

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA**

**O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO POR MEIO DE  
GEOPROCESSAMENTO COMO INSTRUMENTO DE AUXÍLIO AO  
PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM CIDADES  
COSTEIRAS: ESTUDO DE CASO PARA PELOTAS (RS)**

SINVAL CANTARELLI XAVIER

Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Cezar Augusto Burkert Bastos, Dr.

Rio Grande, janeiro de 2010.

**O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO POR MEIO DE  
GEOPROCESSAMENTO COMO INSTRUMENTO DE AUXÍLIO AO  
PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM CIDADES  
COSTEIRAS: ESTUDO DE CASO PARA PELOTAS (RS)**

**SINVAL CANTARELLI XAVIER**

Aos meus amados filhos Luciana e Lucas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente a meu orientador Cezar Bastos, pela oportunidade, apoio e dedicação.

Aos meus familiares, amigos e colegas, que apoiaram e incentivaram o desenvolvimento desse trabalho.

À Secretaria Municipal de Urbanismo da Prefeitura de Pelotas, por fornecer os dados necessários à realização do presente trabalho.

Ao secretário de urbanismo Luciano Oleiro, pelo apoio e cooperação.

Ao professor Carlos Tagliani, pela atenção despendida e por disponibilizar importantes informações a cerca do município de Pelotas.

Aos arquitetos Raul Marques, José Cristiano Nova Cruz e Mateus Coswig, pela confiança, incentivo, e enriquecedora convivência em nossas viagens a FURG.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da FURG, pela possibilidade de aperfeiçoamento profissional e crescimento pessoal.

À secretária do Curso de Mestrado em Engenharia Oceânica Nilza Loureiro Rodrigues, pela presteza sempre demonstrada.



## RESUMO

As cidades costeiras brasileiras cresceram de forma rápida e não planejada nos últimos 70 anos, causando o desequilíbrio dos sistemas ambientais, impondo riscos às populações, e um pesado ônus ao poder público. Neste contexto, o planejamento urbano subsidiado em um diagnóstico que identifique e defina o melhor uso possível dos recursos do meio planejado desempenha um papel fundamental no estabelecimento e implementação das políticas urbanas. Entre os instrumentos técnicos aplicáveis ao planejamento territorial urbano, o mapeamento geotécnico é de grande importância na aquisição e representação de aspectos do meio físico, possibilitando a interpretação e avaliação de suas potencialidades e fragilidades. Esta dissertação apresenta uma metodologia que integra a avaliação do crescimento urbano com o mapeamento dos aspectos geotécnicos do meio físico, como forma de subsidiar o planejamento do uso e ocupação do solo nos processos de expansão das cidades costeiras. A área escolhida para o estudo de caso é município de Pelotas (RS), arrolado no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro como um dos municípios estuarino-lagunares da Zona Costeira. A metodologia utiliza recursos de geoprocessamento, em especial um Sistema de Informações Geográficas (SIG), no processamento e integração de dados sobre o meio físico, assim como na geração de informações derivadas e nos processos de análises. As principais etapas da metodologia são: (i) avaliação do crescimento urbano e mapeamento das áreas de expansão (vazios urbanos); (ii) estruturação do SIG e de um banco de dados de sondagens SPT (*Standart Penetration Test*) (iii) geração do mapa de unidades geotécnicas com base na proposta metodológica apresentada por Davison Dias (1995); (iv) análise das características físicas, geotécnicas e do regime urbanístico aplicável aos vazios urbanos. Como resultado do estudo de caso, foi produzido o mapa geotécnico da área urbana de Pelotas, identificados, mapeados e descritos 26 vazios urbanos, e caracterizadas as unidades geotécnicas neles presentes. O trabalho objetiva tornar-se uma ferramenta de apoio a pesquisadores e planejadores focados na disciplina do crescimento das cidades costeiras.

Palavras-chave: Mapeamento Geotécnico. Geoprocessamento. Sistema de Informações Geográficas. Crescimento Urbano. Cidades Costeiras.

## ABSTRACT

Coastal cities in Brazil have grown quickly and in a disordered way over the last 70 years, causing an imbalance of environmental systems thus creating risks for populations and putting an onus on public authorities. Urban planning in this context is based on a diagnostic that identifies and defines the best possible uses for environmental sources, which has a fundamental role in the establishment and implementation of urban legislation. An important technical tool in urban territorial planning is geotechnical mapping. This is used to acquire and represent aspects of the physical environment and can help interpretation and evaluation of their potentials and fragilities. This dissertation presents a methodology that integrates evaluation of urban growth with geotechnical mapping of aspects of the physical environment, in order to base the urban planning of land use and occupation in the process of urban growth of coastal cities. The case study is the city of Pelotas (RS), which is part of the National Plan of Coast Management as one of the cities placed in the estuary-lagoon Coast Zone. The methodology applies geographic information system tools (GIS) in the processing and integration of data related to the physical environment, as well as in the creation of derived data and in the process of analysis. The main stages of this methodology are: (i) evaluation of urban growth and mapping of expansion areas (urban voids); (ii) definition of SIG and data base of drilling SPT (Standard Penetration Test); (iii) creation of a map of geotechnical unities based on the methodological proposal presented by Davison Dias (1995); (iv) analysis of physical and geotechnical characteristics, and of urban planning applied to the urban voids. As a result of this case study, a geotechnical map of the urban area of Pelotas was produced, 26 urban voids were identified, mapped and described, and the geotechnical unities of them were characterized. In this way, this study aims to become a fundamental tool to support research in the area of urban growth in coastal cities.

Key-words: Geotechnical Mapping. Geographic Information System. Urban Growth, Coastal Cities.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1 GENERALIDADES.....	25
1.2 OBJETIVO GERAL.....	29
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	29
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	30
1.5 ÁREA GEOGRÁFICA DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....	31
<b>CAPÍTULO 2 - ASPECTOS GERAIS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO .....</b>	<b>36</b>
2.1 GENERALIDADES.....	36
2.2 CRESCIMENTO URBANO .....	37
2.2.1 <i>Dados Espaciais para Análise do Crescimento Urbano</i> .....	38
2.3 PADRÕES ESPACIAIS DO CRESCIMENTO URBANO.....	41
<b>CAPÍTULO 3 - MAPEAMENTO GEOTÉCNICO .....</b>	<b>43</b>
3.1 GENERALIDADES.....	43
3.2 METODOLOGIAS DE ELABORAÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS .....	46
3.2.1 <i>Metodologias Tradicionais</i> .....	46
3.2.2 <i>Metodologias Utilizadas no Brasil</i> .....	48
3.3 DADOS GEOTÉCNICOS.....	52
<b>CAPÍTULO 4 - GEOPROCESSAMENTO .....</b>	<b>55</b>
4.1 GENERALIDADES.....	55
4.2 TIPOS DE DADOS EM GEOPROCESSAMENTO .....	56
4.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	58
4.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS .....	61
4.5 MODELO NUMÉRICO DE TERRENO (MNT) .....	63
4.5.1 <i>Amostragem</i> .....	64
4.5.2 <i>Modelagem</i> .....	64
4.5.3 <i>Análises sobre Modelos Numéricos de Terreno</i> .....	65

<b>CAPÍTULO 5 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>66</b>
5.1 GENERALIDADES .....	66
5.2 BIODIVERSIDADE .....	68
5.3 CLIMA.....	70
5.4 HIDROGRAFIA .....	71
5.5 DRENAGEM URBANA.....	73
5.6 GEOMORFOLOGIA E RELEVO .....	77
5.7 GEOLOGIA .....	79
5.8 SOLOS .....	82
5.9 ASPÉCTOS LEGAIS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO DE PELOTAS.....	91
<b>CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA APLICADA .....</b>	<b>96</b>
6.1 DESCRIÇÃO GERAL DA METODOLOGIA .....	96
6.2 INVENTÁRIO DE DADOS.....	99
6.2.1 <i>Dados Vetoriais</i> .....	99
6.2.2 <i>Dados Matriciais</i> .....	100
6.2.3 <i>Dados em formato PDF (Portable Document Format)</i> .....	101
6.3 ESTRUTURAÇÃO DO SIG .....	102
6.4 ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE SONDAJENS SPT .....	117
6.5 DETERMINAÇÃO DOS VETORES E ÁREAS DE CRESCIMENTO URBANO.....	119
6.5.1 <i>Considerações Gerais</i> .....	119
6.5.2 <i>Crescimento histórico-espacial de Pelotas</i> .....	121
6.5.3 <i>Identificação dos Vazios Urbanos</i> .....	125
6.5.4 <i>Análise e Mapeamento dos Condicionantes Físicos e Legais</i> .....	129
6.5.5 <i>Análise e Cruzamento de Dados</i> .....	131
6.5.6 <i>Exclusão de áreas</i> .....	132
6.5.7 <i>Simplificação dos dados</i> .....	133
6.6 GERAÇÃO DE DADOS DERIVADOS .....	135
6.6.1 <i>MNT</i> .....	135
6.6.2 <i>Mapa de Relevo</i> .....	138
6.6.3 <i>Mapa de Declividades e Isodeclividade</i> .....	140
6.6.4 <i>Mapa de Zonas Alagadiças</i> .....	142
6.7 EDIÇÃO E FORMATAÇÃO DE DADOS .....	147
6.7.1 <i>Vetorização</i> .....	148
6.7.2 <i>Georreferenciamento</i> .....	148

6.7.3 Retificação e refinamento de limites.....	149
6.7.4 Generalizações Taxonômicas .....	152
6.7.5 Redefinição de Limites.....	153
<b>6.8 CRIAÇÃO DO MAPA DE ESTIMATIVAS DE UNIDADES GEOTÉCNICAS.....</b>	<b>154</b>
6.8.1 Geologia Urbana de Pelotas .....	155
6.8.2 Pedologia da Área Urbana de Pelotas.....	158
6.8.3 Cruzamento dos Mapas .....	169
<b>CAPÍTULO 7 - CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE GEOTÉCNICA DAS ÁREAS DE</b>	
<b>EXPANSÃO URBANA.....</b>	<b>172</b>
7.1 INTRODUÇÃO.....	172
7.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS .....	175
7.2.1 Levantamentos de Campo.....	175
7.2.2 Dados sistematizados no SIG .....	175
7.3 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS .....	179
7.3.1 Introdução .....	179
7.3.2 Unidade PLpl2.....	179
7.3.3 Unidade PLpl3.....	181
7.3.4 Unidade PVpl3 .....	182
7.3.5 Unidade HGpl4.....	182
7.3.6 Unidade (HG+PL)pl4.....	184
7.3.7 Unidade HPpl4.....	185
7.3.8 Unidade HGal4.....	186
7.3.9 Unidade (HG+PL)pe4.....	187
7.3.10 Unidade HPpe4 .....	187
7.3.11 Demais unidades geotécnicas presentes nos vazios urbanos .....	188
7.4. CARACTERIZAÇÃO DOS VAZIOS URBANOS .....	190
7.4.1 Introdução .....	190
7.4.2 Vazio 1 .....	190
7.4.3 Vazio 2 .....	193
7.4.4 Vazio 3 .....	196
7.4.5 Vazio 4 .....	197
7.4.6 Vazio 5 .....	199
7.4.7 - Vazio 6.....	201
7.4.8 - Vazio 7.....	203
7.4.9 Vazio 8.....	204

