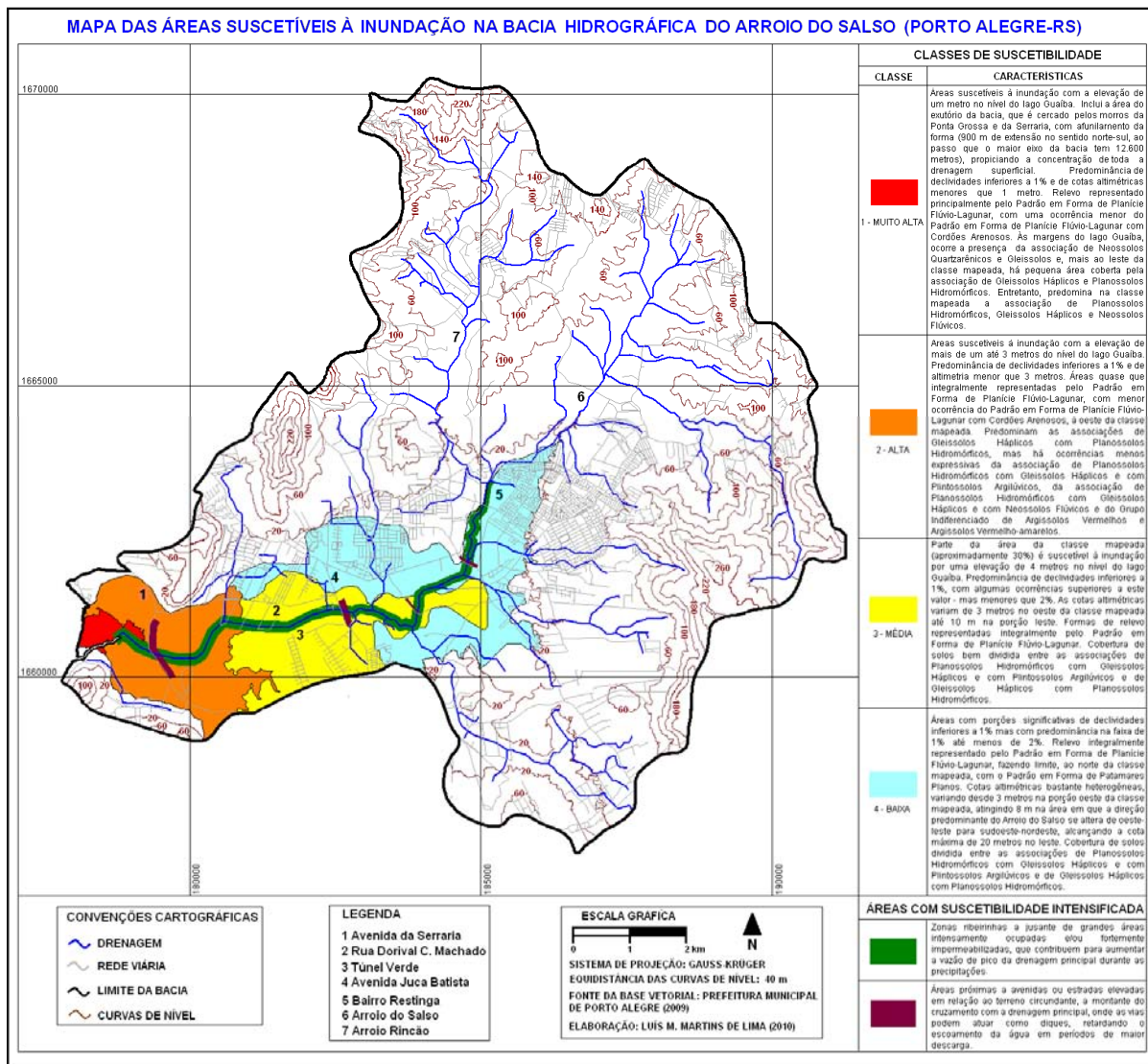
| CLASSE | CARACTERÍSTICAS |
|----------------|--|
| 1 - MUITO ALTA | Áreas suscetíveis à inundação com a elevação de um metro no nível do lago Guaíba. Inclui a área do exutório da bacia, que é cercado pelos morros da Ponta Grossa e da Serraria, com afinilamento da forma (900 m de extensão no sentido norte-sul, ao passo que o maior eixo da bacia tem 12.600 metros), propiciando a concentração de toda a drenagem superficial. Predominância de declividades inferiores a 1% e de cotas altimétricas menores que 1 metro. Relevo representado principalmente pelo Padrão em Forma de Planície Fl vio-Lagunar, com uma ocorrência menor do Padrão em Forma de Planície Fl vio-Lagunar com Cordões Arenosos.  s margens do lago Guaíba, ocorre a presenç a da associação de Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos e, mais ao leste da classe mapeada, há pequena área coberta pela associação de Gleissolos Háplicos e Planossolos Hidromórficos. Entretanto, predomina na classe mapeada a associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos. |
| 2 - ALTA |  reas suscetíveis à inundação com a elevação de mais de um até 3 metros do nível do lago Guaíba. Predominância de declividades inferiores a 1% e de altimetria menor que 3 metros.  reas quase que integralmente representadas pelo Padrão em Forma de Planície Fl vio-Lagunar, com menor ocorrência do Padrão em Forma de Planície Fl vio-Lagunar com Cordões Arenosos,   oeste da classe mapeada. Predominam as associações de Gleissolos Háplicos com Planossolos Hidromórficos, mas há ocorrências menos expressivas da associação de Planossolos Hidromórficos com Gleissolos Háplicos e com Plintossolos Argilúvicos, da associação de Planossolos Hidromórficos com Gleissolos Háplicos e com Neossolos Flúvicos e do Grupo Indiferenciado de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-amarelos. |
| 3 - MÉDIA | Parte da área da classe mapeada (aproximadamente 30%)   suscetível à inundação por uma elevação de 4 metros no nível do lago Guaíba. Predominância de declividades inferiores a 1%, com algumas ocorrências superiores a este valor - mas menores que 2%. As cotas altimétricas variam de 3 metros no oeste da classe mapeada até 10 m na porção leste. Formas de relevo representadas integralmente pelo Padrão em Forma de Planície Fl vio-Lagunar. Cobertura de solos bem dividida entre as associações de Planossolos Hidromórficos com Gleissolos Háplicos e com Plintossolos Argilúvicos e de Gleissolos Háplicos com Planossolos Hidromórficos. |
| 4 - BAIXA |  reas com porções significativas de declividades inferiores a 1% mas com predominância na faixa de 1% até menos de 2%. Relevo integralmente representado pelo Padrão em Forma de Planície Fl vio-Lagunar, fazendo limite, ao norte da classe mapeada, com o Padrão em Forma de Patamares Planos. Cotas altimétricas bastante heterogêneas, variando desde 3 metros na porção oeste da classe mapeada, atingindo 8 m na área em que a direção predominante do Arroio do Salso se altera de oeste-leste para sudoeste-nordeste, alcanç o a cota máxima de 20 metros no leste. Cobertura de solos dividida entre as associações de Planossolos Hidromórficos com Gleissolos Háplicos e com Plintossolos Argilúvicos e de Gleissolos Háplicos com Planossolos Hidromórficos. |

Elabora o: Luís M. Martins de Lima (2009)

7.3 MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

Com base na correlação dos planos de informações, no mapeamento prévio das áreas potencialmente inundáveis pelo lago Guaíba, e nas observações feitas durante a pesquisa, foi elaborado o mapa de suscetibilidade à inundação na bacia do Arroio do Salso, demonstrado na FIGURA 56.

FIG. 56 – MAPA DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NA BACIA DO ARROIO DO SALSO



As áreas suscetíveis mapeadas podem estar sujeitas a uma ou mais causas de acúmulo da água superficial, a saber: inundação provocada pelo lago Guaíba (no extremo oeste da bacia), retenção do escoamento pelo *efeito dique* das vias elevadas, extravasamento da drenagem principal e acúmulo local da água da chuva (*alagamento*) em virtude da baixa declividade do terreno associada a solos com reduzida capacidade de drenagem. Ou seja, a mancha de áreas suscetíveis corresponde a uma representação gráfica compatível com a escala de análise, mas não significa que todas as áreas têm o mesmo potencial de serem inundadas. Embora não se esteja estudando a questão do risco, é importante acrescentar que cada porção das áreas suscetíveis pode responder de formas diferentes conforme a chuva precipitada (volume e distribuição temporal), a distância em relação à drenagem principal e a variação do nível do lago - pois a bacia do Arroio do Salso, na condição de tributária, sofre influência do Guaíba no seu escoamento. Além disto, áreas urbanizadas podem responder de forma diferente daquelas não ocupadas, de acordo com a eficiência dos sistemas artificiais de drenagem implantados.

As áreas com maior suscetibilidade à inundação concentram-se nas porções mais planas da bacia (principalmente onde predominam declividades inferiores a 1%) e correspondem ao domínio geológico sedimentar, para a qual converge a drenagem orientada pelos morros e colinas do entorno, afunilando-se para oeste, até o Arroio do Salso desaguar no lago Guaíba. Quanto às características geomorfológicas, as áreas suscetíveis englobam o Padrão em Forma de Planície Flúvio-lagunar e o Padrão em Forma de Planície Flúvio-lagunar com Cordões Arenosos – este último com pequena representação na bacia.

A ação humana na drenagem pode ser identificada no mapa sobretudo nas áreas onde há pontes e avenidas ou estradas elevadas, o que contribui significativamente para o represamento do escoamento, sobretudo em dias de intensa precipitação. Além disto, as áreas a jusante do bairro Restinga, o qual possui grande concentração populacional e extensa impermeabilização do solo, estão predispostas a ter um aumento na vazão de pico, o que se agrava com o assoreamento do Arroio do Salso, que pode ser percebido claramente em pelo menos dois pontos – próximos às avenidas da Serraria e Juca Batista. Quanto aos solos, as áreas de inundação abrangem sobretudo as associações que envolvem Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos, Plintossolos Argilúvicos e Neossolos Flúvicos, em geral de baixa capacidade de drenagem.

Quanto às consequências das inundações para a população, há diferentes situações na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, começando pelo bairro Restinga, que ocupa áreas com declividade predominantemente inferiores a 2%. Embora apenas uma parte do bairro se desenvolva às margens do Arroio do Salso (FIGURA 57), a concentração habitacional é bastante elevada e, apesar de não terem sido encontrados registros oficiais de ocorrência de inundações na área, cabe lembrar que a ocupação intensiva nesta área começou a ocorrer somente a partir da década de 1970 – uma faixa de tempo muito estreita para a temática das inundações urbanas.