7.4.10 Vazio 9 .....	206
7.4.11 Vazio 10 .....	208
7.4.12 Vazio 11 .....	210
7.4.13 Vazio 12 .....	213
7.4.14 Vazio 13 .....	214
7.4.15 Vazio 14 .....	216
7.4.16 Vazio 15 .....	217
7.4.17 Vazio 16 .....	219
7.4.18 Vazio 17 .....	220
7.4.19 Vazio 18 .....	222
7.4.20 Vazio 19 .....	224
7.4.21 Vazio 20 .....	226
7.4.22 Vazio 21 .....	229
7.4.23 Vazio 22 .....	231
7.4.24 Vazio 23 .....	232
7.4.25 Vazio 24 .....	234
7.4.26 Vazio 25 .....	236
7.4.27 Vazio 26 .....	237
<b>CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES .....</b>	<b>240</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>248</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

AAD	Área Ambientalmente Degradada
AEIAN	Área Especial de Interesse do Ambiente Natural
AEIAC	Área Especial de Interesse do Ambiente Cultural
AEIS	Área Especial de Interesse Social
ANELL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AOI	Area of Interest
APP	Área de Preservação Permanente
ARDA	Agricultural Rehabilitation and Development Act
ASI	Agenzia Spaziale Italiana
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Computer Aided Design
CAEX	Serviço de Cartografia do Exército Brasileiro
CBERS	China-Brazil Earth-Resources Satellite
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
CRIM	Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
CTPD	Comissão Técnica do Plano Diretor
DGN	Diretoria de Geociências
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EIV	Estudo de Impacto de Vizinhança
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERSI	Environmental Systems Research Institute
FAO	Food and Agriculture Organization
FEIC	Foco Especial de Interesse Cultural
GASP	Geotechnical Area Studies Programme
HRG	High-Resolution Geométric

IAEG	International Association of Engineering Geology
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	International Cartographic Association
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT/SP	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
IRTP	International Reference Test Procedure
ISSMFE	International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering
LAMGEO	Laboratório de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas
MNT	Modelo Numérico de Terreno
MUB	Mapa Urbano Básico
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
PDF	Portable Document Format
PMPel	Prefeitura Municipal de Pelotas
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PUCE	Pattern, Unit, Component, Evaluation
RGB	Red, Green, Blue
SANEP	Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas
SECRIM	Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SisBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SPT	Standart Penetration Test
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangular Irregular Network
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo



UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNESCO	United National Educational Scientific and Cultural Organization
USP	Universidade de São Paulo

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – MNT - diferenças entres os modelos de grade regular e irregular.....	65
Tabela 5.1 - Evolução populacional (IBGE, 2006). .....	66
Tabela 5.2 - Indicadores populacionais (IBGE,2006). .....	66
Tabela 5.3- Unidades de solos conforme Cunha e Silveira (1996). .....	84
Tabela 6.1 – <i>Layers</i> que compõem o SIG. ....	111
Tabela 6.2 - Amostra de pontos altimétrico utilizada na geração do MNT da zona urbana de pelotas (área territorial em km <sup>2</sup> ). .....	136
Tabela 6.3 - Classes geológicas/geomorfológicas presentes no mapa editado a partir de Marth et. al (2008). .....	155
Tabela 6.4 – Unidades de solos mapeadas na zona urbana do município de Pelotas, para fins geotécnicos .....	159
Tabela 6.5 – Classes de Solos com algumas de suas principais características. ....	168
Tabela 6.6 – Unidades geotécnicas estimadas.....	171
Tabela 7.1 – Unidades geotécnicas presentes nos vazios urbanos, áreas em hectare.....	174
Tabela 7.2 – <i>Layers</i> (temas) do SIG utilizados nas análises geotécnicas. ....	176
Tabela 7.3 – Características geotécnicas de outras unidades geotécnicas presentes nos vazios. ....	189

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da área de estudo – Pelotas/RS.....	32
Figura 2.1 – Mapas cadastrais de Pelotas dos anos de 1835 e 1882.....	40
Figura 3.1 – Simbologia para identificação das unidades geotécnicas (Davison Dias, 1995). Fonte: Valente (1999).....	50
Figura 3.2 – Esquema de execução do ensaio SPT. Fonte: Pinto (2000).....	54
Figura 4.1 - Estrutura esquemática de um SIG. Adaptado de Câmara (2005). ....	60
Figura 5.1 - Município de Pelotas e seus distritos (mapa elaborado pelo autor).....	67
Figura 5.2 - Banhado natural (primeiro plano) e zona urbana (ao fundo), inseridos na planície costeira. Fonte: Schlee e Cimara, 2004.....	68
Figura 5.3 - Zona rural na área do Escudo (primeiro plano) e vista da planície onde se localiza a zona urbana (ao fundo). Fonte: Schlee e Cimara, 2004.....	69
Figura 5.4 - Mata de restinga e banhado. Fonte: Schlee e Cimara, 2004.....	69
Figura 5.5: Divisão das bacias hidrográficas brasileiras e sub-bacias do sul. Fonte: Rodrigues Filho,1998. ....	71
Figura 5.6 - Bacias hidrográficas de Pelotas. Fonte: PMPel, 2009 (reformatado pelo autor). ....	72
Figura 5.7 - Bacias hidrográficas urbanas de Pelotas.....	73
Figura 5.8 - Mapa de relevo da zona urbana de pelotas e entorno. ....	74
Figura 5.9 – Sistema de Drenagem e Proteção contra as Enchentes de Pelotas. Fonte: Rotary, 2001 ..	75
Figura 5.10 - Manchete sobre inundações como fenômeno recorrente em Pelotas . Fonte: Diário Popular, 2004. ....	76
Figura 5.11 – Zonas de relevo no município de Pelotas/RS conforme Sombroeck (1969) apud Cunha e Silveira (1996).....	78
Figura 5.12 - Mapa Geológico-Geomorfológico de Pelotas – Fonte: Marth et al, 2008 (reformatado pelo autor) .....	82
Figura 5.13 - Mapa de Solos de Pelotas, elaborado pelo autor conforme Cunha e Silveira (1996). ....	83

Figura 5.14 – a) Mapas da zona urbana do município de Pelotas, conforme Cunha e Silveira (1996): a) Pedológico (acima); b) Geomorfológico (abaixo).....	85
Figura 5.15 – Sistemas Territórios conforme o 3º Plano Diretor de Pelotas.....	92
Figura 5.16 – Áreas Especiais de Interesses definidas no 3º Plano Diretor de Pelotas.....	94
Figura 5.17 – Altura máxima das edificações conforme o 3º Plano Diretor de Pelotas.....	95
Figura 6.1 – Etapas de desenvolvimento da metodologia apresentada. ....	98
Figura 6.2 – Esquema das abstrações transpostas entre a realidade física e sua representação através de um SIG. Fonte: Demarqui (2009).....	102
Figura 6.3 – Paradigma dos quatro universos. Adaptado de Câmara (1995). ....	103
Figura 6.4 - Elementos da realidade, representados sob a forma de <i>layers</i> , para estudos geotécnicos. ....	104
Figura 6.5 – Modelo Orientado-a-Objeto básico para dados geográficos. Fonte: Câmara (2005).....	107
Figura 6.6 - Representações vetoriais em um SIG. ....	108
Figura 6.7 - Tipos de estruturas matriciais. ....	110
Figura 6.8 - Exemplo de abstração e representação da realidade através do agrupamento (ou sobreposição) de camadas ( <i>layers</i> ) para o uso em rede de distribuição d'água. Fonte: Demarqui (2009). ....	113
Figura 6.9 – dados armazenados em uma <i>feature class</i> . Fonte: ESRI, 2000.....	114
Figura 6.10 - Componentes primários de uma geodatabase – feature classes, feature dataset, table. Fonte: Laboratório de Topografia e Cartografia, UFES.....	115
Figura 6.11 – Estrutura de dados do SIG. ....	116
Figura 6.12 – Tabelas do banco de dados de sondagens, com seus campos e relacionamentos .....	118
Figura 6.13 – Formulário de entrada de dados no Banco de Dados SPT. Aba sondagens ativa. ....	118
Figura 6.14 – Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas/RS de 1815 a 1916. ....	121
Figura 6.15 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1922 a 1938. ....	122
Figura 6.16 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1939 a 1956. ....	122
Figura 6.17 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1957 a 1963. ....	123
Figura 6.18 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1964 a 1971. ....	123

Figura 6.19 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1972 a 1988. ....	124
Figura 6.20 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1916 a 2006. ....	124
Figura 6.21 - Vetores de crescimento urbano e relevo no município de Pelotas (RS) de 1916 a 2006. .....	125
Figura 6.22 - Lotes urbanos classificados como subutilizados, não edificadas ou não utilizados. ....	127
Figura 6.23 - Classes temáticas representativas dos vazios urbanos.....	128
Figura 6.24 – Classe temática Vazios Urbanos.....	128
Figura 6.25 - Classes temáticas das Áreas Especial de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN). ....	130
Figura 6.26 - Classe temática do total das Áreas de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN).....	131
Figura 6.27 - Vazios urbanos e vetores de crescimento. ....	132
Figura 6.28 - Vazios urbanos após exclusão de áreas. ....	133
Figura 6.29 - Mapa das áreas sujeitas ao crescimento urbano em Pelotas/RS. ....	134
Figura 6.30 – Nuvens de pontos altimétricos utilizados na geração do MNT.....	136
Figura 6.31 – Resultado do uso de diferentes interpoladores na geração do MNT : a) Spline; b) Krigagem; c) Inverso da Distância Ponderada; d) Vizinho Mais Próximo. ....	137
Figura 6.32 – Composição colorida do MNT realizada no software GlobalMapper. ....	138
Figura 6.33 – Visualização tridimensional do do MNT: pura (superior) e com imagem de satélite sobreposta (inferior). ....	139
Figura 6.34 – Composição colorida (RGB) do MNT recortado para o perímetro urbano de Pelotas. ....	140
Figura 6.35 – Histograma da imagem (raster) das declividades da zona urbana de Pelotas. ....	141
Figura 6.36 – Classes de declividades estabelecidas para a zona urbana de Pelotas.....	142
Figura 6.37 – Assinaturas espectrais criadas para classificação da imagem dos satélite SPOT 5.....	143
Figura 6.38 – Resultado da classificação supervisionada da imagem do satélite SPOT 5.....	144
Figura 6.39 - Simulação de enchente a partir do MNT (exagero vertical de 7m). Nível d’água em relação a Canal São Gonçalo e a Laguna dos Patos (nível 0).....	145
Figura 6.40 - Áreas urbanas sujeitas à inundação e sistema de proteção contra as cheias da cidade de Pelotas. ....	146
Figura 6.41 - Áreas urbanas atingidas inundadas por ocasião da enchente de 2004. ....	147

Figura 6.42 - Cruzamento dos limites originais das classes de solo com o relevo.....	150
Figura 6.43 - Cruzamento do MNT com imagem de satélite QuickBird. ....	150
Figura 6.44 - Limites das classes de solo, ajustados, refinados, e sobrepostos ao mapa de relevo, com delimitação da zona urbana. ....	151
Figura 6.45 - Captura de tela do AutoCad: ajuste de limites de classes (na cor magenta estão representados os limites da pedologia, e na cor verde os da geologia). ....	152
Figura 6.46 – a) Pedologia antes das generalizações taxônomicas (esquerda); b) Pedologia depois das generalizações taxônomicas (direita). ....	153
Figura 6.47 – a) alteração dos limites das classes pedológicas (esquerda); b) alteração dos limites das classes geológicas/geomorfológicas (direita). Os limites coloridos representam as classes antes da alteração e, sobrepostos a estes, os limites após a redefinição. Os círculos vermelhos indicam os locais que sofreram mudanças. ....	154
Figura 6.48 – Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. (modificado de Tomazelli & Villwock, 2000). Fonte: Barboza <i>et. al</i> , 2008.....	156
Figura 6.49 – Mapa de Unidades Geológicas.....	158
Figura 6.50– Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Organossolo Háplico. Fonte: Streck et al. (2008). ....	161
Figura 6.51 - Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Planossolos da unidade Pelotas. Fonte: Streck et al. (2008). ....	163
Figura 6.52 – Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Argissolos Vermelho-Amarelos da unidade Tuia . Fonte: Streck et al. (2008). ....	164
Figura 6.53 – Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Gleissolos Háplicos da unidade Banhado. Fonte: Streck et al. (2008). ....	165
Figura 6.54 – Mapa Pedológico após as generalizações taxonômicas e as redefinições de limites. ...	167
Figura 6.55 – Classes Pedológicas sobrepostas a imagem de satélite da zona urbana. ....	167
Figura 6.56 – Mapa de estimativa de unidades geotécnicas. ....	170
Figura 7.1 - Vazios urbanos de Pelotas. ....	172
Figura 7.2 - Exemplos do cruzamentos de <i>layers</i> utilizados para caracterização e análises dos vazios urbanos: a) unidades geotécnicas, vazios urbanos e pavimentação; b) vazios urbanos, quadras, relevo;	

c) vazios urbanos, imagem de satélite, áreas úmidas; d) vazios urbanos, quadras, legislação urbanística. ....	177
Figura 7.3 - Exemplos do cruzamentos de <i>layers</i> utilizados para caracterização e análises dos vazios urbanos: a) vazios urbanos e sondagens SPT; b) vazios urbanos, e divisões territoriais; c) vazios urbanos, imagem de satélite, áreas de especial interesse segundo o Plano Diretor; d) vazios urbanos, eixos viários, áreas susceptíveis a alagamentos. ....	178
Figura 7.4 – Perfil típico da unidade PLpl2, sondagem 120. ....	180
Figura 7.5 – Perfil típico da unidade PLpl3, sondagem 139. ....	181
Figura 7.6 – Perfil típico da unidade PVpl3, sondagem 133. ....	182
Figura 7.7 – Perfil típico da unidade HGpl4. Sondagem 123. ....	183
Figura 7.8 – Perfil da típico da unidade (HG+PL)pl4. Sondagem 146. ....	184
Figura 7.9 – Perfil típico da unidade HPpl4. Sondagem 136. ....	185
Figura 7.10 – Perfil típico da unidade HGal4. Sondagem 141. ....	186
Figura 7.11 – Perfil típico da unidade (HG+PL)pe4. Sondagem 116. ....	187
Figura 7.12 – Perfil típico da unidade HPpe4. Sondagem 117. ....	188
Figura 7.13 – Vazio urbano 1: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	191
Figura 7.14 – Loteamento populares no interior do Vazio 1. ....	192
Figura 7.15 – Terrenos da unidade HGal4. ....	192
Figura 7.16 – Terrenos da unidade PLcv (em primeiro plano) e da unidade PLpl2 (ao fundo). ....	192
Figura 7.17 – Perfil da unidade PLcv no Vazio 1. ....	192
Figura 7.18 – Uso especial estabelecido pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde esta inserido o Vazio Urbano 1. ....	193
Figura 7.19– Vazio Urbano 2: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	193
Figura 7.20– Terrenos da unidade HPpe4 (ao fundo) vistos a partir da unidade PLpl2. Ponto v2p2. ....	194
Figura 7.21 - Perfil do solo da unidade PLpl2 no desnível para a unidade HPpe4. Ponto v2p3. ....	194
Figura 7.22 - Uso especial estabelecido pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde esta inserido o Vazio Urbano 2. ....	195

Figura 7.23 – Interface ente as unidades HGal4 e PLpl2 no Vazio 2. Ponto v2p5. ....	195
Figura 7.24 – Terrenos baixos com vegetação nativa de banhado. Ao fundo indústria de grande porte implantada no vazio. Ponto v2p1. ....	195
Figura 7.25 - Vazio Urbano 3: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	196
Figura 7.26 – Áreas baixas do Vazio 3. Unidade HGpl4. Ponto v3p1. ....	197
Figura 7.27 – Vias de acesso não pavimentadas ao interior da porção noroeste do Vazio 3. Unidade PLpl2. Ponto v3p2. ....	197
Figura 7.28 - Vazio Urbano 3: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	198
Figura 7.29– Transição entre as unidades HGpl4 e PLpl2, com condomínio residencial existente, ao fundo. Processos erosivos no solo da unidade PLpl2. Ponto v4p2. ....	199
Figura 7.30 – Canal de drenagem existente no local. Ponto v4p1. ....	199
Figura 7.31 – Perfil do solo da unidade PLpl2. Processos erosivos no solo da unidade PLpl2. Ponto v4p2. ....	199
Figura 7.32 – Vista a partir da unidade HGpl4 com unidade PLpl2 ao fundo. Ponto v4p1. ....	199
Figura 7.33 - Vazio Urbano 5: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	200
Figura 7.34 – Mata nativa acompanhando o afluente do Arroio Santa Bárbara (unidade PLal4). Ponto v5p3. ....	201
Figura 7.35 – Talude mostrando a inclusão de argissolos na unidade PLpl2. Ponto v5p2. ....	201
Figura 7.36 - Vazio Urbano 6: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	201
Figura 7.37 – Terrenos baixos, típicos da unidade HGpl4. Ponto v6p3. ....	202
Figura 7.38 – Transição gradual entre as unidades HGpl4 e PLpl2 no Vazio 6. Ponto v6p3. ....	202
Figura 7.39– Sanga das Três Vendas. Terrenos ocupados por atividade agrícola familiar. Ponto v6p2. ....	202
Figura 7.40– Fundos do conjunto habitacional Terra Nova. Ponto v6p1. ....	202
Figura 7.41 - Vazio Urbano 7: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	203



Figura 7.42 – Terrenos baixos, alagadiços, sem ocupação, típicos da unidade HGpl4. Ponto v7p1...	204
Figura 7.43 - Vazio Urbano 8: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).	204
Figura 7.44 – Florestamento de eucaliptos no interior do Vazio 8. Ponto v8p2.	205
Figura 7.45 - Terrenos típicos da unidade PLpl2 no interior do Vazio 8. Foto tirada a partir da Avenida Fernando Osório. v8p3.	205
Figura 7.46 – Uso especial estabelecido pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde esta inserido o Vazio Urbano 8.	206
Figura 7.47 - Vazio Urbano 9: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).	207
Figura 7.48 – Campos sem usos do Vazio 9. Ponto v9p1.	207
Figura 7.49 - Vazio Urbano 10: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).	208
Figura 7.50 - Usos especiais estabelecidos pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde esta inserido o Vazio Urbano 10.	209
Figura 7.51 – Área marginal a BR 116, unidade PLpl2 do Vazio 10. Ponto v10p12.	210
Figura 7.52 – Unidade PLpl2 no primeiro plano e unidade PLal4 ao fundo. Ponto v10p1.	210
Figura 7.53 - Vazio Urbano 11: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).	210
Figura 7.54 – Área contígua a Avenida Fernando Osório, unidade PLpl2 no Vazio 11. Ponto v11p1.	211
Figura 7.55 – Área marginal à Avenida Zeferino Costa, unidade PLpl2. Ponto v11p2.	211
Figura 7.56 – Relevo da unidade (HG-PL)pl2, presente no Vazio 11. Ponto v11p4.	212
Figura 7.57 – Terrenos de uso agrícola, no extremo norte do Vazio11. Ponto v11p3.	212
Figura 7.58 - Usos especiais estabelecidos pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde está inserido o Vazio Urbano 11.	212
Figura 7.59 - Vazio Urbano 12: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).	213
Figura 7.60 – Terrenos alagadiços, com vegetação típica de banhado, presentes no Vazio 12. Ponto v12p1.	214

Figura 7.61 – Vazio 12 com áreas urbanizadas ao fundo. Ponto v12p1.....	214
Figura 7.62 - Vazio Urbano 13: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	215
Figura 7.63 – Área marginal a Avenida Presidente Juscelino K. de Oliveira no Vazio 13. Ponto v13p1. ....	216
Figura 7.64 – Movimento de terra para implantação de Shopping Center em área do Vazio 13. Ponto v13p2.....	216
Figura 7.65 - Vazio Urbano 14: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	216
Figura 7.66 – Metade noroeste do Vazio 14. Ponto v14p1. ....	217
Figura 7.67 – Parte do Vazio 14 situada a sudeste do mesmo, com loteamento popular ao fundo. Ponto v14p2.....	217
Figura 7.68 - Vazio Urbano 15: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	218
Figura 7.69 – Terrenos planos com vegetação arbustiva do Vazio 15. Ponto v15p1.....	218
Figura 7.70 - Vazio Urbano 16: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	219
Figura 7.71 – Terrenos planos do Vazio 16, com instalação fabril ao fundo. Ponto v16p1.....	220
Figura 7.72 – Área do Vazio 16 ocupada por campo de futebol. Ponto v16p1.....	220
Figura 7.73 - Vazio Urbano 17: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	221
Figura 7.74 – Terrenos típicos da unidade PLp12, no Vazio 17. Ponto v17p1.....	222
Figura 7.75 – Terrenos do Vazio 17 vistos a partir da Avenida Ildefonso Simões Lopes. Ponto v17p2. ....	222
Figura 7.76 - Vazio Urbano 18: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	222
Figura 7.77 – Terrenos do Vazio 17, marginais à Avenida Ildefonso S. Lopes. Ao fundo: condomínios que avançam no sentido sudoeste-nordeste. Ponto v18p1.....	223
Figura 7.78 – Perfil da unidade Plp12, onde percebem-se processos erosivos característicos dos solos da unidade, próximo ao ponto v18p1.....	223