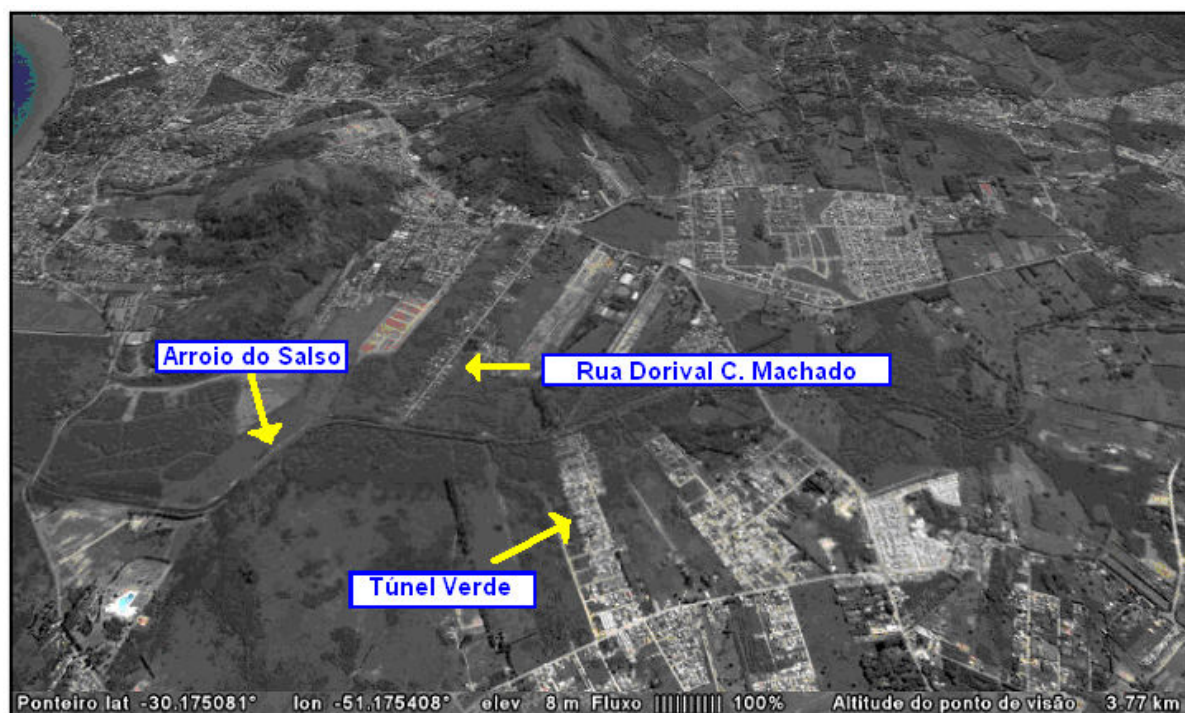
FIG. 57 – VISTA DO BAIRRO RESTINGA E DE SEU ENTORNO



Fonte: Google Maps (2009)
Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2010)

A segunda questão quanto à ocupação envolve as áreas ocupadas na rua Dorival Castilho Machado (bairro Hípica, margem direita do Arroio do Salso) e no Túnel Verde (Ponta Grossa, margem esquerda). A FIGURA 58 demonstra estas duas ocupações (importantes, embora de menor porte que a Restinga), abrangendo uma grande área de baixas declividades às margens do Arroio do Salso. Ambas se desenvolvem em áreas impróprias à ocupação, pois englobam, em parte, áreas da planície de inundação, onde são frequentes as ocorrências de extravasamento do arroio.

FIG. 58 – OCUPAÇÕES NA RUA DORIVAL CASTILHO MACHADO E NO TÚNEL VERDE



Fonte: Google Maps (2009)
Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2010)

Na rua Dorival Castilho Machado, a convivência com o transbordamento do Arroio do Salso (FIGURA 59) é tão *comum* que algumas das casas são construídas acima da linha do solo, sobre patamares, adaptadas para não serem afetadas por pequenas lâminas d'água (FIGURAS 60 e 61). Um proprietário de residência, entrevistado em 2009, declarou que o local é “ótimo para se morar [...] com exceção do problema das enchentes”.

FIG. 59 – INUNDAÇÃO NA RUA DORIVAL CASTILHO MACHADO



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

FIG. 60 – RESIDÊNCIA PRÓXIMA AO ARROIO DO SALSO



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

FIG. 61 – RESIDÊNCIA NA RUA DORIVAL CASTILHO MACHADO



Autor: Luís M. Martins de Lima (2009)

A porção oeste da bacia também engloba áreas de baixas declividade e altimetria, além de estar sujeita à elevação do nível do lago Guaíba, conforme já visto anteriormente. Entretanto, são áreas com baixa ocupação, exceto no Morro da Serraria que, em parte, se insere na área da bacia (FIGURA 62).