Figura 7.79- Vazio Urbano 19: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	224
Figura 7.80 – Regramento do Plano Diretor de Pelotas referente a alturas das edificações na área do Vazio 19. ....	225
Figura 7.81 – Vazio 19 visto a partir dos fundos do Loteamento Umuarama. Bem ao fundo aparece o antigo Engenho Cel. Pedro Osório, às margens do Canal São Gonçalo. Ponto v19p1 .....	226
Figura 7.82 – Parte oeste do Vazio 19 vista a partir da Avenida São Francisco de Paula. Ao fundo aparece o centro da cidade. Ponto v19p2. ....	226
Figura 7.83 - Vazio Urbano 20: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	227
Figura 7.84 – Áreas de interesse especial estabelecidas pelo Plano Diretor na zona do Vazio 20. ....	228
Figura 7.85 – Parte sudeste do Vazio 20: área baixa e plana às margens da Avenida Ferreira Viana. Ao fundo aparece a Indústria de Biscoitos Zezé. Ponto v20p1. ....	229
Figura 7.86 – Parte noroeste do Vazio 20: foto a partir da unidade (HG-PL)pl4, passando pela unidade PLpl2 e com a unidade (HG-PL)pl4 aparecendo novamente ao fundo. Ponto v20p4. ....	229
Figura 7.87 – Parte noroeste do Vazio 20, vista a partir do ponto v20p2, no sentido nordeste-sudoeste: relevo de transição entre as unidades (HG-PL)pl4 e PLpl2. ....	229
Figura 7.88 – Área do Vazio 20 contígua ao Loteamento Dunas. Ponto v20p5. ....	229
Figura 7.89- Vazio Urbano 21: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	230
Figura 7.90 - Usos especiais estabelecidos pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde está inserido o Vazio Urbano 21. ....	230
Figura 7.91 – Vazio 21: terrenos da unidade PLpl2, desocupados e com presença de vegetação arbustiva. Ponto v21p2. ....	231
Figura 7.92 – Terrenos baixos da unidade HGAl4 no Vazio 21. Ponto v21p1. ....	231
Figura 7.93 - Vazio Urbano 22: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). ....	232
Figura 7.94 – Parte norte do Vazio 22, após a vegetação que aparece ao fundo passa a Avenida Adolfo Fetter. Ponto v22p1. ....	232

Figura 7.95 – Parte norte do Vazio 22, mostrando micro depressões alagadas. Ao fundo o Arroio Pelotas. Ponto v22p1.....	232
Figura 7.96 - Vazio Urbano 23: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	233
Figura 7.97 – Terrenos baixos e alagados do Vazio 23. Ponto v23p1. ....	234
Figura 7.98 – Obra próxima ao Vazio 23. Ponto v23p1.....	234
Figura 7.99- Vazio Urbano 24: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	234
Figura 7.100 – Vazio 24: área plana bem drenada a noroeste dos loteamentos Vila Bella e São Conrado. Ponto v24p1.....	235
Figura 7.101 – Vazio 24: área deprimida do micro relevo com acúmulo de água. Ao fundo aparecem os loteamentos Vila Bella e São Conrado. Ponto v24p2.....	235
Figura 7.102 - Vazio Urbano 25: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita). .....	236
Figura 7.103 – Vazio 25 visto a partir do Loteamento Pontal da Barra. Ponto v25p1.....	237
Figura 7.104 - Acúmulo de água nos terrenos do Loteamento Pontal da Barra, próximo ao Vazio 25. Ponto v25p2.....	237
Figura 7.105 - Vazio Urbano 26: unidades geotécnicas e pontos de sondagem (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).....	238
Figura 7.106 – Terrenos planos com micro relevo abaciado do Vazio 26. Ponto v26p1.....	239
Figura 7.107 – Vazio 26: rua pavimentada em unistein de loteamento interrompido. Ponto v26p2. .	239

# Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

---

## 1.1 GENERALIDADES

Teórica e historicamente a urbanização, como processo de formação das cidades, remonta à origem das primeiras cidades (SPOSITO, 1994), mas a mesma, enquanto processo pelo qual a população das cidades cresce em proporção superior à população rural é um fenômeno moderno que surgiu com a industrialização e o desenvolvimento econômico (SILVA, 2000). A Revolução Industrial gerou a urbanização, transformando as cidades em grandes centros industriais e de negócios. As cidades tornaram-se pólos de atração para uma mão-de-obra destinada a suprir a demanda do processo industrial.

No Brasil a urbanização somente ocorreu a partir do século XX com a promoção de políticas desenvolvimentistas, a intensificação do processo industrial, a modernização técnica do trabalho rural com a substituição do homem pela máquina, e a estrutura fundiária concentradora que resultou numa carência de terras para a maioria dos trabalhadores rurais.

Neste contexto, as cidades brasileiras, em geral, sofreram os reflexos de uma urbanização acelerada sobre as bases de um capitalismo subdesenvolvido. Em menos de um século nos transformamos de um país rural para um país essencialmente urbano. Enquanto em 1940, 31,2% da população brasileira moravam nas áreas urbanas, em 1991 este percentual chegava aos 75% (ALFONSIN, 2001) e, de acordo com o censo demográfico de 2000, 81,2% da população vivem em cidades (IBGE, 2000).

O resultado deste processo foi à construção de cidades onde predomina o desequilíbrio social e ambiental, e cuja lógica de desenvolvimento é a reprodução espacial e territorial das desigualdades e desequilíbrios que conformam à sociedade (XAVIER, 2004).

De acordo com Gottdiener (1993 apud COSTA e SANCHES, 2001), a forma do espaço urbano é a materialização do desenvolvimento contínuo do capitalismo. Assim, os traços distintivos da morfologia espacial urbana estão dialeticamente relacionados com as mudanças estruturais da organização social.

As cidades brasileiras cresceram rápida e desordenadamente<sup>1</sup>, causando o desequilíbrio dos sistemas ambientais, impondo riscos às populações, e um pesado ônus ao poder público. Entre os graves problemas decorrentes desse crescimento não planejado destacam-se aqueles relacionados ao meio físico e às atividades antrópicas indiscriminadas, como a ocupação de áreas de várzea, áreas sujeitas a inundações, áreas com elevadas declividades e áreas com alta suscetibilidade a processos erosivos (VALÉRIO FILHO et al., 2004).

Esse crescimento se dá de maneira mais acentuada nas cidades costeiras. Segundo Polette (1997 apud FARION, 2007), a maior parte da população mundial está concentrada até 70 km da linha de costa, e é considerável a migração de população das áreas interiores para as áreas costeiras. No Brasil, as áreas próximas ao litoral são as mais intensamente povoadas, resultado do processo histórico de ocupação. Ali estão as maiores densidades demográficas e os municípios mais populosos (IBGE, 2009). O Brasil tem 7048 km de costa, sendo que 15 capitais estaduais encontram-se na zona costeira ou próximas a ela.

Embora as muitas críticas ao modelo de planejamento urbano aplicado às cidades brasileiras nos últimos 25 anos e a ineficácia de seus instrumentos em condicionar a dinâmica urbana aos interesses públicos (XAVIER, 2004), é através do planejamento que se pode vocacionar as diferentes áreas do território, dando-lhes destinação adequada conforme suas características físico-ambientais.

Ferreira dos Santos (2004) sintetiza os diversos conceitos de planejamento afirmando que

*[...] o planejamento é um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análise sistematizadas das informações, por meio de procedimentos e métodos, para chegar a decisões ou a escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis.*

Ainda segundo Ferreira dos Santos (2004), “[...] a ênfase do planejamento está na tomada de decisões, **subsidiadas num diagnóstico que, ao menos, identifique e defina o melhor uso possível dos recursos do meio planejado.**” (grifo nosso).

De fato, a identificação das potencialidades, vocações e fragilidades do meio físico, bem como a previsão dos impactos causados pela ação antrópica, são fundamentais para que as

---

<sup>1</sup> O termo “desordenadamente” é utilizado como referência a um crescimento “não planejado”.

decisões tomadas no processo de planejamento, das quais resultam as diretrizes, planos, normas, programas e projetos, dêem adequado uso e ocupação ao solo.

Sem considerar a fraqueza de aglutinações sociais e políticas que permitem aos planos oriundos do planejamento ser meros reprodutores da ordem instituída (ROLNIK, 1990 apud PELOGGIA, 1997), Zuquette (1990) afirma que: “*A não consideração do meio físico nos processos de ocupação é decorrente da não atuação de equipes multidisciplinares no planejamento [...]*”. Embora conceitualmente frágil, a afirmativa tem valor sob o ponto de vista prático: para que a ocupação e uso do solo considerem as características do meio físico é necessário que esse seja devidamente estudado pelas equipes de planejamento, sem o que, mesmo que os planos venham a ter efetividade, serão ineficazes sobre esse aspecto.

Logo, as informações a cerca do meio físico são fundamentais nas atividades de planejamento do uso e ocupação do solo, em especial nos processos de expansão urbana e sua interação com esse meio. Neste contexto, a cartografia geotécnica, definida por Burkert Bastos et al. (1998) como “*os procedimentos para obtenção e representação gráfica de aspectos do meio físico, baseados em estudos geológicos, pedológicos, geomorfológicos, geotécnicos, etc..., visando estabelecer diretrizes para uso e ocupação do solo, estudos ambientais e projetos de engenharia*”, é uma ferramenta de grande importância ao planejamento territorial urbano.

Segundo Peggia (1997), a aplicação por excelência da cartografia geotécnica se refere ao planejamento territorial, em especial o urbano, sendo essa a posição dominante no meio técnico-científico. Para a PMSP (1994 apud PELOGGIA, 1996), a Carta Geotécnica é uma fonte de informações onde dados de solos, rochas, morfologias do relevo, são representados cartograficamente, e quando conjugados com as formas de ocupação, possibilitam a interpretação do meio físico e a avaliação das potencialidades e limitações ao uso e ocupação do solo.

Fica assim caracterizada a necessidade de informações sobre o meio físico para o planejamento do uso e ocupação racional do solo, em especial do solo urbano, e a utilidade da cartografia geotécnica no processo de obtenção e representação destas informações. Entretanto, segundo Valente (1999), os processos tradicionalmente utilizados no mapeamento geotécnico e no mapeamento de outros fatores do meio físico relacionados à Geotecnia, são demorados e exaustivos. Ainda segundo o autor, a geração de mapas derivados, como por exemplo, os relacionados à aptidão do solo para um determinado uso, envolvem a

manipulação e o cruzamento de um grande número de informações, tarefas extenuantes e morosas quando procedidas por métodos manuais.

Para Gracinete Bastos (2005), pela própria natureza das etapas de um mapeamento geotécnico, pode-se inferir que já existe um processo de informatização embutido no mesmo, mas que este, muitas vezes, é despercebido ou realizado de forma desorganizada, sem uma sistematização. Vários são os trabalhos científicos que abordam a automatização da cartografia geotécnica e que ressaltam a importância do uso de tecnologias de geoprocessamento, principalmente a integração das informações através de sistemas de informações geográficas (SIG) vinculados a bancos de dados digitais. Os SIG podem constituir ferramentas poderosas, rápidas e eficientes para a elaboração dos mapas geotécnicos por meio de metodologias que utilizam o cruzamento de mapas sobre o meio físico (VALENTE, 1999).

Além dos SIG, outras tecnologias de geoprocessamento, tais como a geração de modelos digitais de terrenos e o processamento e classificação de imagens de satélite, podem auxiliar tanto na geração dos dados necessários ao mapeamento geotécnico, quanto na própria elaboração e representação dos mapas, bem como nas análises geotécnicas necessárias.

Há também o fato de que muitos dos destinatários dos produtos e análises da cartografia geotécnica são utilizadores de SIG, em especial os planejadores municipais, logo a informação gerada e disponibilizada através desses sistemas é potencializada em seu uso e aplicação, possibilitando ainda a integração com outros dados disponíveis sobre o território.

Apesar da sua importância, muitas são as cidades brasileiras (principalmente de pequeno e médio porte) que, através de seus planos diretores, legislam sobre o uso e ocupação do solo sem o uso de informações geotécnicas. Este fato se deve tanto pela deficiência das equipes de planejamento que, em geral, não dispõem de técnicos das diversas áreas do conhecimento necessárias, quanto pela falta, em muitos locais, de dados sobre o meio físico em escalas compatíveis com o planejamento territorial. Logo, é fundamental a aplicação de metodologias simplificadas de mapeamento geotécnico que permitam, com facilidade, mapear e caracterizar em unidades geotécnicas, solos com origem, pedogênese e características físicas e morfológicas semelhantes e, por consequência, similar comportamento geotécnico frente diferentes solicitações (BURKERT BASTOS e ALVES, 1996).



## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para uso do mapeamento geotécnico como instrumento de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo em cidades costeiras. A metodologia proposta utiliza técnicas e recursos de geoprocessamento para modelagem, integração, visualização e interpretação dos dados, e visa à geração de mapas geotécnicos que permitam uma análise do uso e ocupação dos diferentes tipos de solos frente às características geotécnicas dos mesmos, em especial, nas áreas disponíveis e propícias ao crescimento urbano. A metodologia será desenvolvida tendo como área de estudo o município de Pelotas (RS).

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (i) Reunir dados existentes sobre o meio físico natural e construído da área de estudo, necessários para o alcance dos objetivos gerais e dos demais objetivos específicos;
- (ii) Utilizar meios e recursos informatizados para armazenamento, sistematização, integração e análise de dados sobre o meio físico, bem como para geração de novas informações derivadas;
- (iii) Analisar a evolução temporal da mancha urbana (evolução urbana), determinando os vetores de crescimento futuro e os vazios urbanos que constituem áreas passíveis de ocupação futura.
- (iv) Estimar unidades geotécnicas para toda a área de estudo, através de método desenvolvido no LAMGEO/UFRGS-UFSC e descrito por Davison Dias (1995);
- (v) Criar e estruturar bancos de dados de sondagens geotécnicas do tipo SPT; outros dados geotécnicos relevantes; dados diversos sobre o meio físico natural; dados diversos sobre o meio físico construído;
- (vi) Integrar os dados a um sistema de informações geográficas (SIG), introduzindo a componente espacial nas informações armazenadas e permitindo a junção, o cruzamento e as análises quantitativas, qualitativas e espaciais dos dados.

(vii) Confrontar os dados obtidos e gerados a cerca do território, com a legislação urbanística municipal (plano diretor) vigente, no que se refere ao uso e ocupação do solo.

(viii) Produzir o mapa de unidades geotécnicas para a zona urbana de Pelotas;

(ix) Caracterizar os vazios urbanos e analisar a propriedades geotécnicas das unidades estimadas.

## **1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Esta dissertação caracteriza-se por unir três áreas do conhecimento: Geotecnia (Mapeamento Geotécnico), Urbanismo e Geoprocessamento. O trabalho desenvolvido junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, na área de Engenharia Costeira, linha de pesquisa Geotecnia e Obras Costeiras, especificamente Estudo de Solos de Regiões Costeiras, está organizado em sete capítulos, nos quais os conteúdos trabalhados foram distribuídos de forma a permitir uma compreensão seqüencial dos procedimentos realizados e dos principais conceitos teóricos envolvidos.

A revisão bibliográfica, concentrada nos capítulos iniciais (2, 3 e 4), não constitui um título específico, estando também distribuída ao longo de todo o texto associada aos assuntos abordados, como forma de referenciar teoricamente os mesmos.

O presente capítulo introduz algumas considerações gerais sobre os temas envolvidos, relaciona os objetivos gerais e específicos do trabalho, e apresenta a área geográfica de aplicação da metodologia e os motivos que levaram a sua eleição.

O Capítulo 2 trata dos aspectos gerais do uso e ocupação do solo urbano, do crescimento urbano, e dos dados espaciais utilizados para sua análise e avaliação.

No Capítulo 3 é feita uma revisão teórica sobre Mapeamento Geotécnico, apresentando as metodologias utilizadas no exterior e no Brasil e, em especial, a metodologia desenvolvida no LAMGEO/UFRGS-UFSC, aplicada nesse trabalho.

No Capítulo 4 são apresentados conceitos sobre Geoprocessamento, integração de dados espaciais, Sistemas de Informações Geográficas e tecnologias relacionadas.

O Capítulo 5 traz a caracterização da área de estudos, com base nos aspectos políticos, históricos, físico-ambientais e legais.

O Capítulo 6 apresenta a metodologia aplicada para consecução dos objetivos traçados.

No Capítulo 7 é realizada a caracterização das unidades geotécnicas estimadas e das áreas de expansão urbana.

Por fim, no Capítulo 8, são apresentadas as conclusões.

## **1.5 ÁREA GEOGRÁFICA DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

A área escolhida para aplicação da metodologia é o município de Pelotas, no sul do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1.1). Entre os principais motivos que levaram a esta escolha, destacam-se os que seguem:

**a)** Embora Pelotas situe-se em uma área de transição entre duas regiões com características fisiológicas diferentes e bem definidas, a saber, o Planalto Sul-Riograndense, também chamado de Escudo Cristalino, e a Planície Costeira Sul-Brasileira (IBGE, 1986), sua maior porção, incluindo a zona urbana, localiza-se na Planície Costeira. A Planície Costeira, que é uma das quatro províncias morfológicas do Estado (CARRARO et al., 1974, apud TAGLIANI e VICENS, 2003), localiza-se entre os paralelos de 29° 18' e 33° 48' de latitude sul ocupando uma faixa adjacente ao Oceano Atlântico, com 650 km de extensão por cerca de 70 km de largura média. É marcada por terrenos planos, de cotas baixas (menos de 40 m de altitude), formados por sedimentos inconsolidados (areias, siltes e argilas). Sua sedimentação é de ambiente costeiro, sob influência de eventos de transgressão e regressão marinhas, que formaram ambientes praias, com lagunas e cordões arenosos, e marinhos de águas rasas (SILVA et al., 2006).

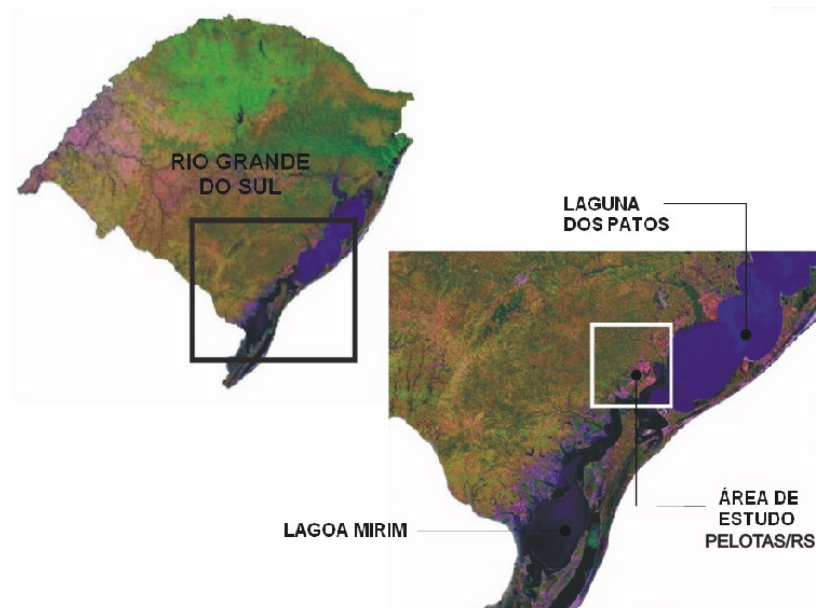


Figura 1.1 - Localização da área de estudo – Pelotas/RS

Segundo Rosa (1985), sob vários aspectos Pelotas pode ser considerado um município litorâneo. Primeiro por estar, em parte, inserido na Planície Costeira, segundo por sofrer as influências dos ventos marinhos em seu clima, e por último por fazer parte de “um verdadeiro litoral interno lacustre” do Rio Grande do Sul, formado pela Laguna dos Patos, cujas águas banham o município numa extensão de 40 km. Por isto, o Oceano Atlântico e a Laguna dos Patos têm importante influência nos aspectos físicos e humanos do município.

**b)** A Lei 7.661/88 que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), que tem como finalidade primordial o estabelecimento de normas gerais visando à gestão ambiental da Zona Costeira do país, lançando as bases para a formulação de políticas, planos e programas estaduais e municipais, em seu art. 2º, parágrafo único, considera como Zona Costeira o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre, que serão definidas pelo Plano.