FIG. 62 – VISTA DA PORÇÃO FINAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO



Fonte: Google Maps (2009)

Adaptação: Luís M. Martins de Lima (2010)

Concluindo este capítulo, o que se observa em relação à suscetibilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso é que as áreas com maior potencial englobam um conjunto de fatores, tais como baixas declividades, solos com reduzida capacidade de drenagem, padrões de relevo em forma de planície e a ação humana, que interfere na dinâmica da drenagem criando áreas de afunilamento do escoamento e contribuindo para o assoreamento dos canais e o aumento da vazão de pico. Somando-se às características das chuvas de Porto Alegre, frequentemente compostas de vários dias consecutivos de precipitação, temos um cenário favorável à ocorrência de inundações, que proporcionam principalmente prejuízos materiais às populações mais pobres. Felizmente, não foram encontrados registros de perdas humanas, embora não se descarte a existência de casos não computados, decorrentes de doenças contraídas pelo contato com a água contaminada do Arroio do Salso.

8 CONCLUSÕES

Esta pesquisa abordou em escala local a problemática das inundações urbanas, fenômeno que ocorre em diversas regiões do país e que traz, frequentemente, severas consequências para as populações afetadas. Comumente, a gravidade dos danos (sejam pessoais ou somente materiais) tem uma relação direta com o grau de vulnerabilidade da população – e esta vulnerabilidade deriva de diversos fatores, principalmente das condições econômicas das populações expostas.

A Geografia é uma ciência abrangente, que permite a análise de múltiplos aspectos da realidade sem limitar-se à *natureza*. O ser humano é e deve ser o seu maior foco, o que justifica que nesta pesquisa o homem tenha sido abordado na sua dualidade, eis que é tanto potencializador das inundações como vítima das mesmas. Afinal, o êxodo rural e o empobrecimento de grandes contingentes da população brasileira há décadas vêm empurrando os indivíduos mais despossuídos para as periferias das grandes e médias cidades e para áreas de risco, como é o caso dos leitos de rios e suas planícies de inundação. Em uma perspectiva integradora que engloba natureza, humanidade e processos, este trabalho buscou compreender a dinâmica das inundações e mapear as áreas suscetíveis na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, com ênfase nas características geomorfológicas locais.

A bacia do Arroio do Salso apresenta características geológicas, pedológicas e geomorfológicas que, associadas à ocorrência de precipitações intensas e, também, à ação humana no meio natural, resultam em uma suscetibilidade bastante relevante para a ocorrência destes fenômenos. Embora o substrato geológico de Porto Alegre seja predominantemente granítico, os últimos milênios de história trouxeram para a região um grande acúmulo de sedimentos, e o Arroio do Salso tem a maior parte do seu curso sobre áreas sedimentares. Com a retirada da vegetação devido à ocupação, o solo exposto tende a contribuir para que uma grande carga de partículas cause mais assoreamento do leito do Arroio do Salso, diminuindo sua profundidade e aumentando a possibilidade de transbordamento do canal.

As características geomorfológicas da bacia contribuem para a suscetibilidade à inundação primeiramente pelo seu formato, com áreas maiores a montante, capazes de coletar grande volumes de precipitação, e que se afunilam em direção à foz. Além disto, o canal principal da rede de drenagem escoia predominantemente em áreas planas, em parte cercado por morros e colinas com declividades bem mais significativas, o que pode significar menos capacidade de amortecimento local e maior aporte de água, em menos tempo, para as áreas de topografia mais baixa. Somando-se, ainda, baixas declividades com solos de baixo potencial de drenagem, configuram-se áreas muito suscetíveis à acumulação hídrica.

Embora tenha sido possível presenciar a dinâmica do Arroio do Salso em diferentes ocasiões, inclusive sob ocorrência de inundações, é inegável que houve limites, impostos por questões de tempo, recursos materiais e, sobretudo, as limitações relacionadas à escassa disponibilidade de dados. Para que se possa alcançar um grau maior de refinamento no mapeamento é necessária a coleta de dados sistemáticos por períodos representativos, sobretudo no que se refere à vazão, à altura da lâmina d'água e aos levantamentos batimétricos periódicos, para observação da evolução do leito do canal antes, durante e após eventos de chuvas intensas.

Novos estudos serão importantes e bem-vindos, para esta área tão importante de Porto Alegre, onde ainda há muito o que se preservar. É fato que a temática das inundações urbanas é uma questão complexa, que envolve múltiplos fatores, partindo da suscetibilidade natural e agregando componentes relacionados à atividade humana na ocupação do espaço. Mas se as causas são complexas, mais ainda podem ser as soluções, quando as bacias já apresentam alta densidade de ocupação em áreas suscetíveis a desastres. A melhor atitude ainda é a antecipação, o planejamento da ocupação, de forma que não se impeça a urbanização, necessariamente, mas sim que se estabeleçam regras técnicas, construindo um zoneamento compatível com o ambiente local e adequado às condições socioeconômicas da população.

Quando se planeja devidamente a ocupação, é possível estabelecer não apenas limites territoriais para a habitação humana, mas também implementar medidas que ajudam a prevenir os picos de vazão, tais como a utilização de pavimentos permeáveis e o armazenamento temporário da água da chuva em bacias ou reservatórios de retenção. Por

outro lado, quando ocorre ocupação desordenada o poder público acaba por ter de investir em medidas estruturais de maior porte, como canalização e construção de diques, já que só excepcionalmente as populações locais são removidas. Além de serem obras de alto custo, frequentemente estas medidas resolvem apenas o problema local.