O art. 4º da mesma lei prescreve que o PNGC será elaborado e, quando necessário, atualizado por um Grupo de Coordenação, dirigido pela Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – SECIRM (BRASIL, 1988). Esta comissão (CIRM), através da Resolução 005 de 1997, tendo em vista o disposto no Art. 4º, §1º, da Lei nº 7.661 de 1988, aprovou

Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (PNGC II). O PNGC II estabelece que a faixa terrestre que compõe a Zona Costeira seja a faixa do continente formada pelos municípios que sofrem influência dos fenômenos ocorrentes nesta zona, entre outros, **os municípios estuarinos-lagunares, mesmo que não diretamente defrontantes com o mar, dada a relevância destes ambientes para a dinâmica marítimo-litorânea** (SECIRM, 2006).

A relação dos municípios abrangidos pela faixa terrestre da Zona Costeira e parte integrante do PNGC II, publicada no Diário Oficial da União nº 9, de 14 de janeiro de 1998, Seção I, páginas 36 e 37, é composta pelos seguintes municípios do Rio Grande do Sul: Torres, Arroio do Sal, Três Cachoeiras, Três Forquilhas, Maquiné, Capão da Canoa, Terra da Areia, Xangrilá, Osório, Imbé, Tramandaí, Cidreira, Palmares do Sul, Viamão, Mostardas, Barra do Ribeiro, Tapes, Tavares, Camaquã, Arambaré, São José do Norte, São Lourenço do Sul, Rio Grande, **Pelotas**, Arroio Grande, Jaguarão e Santa Vitória do Palmar (SECIRM, 2006).

Em 2004 o Governo Federal, através do Decreto 5.300/2004, regulamenta a Lei nº 7.661/1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC e em seu art. 4º inciso V, ratifica o que já havia sido definido pela resolução 005/1997 da CIRM, estabelecendo que entre os municípios abrangidos pela faixa terrestre da Zona Costeira estão os estuarino-lagunares, mesmo que não diretamente defrontantes com o mar (BRASIL, 2004).

**c)** O município de Pelotas por sua localização geográfica, além de situar-se em uma região costeira, possui características físicas e ambientais semelhantes a outros municípios da mesma e de outras regiões, o que possibilita a extrapolação dos resultados da pesquisa e da aplicação da metodologia a ser desenvolvida.

Segundo Higashi (2006), as cidades costeiras do país apresentam certa semelhança quanto aos tipos de solos que ocorrem na sua faixa litorânea. Nas regiões litorâneas onde o relevo é plano, a incidência de solos sedimentares com profundos perfis de argila mole e areias quartzosas é bastante comum, ao passo que nas regiões interiores com relevo mais movimentado ocorrem solos residuais com variados graus de evolução e provenientes de diferentes tipos de rochas de origem.

**d)** Apesar de estar em seu 3º Plano Diretor, o qual entrou em vigência no dia 1º de janeiro de 2009, o município não possui nenhum tipo de mapeamento que forneça informações geotécnicas que possam ser utilizadas como ferramenta de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo. Desta forma, as normas e diretrizes de uso e ocupação do solo que

compõem a lei do Plano Diretor foram elaboradas com base em critérios que não levaram em conta as características geotécnicas dos solos. Notadamente, este cenário se repete em inúmeros outros municípios brasileiros, que por força da Lei 10.257/2001 – Estatuto da Cidade – estavam obrigados a aprovar seus Planos Diretores até o dia 10 de outubro de 2006 (BRASIL, 2001).

Mas o processo de planejamento não é estanque, ou seja, ele não acaba com a elaboração do plano, ao contrário, deve ser um processo permanente, de forma a acompanhar a dinâmica das cidades e aperfeiçoar seus próprios instrumentos com base nas situações fáticas futuras, advindas da aplicação das normas e regras do plano. Neste sentido a lei do 3º Plano Diretor de Pelotas, em seu Art. 12, criou o Sistema de Planejamento do Espaço Municipal, o qual deverá ter equipe e estrutura administrativa capacitada e exclusiva, para funcionar de maneira contínua e permanente (PMPel, 2008).

Entre os princípios e diretrizes gerais da política de ordenamento territorial municipal, está posto no inciso XIV do Art. 7º do Plano Diretor, que a política de desenvolvimento municipal deve pautar-se pelo estímulo ao adensamento da cidade em áreas denominadas de **vazios urbanos**, visando à diminuição do impacto ambiental que a urbanização de áreas desfavoráveis causa, estimulando a distribuição espacial da população e atividades econômicas em áreas dotadas de serviços, infra-estrutura e equipamentos, de forma a otimizar o aproveitamento da capacidade instalada, reduzindo os custos e deslocamentos (PMPel, 2008). Esta disposição, por ser uma diretriz, carece de detalhamento e regulamentação. Logo, dentro do processo de planejamento permanente, serão necessários dados e informações que possibilitem, seguindo a diretriz, promover uma ocupação racional, conforme as características físicas e ambientais destas áreas. Sendo assim, o mapeamento geotécnico pode servir como uma importante fonte de informações para futuras tomadas de decisões e elaboração de projetos pelos planejadores municipais pelotenses.

e) A facilidade de acesso a uma série de dados disponíveis nas Coordenadorias de Cadastro, Mapeamento e Informações Geográficas, e Planejamento da Secretaria Municipal de Urbanismo, da qual o autor faz parte do quadro permanente, e sua participação como membro do CTPD (Comissão Técnica do Plano Diretor), que tem a finalidade de coordenar e executar os trabalhos técnicos necessários à aplicação e à atualização permanente do 3º Plano Diretor, tendo as atribuições de: encaminhar a elaboração dos planos complementares previstos; propor revisões, para sua constante adequação à evolução da realidade; fazer o detalhamento

urbanístico, para complementá-lo e adequá-lo às necessidades do desenvolvimento urbano (PMPEl, 2008).

## **Capítulo 2 - ASPECTOS GERAIS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO**

---

### **2.1 GENERALIDADES**

As cidades brasileiras, em geral, sofreram os reflexos de uma urbanização acelerada sobre as bases de um capitalismo subdesenvolvido. Em menos de um século nos transformamos de um país rural para um país essencialmente urbano, onde cerca de 82% da população habita em cidades (XAVIER, 2004).

O resultado deste processo foi a construção de cidades onde predomina o desequilíbrio social e ambiental e cuja lógica de desenvolvimento é a reprodução espacial e territorial das desigualdades que conformam a própria sociedade (XAVIER, 2004). As desigualdades, que não são poucas, espacialmente se materializam sobre a forma de favelas, cortiços, ocupações irregulares de áreas públicas, ocupações de áreas ambientalmente frágeis ou de risco, periferias longínquas e desprovidas de serviços, vazios urbanos em áreas centrais à espera de valorização imobiliária, etc.

Entre os inúmeros conflitos resultantes deste implacável processo de urbanização, um dos mais relevantes é o que diz respeito ao uso e ocupação de áreas que apresentam características geotécnicas e ambientais inadequadas à quase totalidade dos tipos de uso a que estão sujeitas. Existem, por exemplo, desrespeito a limitação das potencialidades naturais dos solos que são ultrapassadas pela ocupação não planejada e irracional (HIGASHI, 2006).

Grande parte dos problemas advém da incapacidade do poder público em controlar e ordenar o crescimento urbano, o que se dá por vários fatores, dos quais podemos citar: (i) falta de planejamento; (ii) planejamento inadequado ou que não considera todas as características necessárias do meio físico; (iii) ineficiência do planejamento, quer pela fraqueza das aglutinações sociais e políticas (ROLNICK et al., 1990 apud PELOGGIA, 1996), quer pela inexistência de instrumentos adequados de controle; (iv) incapacidade do planejamento e seus instrumentos em se adaptarem aos quase imprevisíveis rumos da dinâmica urbana; (v) falta de ingerência sobre os processos de apropriação do solo urbano com fins de lucro que, criando



vazios urbanos em áreas propícias ao adensamento, forcem o crescimento sobre áreas periféricas e inadequadas ao uso e ocupação, tanto do ponto de físico e ambiental, quanto pelo maior custo na extensão das redes de infra-estrutura (XAVIER, 2004).

Valente (1995) assevera que para planejar o crescimento das cidades é fundamental o conhecimento das tendências da expansão urbana e sua interação com o meio físico. Segundo Tricart (1977 apud HIGASHI, 2006), a organização do território exige um diagnóstico preliminar destinado a esclarecer a escolha do tipo de ocupação do solo compatível às limitações do meio. Para qualquer diagnóstico, mesmo que preliminar, são necessárias determinadas informações sobre seu objeto. No caso dos solos, suas características geotécnicas são de grande importância tanto para definição como para o controle dos tipos de usos e ocupações mais adequados.

Desta forma, a cartografia geotécnica se constitui numa valiosa fonte de informações para todos que de forma direta ou não estão envolvidos com o planejamento e controle do uso e ocupação do solo.

## **2.2 CRESCIMENTO URBANO**

A urbanização, enquanto processo em que a população urbana cresce em proporções maiores que a rural, é um fenômeno moderno que surgiu com a industrialização e desenvolvimento econômico. Especialmente, a urbanização se materializa, entre outras formas, no crescimento urbano por extensão e/ou por densificação. O primeiro caracteriza-se pela incorporação de áreas de uso não urbanos para o uso urbano e o segundo pelo aumento na intensidade de utilização do solo urbano – por verticalização, por exemplo - de áreas já disponíveis como urbana, sem a necessidade de incorporação de áreas novas (Rigatti, 2001). O estudo da dinâmica espacial urbana e de seus processos e padrões tem sido um desafio para a ciência. Conforme Polidori (2004), no campo teórico da configuração urbana, importantes esforços têm sido empreendidos para melhorar a compreensão sobre os mecanismos de produção e reprodução das cidades, tais como as idéias vinculadas ao desenvolvimento desigual, à auto-organização e aos estudos sobre sistemas complexos. Na mesma direção, estudos de centralidade como medida morfológica de diferenciação espacial têm sido utilizados para representar a cidade através de seus espaços construídos.

Diversos são os esforços da pesquisa contemporânea, envolvendo variados campos do conhecimento, para modelar e simular o crescimento urbano. Polidori (2004), por exemplo, utiliza conceitos derivados da ciência do espaço, modelos urbanos, teorias de sistemas e ecologia da paisagem, bem como pela instrumentação propiciada pela Teoria dos Grafos, dinâmica celular autômata, geocomputação e SIG (Sistemas de Informações Geográficas), para desenvolver modelo de simulação do crescimento urbano que integre fatores urbanos, naturais e institucionais.

Fora do campo da modelagem e simulação de cenários futuros, o crescimento urbano pode ser estudado através da integração e interpretação de dados da evolução temporal da mancha urbana e de sua situação presente, em contraposição aos vazios urbanos e aos condicionantes físicos e legais do crescimento. Desta forma, imagens, mapas e dados cadastrais integrados e analisados em ambiente SIG permitem determinar de forma simplificada os padrões de crescimento e as áreas potenciais para a expansão urbana.

### **2.2.1 Dados Espaciais para Análise do Crescimento Urbano**

Para determinação dos vetores de crescimento urbano, Higashi (2006) afirma ser necessário, no mínimo, a retratação da mancha urbana em três diferentes e significativas épocas. Contudo, esse patamar mínimo não pode ser absoluto, devendo, logicamente, depender da complexidade e da extensão do tecido urbano. Por conseguinte, entende-se que para determinadas localidades a representação da conformação urbana em apenas três períodos históricos pode ser insuficiente para uma análise confiável da evolução urbana. Preferencialmente, deve ser utilizada a maior quantidade de dados possíveis, gerando-se uma série histórica representativa.

Ressalta-se que o tratamento da evolução em termos de mancha urbana é uma simplificação da análise que pode ser estendida para níveis maiores de desagregação da informação, podendo-se, inclusive, utilizar mais de um nível de desagregação, desde que respeitada a escala de compatibilidade para cada tipo de dado espacial utilizado.

Cuidado especial deve ser dado à precisão espacial dos dados, pois ao utilizar-se, por exemplo, cartas e mapas em escalas muito pequenas para representar um determinado período temporal, estes limitarão a precisão espacial da análise como um todo. Desta forma, devem-se

buscar dados com a maior precisão espacial possível, mesmo que seja necessário reduzir a escala de parte dessas informações para se estabelecer uma homogeneidade na precisão.

O formato dos dados é outro fator importante. Em se tratando de dados espaciais, podem estar disponíveis dados tanto em formato raster (matricial) como vetorial, e embora se possa trabalhar com ambos os formatos dentro de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), dados em um mesmo formato representam maior capacidade de integração. Desta forma, em alguns casos, pode ser necessária, ou pelo menos conveniente, a conversão de formatos. Considerando-se a capacidade de integração entre dados vetoriais e tabulares oferecidas pelos SIGs e a possibilidade de espacialização das diversas variáveis relacionadas às geometrias, trabalhar com dados no formato vetorial pode significar uma maior potencialidade na manipulação e análise dos dados.

Para integração dos dados é necessário que esses estejam georreferenciados dentro de um mesmo sistema de coordenadas cartográficas. Diversas são as fontes de dados que podem (conforme a disponibilidade) serem utilizadas no mapeamento e avaliação da evolução espacial urbana. Conforme a seguir apresentado, citam-se os mapas cadastrais, as plantas de loteamentos, as fotografias aéreas, as imagens de satélite, entre outros dados que geralmente fazem parte do acervo das prefeituras municipais.

**Mapas Cadastrais:** representações gráficas bi-dimensionais (analógicas ou digitais) dos principais elementos definidores do tecido urbano, tais como ruas, quadras, praças e outros espaços públicos. Os mapas ou plantas cadastrais são, geralmente, documentos de acervo de órgãos públicos municipais e podem representar a morfologia da cidade em diversos períodos históricos. A Figura 2.1. mostra como exemplo, os mapas cadastrais de Pelotas dos anos de 1835 e 1882.

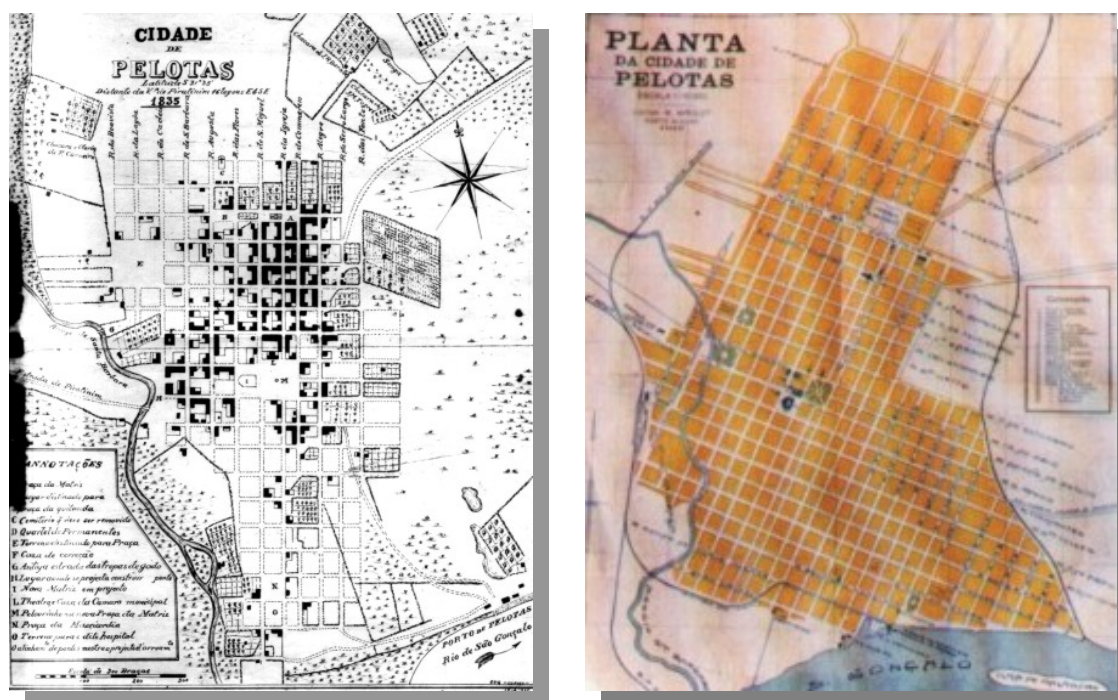


Figura 2.1 – Mapas cadastrais de Pelotas dos anos de 1835 e 1882.

**Plantas de Loteamentos:** loteamento é um tipo de parcelamento do solo resultante da divisão de gleba em lotes, destinado à edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes (PMPel, 1980). As prefeituras, além de muitas vezes atuarem como loteadoras, são responsáveis pela análise, aprovação e liberação dos loteamentos. Esta atribuição, em geral, gera um acervo público de mapas e plantas dos loteamentos públicos e privados, os quais, organizados de maneira cronológica, tornam-se uma excelente fonte de dados relativos à evolução espacial urbana.

**Fotografias Aéreas:** normalmente oriundas de levantamentos aerofotogramétricos, as fotografias aéreas são muito usadas para atualização da cartografia e para o planejamento urbano. Muitos municípios de médio e grande porte possuem levantamentos aerofotogramétricos, mas infelizmente seu alto custo inviabiliza sua aquisição pela grande maioria dos pequenos municípios. As aerofotos podem ser agrupadas em blocos sem emendas, gerando assim uma imagem única do perímetro urbano (denominada mosaico).

**Imagens de Satélite:** as imagens de satélite são excelentes fontes de dados para avaliações de fenômenos temporais. Os satélites utilizados para observação da Terra, de órbita polar ou quase-polar, circular e heliossíncronas, passam sobre uma região diferente da Terra a cada

rotação, voltando a passar sobre uma mesma área em um período de tempo, denominado período de revista. A revista possibilita a aquisição de imagens periódicas de uma região e a análise de fenômenos temporais, tais como as mudanças morfológicas das cidades.

Em relação às propriedades das imagens de satélites, quando utilizadas para análises urbanas, merece destaque a resolução espacial, a qual mede a menor separação angular e linear entre dois objetos imageados. Considerados os níveis de processamento e correção aplicados às imagens, a resolução espacial é determinante da precisão cartográfica dos mapeamentos gerados a partir das mesmas.

Tendo-se em conta que as imagens de satélite disponíveis para análise urbana são relativamente recentes e que, por consequência, não cobrem um período temporal suficiente para uma análise consistente das mudanças na morfologia urbana, estas não devem ser usadas como fonte exclusiva de dados.

A aquisição de imagens de satélite por parte das prefeituras e outros órgãos ligados ao planejamento e pesquisas ambientais e urbanas tem aumentado consideravelmente. Para uma grande gama de usos as imagens representam um custo muito pequeno, principalmente se comparado ao custo dos levantamentos aerofotogramétricos. As imagens dos satélites sino-brasileiros CBERS 2 e CBERS 2B são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

**Outras fontes de dados:** a morfologia das cidades, em determinadas épocas, também pode ser extraída de outras fontes. As cartas planimétricas e planialtimétricas do Serviço de Cartografia do Exército Brasileiro - CAEX e os mapas temáticos estaduais, fornecidos pela Diretoria de Geociências – DGC do IBGE, são algumas delas. As primeiras com grau de detalhamento e escala de representação maiores do que as últimas. Para os municípios do Rio Grande do Sul estão disponíveis as cartas planialtimétricas da CAEX na escala 1:50.000.

### 2.3 PADRÕES ESPACIAIS DO CRESCIMENTO URBANO

O crescimento urbano pode ocorrer tanto de forma compacta (*dense-union*) como dispersa (*leapfrog*). A compactação manifesta-se predominantemente no núcleo urbano, através do aumento do parcelamento do solo e da verticalização. Diferentemente, o padrão de

crescimento disperso é observado, sobretudo, na expansão das periferias (FUCKNER, 2008). Em geral, ambos os processos acontecem simultaneamente no espaço urbano. Diversos são os fatores e variáveis que condicionam e dão direção e sentido ao crescimento urbano, como exemplo cita-se a legislação urbanística e ambiental, as políticas e investimentos públicos, os fatores sociais e econômicos, as condicionantes naturais, a infra-estrutura instalada, a distribuição espacial de serviços, comércios, indústrias e zonas residenciais, etc. Construir cenários de crescimento futuro de uma cidade implica em desenvolver modelos complexos de simulação que considerem os diferentes fatores e variáveis envolvidas na dinâmica urbana, o que está além do escopo da metodologia utilizada neste trabalho. De outra forma, modelos simplificados de padrões de crescimento da mancha urbana, como a forma radial e a estrelar citadas por Higashi (2006), em geral, por excesso de simplificação, não retratam corretamente as formas e sentidos da evolução espacial urbana.

## Capítulo 3 - MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

---

### 3.1 GENERALIDADES

Maciel Filho (1997) define a Geotecnia como sendo uma ciência aplicada que envolve um conjunto de atividades das áreas de Mecânica dos Solos, Mecânica das Rochas e Geologia de Engenharia. As duas primeiras estudam o comportamento do maciço terroso ou rochoso diante das solicitações antrópicas ou natural, e a última, se dedica à investigação, ao estudo e à solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrente da interação entre Geologia e trabalhos do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos (GRACINETE BASTOS, 2005).

Entre as diversas áreas de atuação da Geotecnia, a **cartografia geotécnica ou mapeamento geotécnico** destaca-se por sua aplicabilidade no planejamento territorial, ambiental e implantação de obras de engenharia.