O fato é que compensa investir para preservar não apenas a segurança da população mais vulnerável, mas também o meio ambiente, que é patrimônio da coletividade. E se a defesa do *equilíbrio* da relação entre homem e natureza é competência sobretudo do Poder Público, isto não exime a sociedade do dever de zelar pelo seu envoltório natural e, mais especificamente, pelo seu ambiente urbano. Isto não significa empurrar os *pobres* para as periferias, como frequentemente acontece em uma Porto Alegre em contínuo crescimento e cujo incremento populacional não significa, necessariamente, desenvolvimento econômico para todos e que frequentemente se manifesta na exclusão social. Esta pesquisa finda com um pequeno relato de Herrmann (2008), encontrado praticamente por acaso mas que expressa muito do que se passa na capital do Rio Grande do Sul e que, espera-se, não se torne a realidade da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso:

Ando pelas ruas de Porto Alegre há muito tempo. Minhas andanças sempre me revelaram surpresas que me convidaram a caminhar mais e mais [...] Mas com o tempo, senti uma mudança esquisita. Meu passo foi ficando pesado, caminhar por Porto Alegre começou a ficar cansativo. Foi então que entendi: os horizontes de minha cidade estavam sendo cortados. A percepção das distâncias tinha ficado difícil, pois a cidade se verticalizava. Vistas antes partilhadas por todos, haviam se tornado privilégio de alguns. Me senti esbulhado. Estavam tomando meus horizontes! [...] Algumas coisas eram justificáveis. Mas nunca vi justificativa na voracidade construtiva que envolveu Porto Alegre. Que justificativa poderia haver nesses prédios impressionantes erguidos da noite para o dia, mas que dilaceram a paisagem? Qual o conceito por trás do fato de que esses prédios em breve terão a seu lado outros, igualmente impressionantes, mas que não combinarão, nem entre si e muito menos com essa mesma paisagem? Onde está o conceito por trás dessas áreas densamente ocupadas por edifícios que não se coadunam, não dialogam e que literalmente sufocam a paisagem?

Onde? ...

9 REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, Enner Herenio; AMORIM, Alexsandro de Jesus. Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo de caso. *In: Caminhos da Geografia – Revista On line*, fev de 2005, p. 70-77. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/volume14/artigo7_vol14.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2009.
- ARAÚJO, Paulo R.; TUCCI, Carlos E.M.; GOLDENFUN, Joel A. Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *In: TUCCI, Carlos E.M.; MARQUES, D.M.L.M. (Orgs). Avaliação e controle da drenagem urbana*. Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 2000, 558 p.
- BITOUN, Jan. Os embates entre as questões ambientais e sociais no urbano. *In: CARLOS, Ana Fani Alessandri; LEMOS, Amália Inês Geraiges. Dilemas Urbanos: novas abordagens sobre a cidade*. São Paulo: Ed. Contexto, 2003, p. 299-307.
- BOTELHO, Rosângela Garrido Machado; SILVA, Antonio Soares. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. *In: VITTE, Antonio Carlos; GUERRA, Antonio José Teixeira. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand, 2004, p.153-192.
- BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. *In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado (Orgs). Erosão e Conservação de Solos: Conceitos, Temas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2005, p. 269-300.
- BRANDÃO, Ana Maria de Paiva Macedo. Clima Urbano e Enchentes na Cidade do Rio de Janeiro. *In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista. (Orgs). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2005, 3^a ed., p. 47-109.
- BRIGUENTI, Ederson Costa. **O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da bacia do ribeirão Anhumas, Campinas/SP**. 2005. 129 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Campinas/Unicamp, Campinas.
- BRITTO, Fabiane Pereira. **Distribuição Espaço-temporal da Precipitação Pluvial no Estado do Rio Grande do Sul**. 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis.

BRUNIARD, E.D. 1992. Hidrografia: procesos y tipos de escurrimiento superficial. San Isidro, Argentina. CEYNE, 13 p. capítulo I. **Introducción al estudio geográfico de los sistemas fluviales.**

CHRISTOFOLETTI, Antonio. As Teorias Geomorfológicas. *In: Geomorfologia.* São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1974, 149 p.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia Fluvial.** V. 1: o canal fluvial. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1981.

COELHO, Maria Célia Nunes. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas – Teorias, Conceitos e Métodos de Pesquisa. *In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista (Orgs). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil.* Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2005, 3ª ed., p. 19-45.

COLLISCHONN, Walter; JUNQUEIRA, Isabel Cristina. **Morfometria comparativa de três arroios afluentes ao lago Guaíba no município de Porto Alegre/RS/Brasil, com uso da tecnologia do Sistema de Informações Geográficas (SIG).** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS), 2007. Disponível em: <http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/HIDP_23/trabalhos_2007-2/Trabalho%20Isabel.pdf>. Acesso em 23 de nov de 2009.

CONCREMAT – Engenharia e Tecnologia S/A (Exec.). Cenário tendencial: confronto entre as disponibilidades e demandas hídricas e proposta de segmentação para enquadramento. *In: Estudos Preliminares para Subsídios ao Plano de Bacia do Lago Guaíba – Relatório Temático A3.* Contratantes: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e Departamento de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2002a.

CONCREMAT – Engenharia e Tecnologia S/A (Exec.). Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica. *In: Estudos Preliminares para Subsídios ao Plano de Bacia do Lago Guaíba - Relatório Temático A1.* Contratantes: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e Departamento de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002b.

CRISTO, Sandro Sidnei Vargas. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis-SC.** 2002. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PGCN0201.pdf>>. Acesso em 24 de jul de 2008.

CUNHA, Sandra Baptista. Geomorfologia Fluvial. *In*: CUNHA, Sandra Baptista; GUERRA, Antonio José Teixeira (Orgs). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996, 345 p.

CUNHA, Sandra Baptista. Geomorfologia Fluvial. *In*: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2003, 5ª ed., p. 211-252.

DAGNINO, Ricardo; CARPI, Salvador. Risco Ambiental: conceitos e aplicações. *In*: **Climep – Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, v. 2, n. 2, jul/dez de 2007.

DEP – Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Histórico das Cheias**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=11>. Acesso em 19 de jan de 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. [2009]. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/sibcs/>>. Acesso em 19 de jan de 2009.

FEE – Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. **Resumo estatístico de Porto Alegre**. 2009. Disponível em: <<http://www.fee.rs.gov.br>>. Acesso em 09 de fev de 2009.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Região Hidrográfica do Guaíba**. [2009]. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>>. Acesso em 25 de nov de 2009.

FUJIMOTO, Nina S. V. Moura. A urbanização brasileira e a qualidade ambiental. *In*: SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes (Org). **Ambiente e lugar no urbano: a grande Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 2000, 1ª ed., p. 47-63.

FUJIMOTO, Nina S. V. Moura. Implicações Ambientais na Área Metropolitana de Porto Alegre-RS: um estudo geográfico com ênfase na Geomorfologia Urbana. *In*: **Revista GEOUSP**, São Paulo, 2001, n. 12. Disponível em <<http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geousp/>>. Acesso em 20 de abr de 2006.

FUJIMOTO, Nina S. V. Moura. **Alterações ambientais urbanas na área da bacia hidrográfica da barragem Mãe D'água: evolução da ocupação e do uso da terra.** Porto Alegre: AGB, Boletim Gaúcho de Geografia, jun de 2002, n. 28, p. 67-83.

FUJIMOTO, Nina S. V. Moura (Coord.); DIAS, Tielle Soares. **Compartimentos de Relevo do Município de Porto Alegre, Capital do Estado do Rio Grande do Sul - Brasil.** Porto Alegre: Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <<http://egal2009.easyplanners.info/>>.

GOOGLE MAPS. [2009]. Imagens de satélite disponibilizadas livremente na *Internet*. Disponível em: <<http://maps.google.com/>>.

GUERRA, Antonio José Teixeira. O Início do Processo Erosivo. *In*: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. (Orgs). **Erosão e Conservação de Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2005, p. 17-50.

HASENACK, Heinrich (Org). **Diagnóstico Ambiental do Município de Porto Alegre – Relatório 6.** Porto Alegre: Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Faurgs), 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/atlasdigital/>>. Acesso em 20 de abr de 2006.

HASENACK, Heinrich (Coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/Ocupação e Paisagem.** Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008, 84 p.

HERRMANN, Jorge. **Horizontes.** Porto Alegre: Jornal Varanda Cultural, ago de 2008, 9.^a ed., ano II.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2000.** Disponível em *Compact Disk*, acessado por meio do *software* Estatcart - Sistema de Recuperação de Informações Georreferenciadas, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia.** Rio de Janeiro: série Manuais Técnicos em Geociências, 2007, 2^a ed., v. 4, 316 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries Históricas.** [2009]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/series_estatisticas/>. Acesso em 11 de nov de 2009.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Balço Hídrico Climático**. [2009].

Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/html/agro.php?lnk=H%EDdrico%20Clim%E1tico>>. Acesso em 04 de set de 2009.

KOHLER, Heinz Charles. A Escala na Análise Geomorfológica. *In: Revista Brasileira de Geomorfologia*, Rio de Janeiro, 2002, v.3, n. 1, p. 21-31.

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. Vulnerabilidades e riscos: entre Geografia e Demografia. *In: Revista Brasileira de Estudos Populacionais*, Abep, São Paulo, jan/jun de 2005, v. 22, n.1, p. 29-53. Disponível em: <http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/rev_inf/vol22_n1_2005/vol22_n1_2005_4artigo_p29a54.pdf>. Acesso em 23 de nov de 2009.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. Obras de Macrodrenagem. *In: TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. (Orgs). Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos e Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995, p. 167-240.

MASI, Domenico. **A Sociedade Pós-Industrial**. São Paulo: Ed. Senac, 1999, 443 p.

MEDEIROS, Rosa Maria Vieira. A Relevância dos Aspectos Sociais nos Estudos de Impacto Ambiental. *In: VERDUM, Roberto; MEDEIROS, Rosa Maria Vieira (Orgs). Rima: Relatório de Impacto Ambiental*. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006, 5ª ed., 146 p.

MENDONÇA, Francisco. Diagnóstico e análise ambiental de microbacia hidrográfica - proposição metodológica na perspectiva do zoneamento, planejamento e gestão ambiental. *In: O Espaço Geográfico em Análise*. Curitiba: Revista R'aega, Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná, 1999, n. 3, ano III, p. 67-89.

MENEGAT, Rualdo; PORTO, Maria Luiza; CARRARO, Clóvis Carvalho, FERNANDES, Luís Alberto D'Ávila (Orgs). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998a, 228 p.

MENEGAT, Rualdo; HASENACK, Heinrich; CARRARO, Clóvis Carvalho. As formas da superfície: síntese do Rio Grande do Sul. *In: Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 1998b, 2ª ed., p.24-34.

METROCLIMA – Sistema de Vigilância Meteorológica de Porto Alegre. Projeto conjunto entre a Prefeitura Municipal de Porto Alegre e a Metsul Meteorologia. [2009]. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/>>. Acesso em 23 de nov de 2009.

METROPLAN – Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (sem org). **Os Rios na cidade: as enchentes na evolução urbana da região metropolitana de Porto Alegre**. Porto Alegre: 2001, 95 p.

MONTEIRO, Charles. **Porto Alegre: Urbanização e Modernidade – A Construção Social do Espaço Urbano**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1995, 152 p.

NERY, Jonas Teixeira; VARGAS, Walter Mario; MARTINS, Maria de Lourdes Orsini Fernandes. Variabilidade Interanual da Precipitação no Rio Grande do Sul. *In: Revista Brasileira de Meteorologia*, Maringá/PR, 1997, v. 12, n. 1, p. 49-62.

NETTO, Ana Luíza Coelho. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. *In: CUNHA, Sandra Baptista; GUERRA, Antonio José (Orgs). Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996, p. 103-138.

OBSERVAPOA – Observatório da Cidade de Porto Alegre. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. [2009]. Disponível em: < <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/observatorio>>. Acesso em 21 de jan de 2009.

OITAVO DISTRITO DE METEOROLOGIA (8.^o Disme). Instituto Nacional de Meteorologia. [2009]. Dados meteorológicos disponibilizados nos *websites* <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/default.php?p_secao=16> e <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima/pesquisaWeb?uf=RS>>. Acesso em 23 de nov de 2009.

OLIVEIRA, Marcelo A.T.; HERRMANN, Maria L. P. Ocupação do Solo e Riscos Ambientais na Área Conurbada de Florianópolis. *In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista. (Orgs). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2005, 3^a ed., p. 147-188.

PHILIPP, Ruy Paulo; CAMPOS, Roberto Sacks. Geologia, Petrografia e Litogeoquímica dos Gnaisse Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações Geotectônicas. *In: Revista Pesquisas em Geociências*, Instituto de Geociências da UFRGS, Porto Alegre, 2004, n. 31(2), p. 79-94.

PHILIPP, Ruy Paulo; VARGAS, Jacira Anton; BENEDETTI, Verônica Di. A memória geológica do centro antigo de Porto Alegre: o registro da evolução urbana nos prédios históricos e no urbanismo da cidade. *In: Revista Pesquisas em Geociências*, Instituto de Geociências da UFRGS, Porto Alegre, jan-jun de 2009, n. 36(1), p. 59-77.

PINHEIRO, Adilson. Enchente e Inundação. *In: SANTOS, Rozely Ferreira (Org). Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, 192 p.

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental – Estratégia de Qualificação Ambiental**. Porto Alegre: 1999. Disponível em: <http://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/spm/mapa_8.htm>. Acesso em 03 de maio de 2008.

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Programa Integrado Socioambiental/PISA**. I - Melhoria da Qualidade das Águas – Sistemas de Esgotamento Sanitário. Tomo IA: Sistema Ponta da Cadeia. Volume 6 – Estudos Complementares: Geotecnia e Macrodrenagem da Área da ETE. Porto Alegre: 2000.

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **História dos Bairros de Porto Alegre**. 2007. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?reg=95&p_secao=43>. Acesso em 15 de jul de 2009.

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Agência POA Multimídia**. Porto Alegre: 2009a. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cs>>. Acesso em 09 de fev de 2009.

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **A Cidade**. Porto Alegre: 2009b. Disponível em: <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/turismo>>. Acesso em 23 de nov de 2009.

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Arquivos vetoriais e *raster* em formato *dwg* e *shapefile*, respectivamente. Porto Alegre: [2009c].

PORTO, Maria Luiza. As formações vegetais: evolução e dinâmica da conquista. *In: MENEGAT, Rualdo; PORTO, Maria Luiza; CARRARO, Clóvis Carvalho; FERNANDES, Luís Alberto D'Ávila (Orgs). Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 1998, 228 p.

PORTO, Rubem La Laina. Escoamento Superficial Direto. *In*: TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. (Orgs). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos e Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 1995, p.107-165.

RANZANI, Guido. **Manual de Levantamento de Solos**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1969, 2^a ed., 167 p.

RIBEIRO, Wagner Costa. Entre Prometeu e Pandora – Sociedade e Natureza no início do século XXI. *In*: CARLOS; Ana Fani Alessandri; LEMOS, Amália Inês Geraiges. **Dilemas Urbanos: novas abordagens sobre a cidade**. São Paulo: Ed. Contexto, 2003, p. 323-334.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. *In*: **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo/USP, São Paulo, 1992, n. 6, p. 17-29.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *In*: **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo/USP, 1994, n.8, p. 63-74.

SANTOS, Cláudia Regina. **A interface das políticas públicas com o processo de ocupação humana na área de preservação permanente: vegetação fixadora de dunas na Ilha de Santa Catarina, SC**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis.

SANTOS, Rozely Ferreira; CALDEYRO, Verônica Sabatino. Paisagens, Condicionantes e Mudanças. *In*: SANTOS, Rozely Ferreira (Org). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, 192 p.

SCS – Soil Conservation Service. Estimation of direct runoff from storm rainfall. **National Engineering Handbook**. Section 4 – Hydrology. Chapter 10. Hydraulic Engineer, 1964, 30 p.

SILVA, Ana Paula Moni. **Elaboração de manchas de inundação para o município de Itajubá, utilizando SIG**. 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá.

SILVA, Iuri Rojahn. **Variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região sul do Brasil associadas às temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacífico**. 2001. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Meteorologia, São José dos Campos/SP.

SILVEIRA, Renata Dias. **Relação entre tipos de tempo, eventos de precipitação extrema e inundações no espaço urbano de São Sepé-RS**. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

SNDC – Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Política Nacional de Defesa Civil**. Brasília: 2007, 87 p. Disponível em: <<http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes/publicacoes/pndc.asp>>. Acesso em 14 de abr de 2009.

SOARES, Paulo Roberto Rodrigues. Geografia e Natureza na Cidade: uma Visão do Habitat II. *In: Boletim Gaúcho de Geografia*, Associação dos Geógrafos Brasileiros - Seção Porto Alegre, 1998, n. 24, p. 43-52.

SOUZA, Célia Ferraz; MULLER, Dóris Maria. **Porto Alegre e sua evolução urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

SPH – Superintendência de Portos e Hidrovias. **Níveis dos Rios**. 2009. Disponível em: <http://www.sph.rs.gov.br/sph_2006/content/hidrovias/hidroviarias_downloads.php>. Acesso em 26 de nov de 2009.

SPÓSITO, Maria Encarnação Beltrão. Os embates entre as questões ambientais e sociais no urbano. *In: CARLOS; Ana Fani Alessandri; LEMOS, Amália Inês Geraiges. Dilemas Urbanos: novas abordagens sobre a cidade*. São Paulo: Ed. Contexto, 2003, p. 295-298.

STRAHLER; Arthur N.; STRAHLER, Alan H. **Geografía Física**. Barcelona: Ediciones Omega, tercera edición, 1989, 550 p.

STRINGUINI, Millos Augusto. Importância da atuação dos profissionais, a metodologia desenvolvida nas áreas específicas e a articulação final do RIMA. *In: VERDUM, Roberto; MEDEIROS, Rosa Maria Vieira (Orgs). Rima: Relatório de Impacto Ambiental*. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006, 5ª ed., p. 64-69.

SUCUPIRA, P.A.P.; PINHEIRO, L.de S.; ROSA, M. de F. Caracterização morfométrica do médio e baixo curso do rio Acaraú – Ceará - Brasil. *In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology*, Goiânia, 6 a 10 de set de 2006. Disponível em: <<http://www.uece.br/lgco/publicacoes/059.pdf>>. Acesso em 12 de nov de 2009.

TUCCI, Carlos E.M. Inundações urbanas. *In*: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos e Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 1995, p. 15-36.

TUCCI, Carlos E.M; VILLANUEVA, Adolfo; CRUZ, Marcus A.S. Banco de Eventos de Cheias de Bacias Urbanas Brasileiras. *In*: TUCCI, Carlos E.M.; MARQUES, D.M.L.M. (Orgs). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 2000, 558 p.

TUCCI, Carlos E. M. Inundações e Drenagem Urbana. *In*: TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos (Orgs). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Volume 4: Saneamento para Todos. Brasília: Ministério das Cidades e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2005, 194 p.

TUCCI, Carlos E. M. (Coord.) *et al.* **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005, v. 6.

VEDOVELLO, Ricardo (Coord.). **Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião**. São Paulo: Instituto Geológico/Secretaria do Meio Ambiente, 1996, 77 p.

VEDOVELLO, Ricardo; MACEDO, Eduardo Soares. Deslizamentos de Encostas. *In*: SANTOS, Rozely Ferreira (Org). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, 192 p.

VERDUM, Roberto. Os geógrafos frente às dinâmicas sócio-ambientais no Brasil. *In*: **Revista do Departamento de Geografia**, 2005, n. 16, p. 91-94. Disponível em: <<http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/>>. Acesso em 05 de maio de 2006.

VIEIRA, Viviane Torres; CUNHA, Sandra Baptista. Mudanças na Rede de Drenagem Urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). *In*: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista. (Orgs). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2005, 3^a ed., p.11-145.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1975, 245 p.

YÁZIGI, Eduardo. Patrimônio Ambiental Urbano: refazendo um conceito para o planejamento urbano. *In*: CARLOS, Ana Fani Alessandri; LEMOS, Amália Inês Geraiges. **Dilemas Urbanos: novas abordagens sobre a cidade**. São Paulo: Ed. Contexto, 2003, p. 253-265.

ZAHED FILHO, Kamel; MARCELLINI, Silvana Susko. Precipitações Máximas. *In*: TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. (Orgs). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos e Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 1995, p. 37-76.

ZANELLA, Maria Elisa. **Inundações urbanas em Curitiba/PR: impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no bairro Cajuru**. 2006. Tese de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/3488/1/teseelisa1.pdf>>. Acesso em 14 de abr de 2009.

ZANIRATO, Silvia Helena; RAMIRES, Jane Z.S.; AMICCI, Anie Gracie Noda; RIBEIRO, Zulima Márita; RIBEIRO, Wagner Costa. Sentidos do risco: interpretações teóricas. *In*: **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciências Sociales**, Universidade de Barcelona, maio de 2008, n. 785.

ZUFFO, Antonio Carlos. Enchente e Inundação. *In*: SANTOS, Rozely Ferreira (Org). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, 192 p.