Burkert Bastos et al. (1998) afirmam que:

*os mapas geotécnicos constituem um importante subsídio às mais variadas aplicações: planejamento do uso e ocupação do solo urbano, estudos ambientais (destinação de resíduos e escolha de áreas de preservação), projetos de prospecção do subsolo, soluções técnicas em anteprojetos de obras civis (escolha do tipo de estrutura de fundações, viabilidade de cortes e escavações, condições de drenagem dos terrenos), prospecção de jazidas de material para a construção civil e infra-estrutura viária.*

A representação do espaço em que o homem vive, evoluiu com sua própria história e, das primeiras estruturas abstratas, símbolos e desenhos sobre paredes de cavernas, transformou-se nas representações gráficas que hoje conhecemos por mapas e cartas, cujos primeiros registros, segundo Harley (1991 apud GRACINETE BASTOS, 2005) datam de 6.000 a.C.

A elaboração sistematizada das cartas e mapas surgiu com a cartografia, definida pela Associação Internacional Cartográfica (ICA), como um conjunto de operações científicas, artísticas e técnicas baseadas nos resultados de observações diretas ou análises de documentos com vistas à elaboração e preparação de cartas, mapas, projetos e outras formas de expressões. A mesma associação define o mapeamento como o conjunto de operações

técnicas executadas com a finalidade de elaborar mapas ou cartas (SÃO PAULO, 1993 apud GRACINETE BASTOS, 2005).

Embora muitas vezes utilizados como sinônimos, mapas e cartas, segundo Zuquette e Gandolfi (2004), além de terem origem etimológica diversa, diferenciam-se quanto ao uso:

*mapa é o registro de dados obtidos de um determinado aspecto do ambiente em questão, sem interpretação”, e carta refere-se “a um documento cartográfico com representação das informações, ou seja, das interpretações e associações dos dados contidos nos mapas.*

Segundo Gracinete Bastos (2005), a cartografia pode ser classificada em dois grandes grupos: a cartografia básica e a temática, sendo que esta última obedece aos padrões estabelecidos pelas regras da cartografia geral, mas, todavia, pode ser simplificada em certos níveis de detalhes, dando ênfase ao tema abordado na carta. Um mapa geotécnico entra no contexto da cartografia temática e é definido pela UNESCO (1976), como

*um tipo de mapa geológico **que fornece uma representação geral de todos aqueles componentes de um ambiente geológico de significância para o planejamento do solo** e para projetos, construções e manutenções, quando aplicados à Engenharia Civil e de Minas (grifo nosso).*

A cartografia geotécnica surgiu no início do século na Alemanha, e difundiu-se no mundo seguindo diferentes escolas em países como a antiga Tchecoslováquia, Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, Espanha e Portugal, onde alcançou grande desenvolvimento. Segundo Burkert Bastos (1998):

*No Brasil, o estudo do meio físico visando o mapeamento geotécnico tem história relativamente recente. Os trabalhos pioneiros datam do final da década de 60. Entretanto, foi ao final dos anos 70, com o engajamento de Universidades e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT/SP) que ocorreu um maior impulso na área.*

Duas correntes de trabalho têm exercido grande influência na cartografia geotécnica brasileira: a de língua francesa e a dos países de língua inglesa, fato que deu origem às denominações cartografia geotécnica e mapeamento geotécnico, respectivamente, que muitas vezes são usadas indistintamente. Mas, conforme alertam Zuquette e Gandolfi (2004), o termo cartografia geotécnica refere-se à elaboração do produto cartográfico e não à obtenção das informações e dados geotécnicos. Desta forma, a cartografia geotécnica é uma etapa do processo de mapeamento geotécnico.

Para os autores supracitados



*o termo mapeamento geotécnico refere-se a um conjunto de ações voltadas à elaboração de mapas e cartas de conteúdo relativo a Geotecnia”, e pode ser entendido “como um processo que tem por finalidade básica levantar, caracterizar, classificar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, representando adequadamente a variabilidade do mesmo(ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004).*

Para esses, o mapeamento geotécnico considera o meio físico com objetivo de avaliar limitações e potencialidades e caracteriza-se por ser um campo de interfaces entre as diversas áreas de conhecimento e as informações geotécnicas (ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004).

Sendo assim, tem fundamental importância à forma como as informações são apresentadas no mapa geotécnico. Pois é por intermédio dos documentos gráficos e memoriais descritivos que ocorre a comunicação entre os profissionais que efetuaram o trabalho e os usuários finais (PEJON e ZUQUETTE, 1995 apud VALENTE, 1999), que necessitam da informação geotécnica para solução de problemas referentes às suas áreas de atuação (planejamento, engenharia, meio ambiente, etc.), e que, na maioria das vezes, não são especialistas em Geotecnia. Neste sentido, De Mio e Gandolfi (1995 apud VALENTE, 1999) propõem, por exemplo, o uso de tabelas interpretativas que permitem condensar um grande número de informações, facilitando o entendimento do mapa final.

Vários são os autores que salientam a importância do mapa geotécnico. Barroso (1989 apud VALENTE, 1999), por exemplo, ressalta sua importância como subsídio a elaboração de mapas ou cartas complementares como mapas de risco e aptidão de solo. Maciel Filho (1997), por sua vez, destaca o mapa geotécnico como ferramenta indispensável a elaboração de cartas de recomendação do uso do solo, como exemplifica, na implantação de novos loteamentos. Santos (1997 apud MAFRA JUNIOR, 2007) situa o mapa geotécnico como um instrumento de gestão territorial, à medida que estabelece o zoneamento do solo com características das unidades diferenciadas segundo critérios do meio físico, que deverão ser observadas de forma a evitar problemas de ocupação inadequada a tais características.

Fica assim, evidenciada a importância do mapa geotécnico como instrumento de gestão do uso e ocupação do solo, de forma a minimizar os efeitos negativos da ação antrópica sobre o meio físico natural.

## 3.2 METODOLOGIAS DE ELABORAÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS

Segundo Valente (1999), diversas metodologias têm sido desenvolvidas ao longo do tempo para realização de mapas geotécnicos, o que faz com que estes trabalhos apresentem características muito distintas tanto nos procedimentos adotados quanto na forma de representação dos resultados. Mas, continua o autor, normalmente, o produto final é constituído por um ou mais mapas que procuram representar as condições do meio físico em função do objetivo do estudo e resultam, em geral, da superposição ou da hierarquização de fatores (PEJON e ZUQUETTE, 1995 apud VALENTE, 1999).

### 3.2.1 Metodologias Tradicionais

Diversos foram os países que desenvolveram metodologias que se transformaram em base para outras, sobretudo os europeus. Cada metodologia possui suas características próprias, algumas abordam aspectos específicos, outras, mais abrangentes, abordam aspectos gerais da Geotecnia (GRACINETE BASTOS, 2005). Zuquette (2004) cita como as principais metodologias, as seguintes:

- Metodologia Francesa
- Metodologia da IAEG (internacional)
- Metodologia PUCE (australiana)
- Metodologia Espanhola
- Sistema ARDA (canadense)
- Sistemática de Ontário (canadense)
- Metodologia Suíça
- Mapas de solos para fins de engenharia (norte americana)
- Metodologia da Grã Bretanha
- Metodologia de Mathewson e Font
- Carta de Zermos

- Metodologia GASP
- Metodologia para mapeamento de áreas com materiais instáveis
- Sistemática aplicada na região de Franconia/Virginea (norte americana)
- Metodologia aplicada na antiga União Soviética (russa)
- Sistemática de M. Humbert
- Metodologia de Kiefer (norte americana)
- Sistemática Bottino – Civita (italiana)

Das metodologias estrangeiras citadas por Zuquette (2004), destacamos a do IAEG, a metodologia PUCE e a Metodologia Francesa.

**Metodologia do IAEG:** a metodologia da *International Association of Engineering Geology (IAEG)*, foi desenvolvida com a finalidade de estabelecer um padrão internacional de mapeamento geotécnico, cuja aplicação fosse viável técnica e economicamente à maioria dos países, logo se trata de uma metodologia abrangente.

A metodologia propõe uma classificação para os mapas geotécnicos, de acordo com a finalidade (especiais ou multifinalitários), com o conteúdo (analíticos, sintéticos, auxiliares e complementares) e com a escala (grande escala:  $\geq 1:10.000$ , média escala: entre  $1:10.000$  e  $1:100.000$  e pequena escala:  $\leq 1:100.000$ ).

Gracinete Bastos (2005) salienta que a metodologia da IAEG é norteada pelos seguintes princípios:

*o mapa geotécnico deve retratar informações objetivas e necessárias para avaliação das características geotécnicas; deve ser feito o possível para prever as variações de situações geológicas; as informações devem ser apresentadas de forma a facilitar o entendimento por profissionais de outras áreas; os mapas geotécnicos têm como base os mapas geológicos, hidrogeológicos e geomorfológicos.*

**Metodologia PUCE (“Pattern, Unit, Component, Evaluation”):** compreende duas grandes fases: classificação do terreno e avaliação deste para fins de implantação de obras de engenharia e planejamento do uso do solo (GRACINETE BASTOS, 2005), e é centrada na divisão da área mapeada em classes de terreno hierarquizadas a partir de características gerais (geológico-geomorfológicas), de uso do solo e geotécnicas (ZUQUETTE, 2004).

O princípio geral da metodologia é de que áreas com geologias similares submetidas às mesmas condições climáticas tendem a apresentar solos e parâmetros rochosos semelhantes (GRANT, 1975 apud GRACINETE BASTOS, 2005).

Conforme Zuquette (2004), nesta metodologia os terrenos são divididos e classificados em quatro classes hierárquicas denominadas província, padrão do terreno, unidades e componentes de terreno.

**Metodologia Francesa:** surgiu com a publicação por Sanejouand, em 1972, de um levantamento e análise dos trabalhos realizados na França e com a proposta de uma reformulação no processo de mapeamento francês, numa tentativa de homogeneizar a elaboração das cartas geotécnicas naquele país (GRACINETE BASTOS, 2005). Conforme Valente (1999), Sanejouand propôs a elaboração de cartas de fatores e cartas de aptidão. As primeiras constituem um conjunto de documentos básicos, formado pelas cartas de documentação, de substrato rochoso, dos materiais de cobertura, cartas hidrogeológica e geomorfológica. A partir de sua interpretação, são elaboradas as cartas de aptidão, que delimitam áreas homogêneas e são voltadas a usos, tais como: fundações, vias de transporte, escavabilidade, materiais de construção e outras (ZUQUETTE, 2004).

### 3.2.2 Metodologias Utilizadas no Brasil

Desde o início da década de 60 foram realizados muitos trabalhos a cerca do mapeamento geotécnico no Brasil. Diferentes métodos e sistemáticas foram empregados, principalmente nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul (GRACINETE BASTOS, 2005). Os procedimentos metodológicos empregados resultam da assimilação de uma vasta experiência realizada nos países desenvolvidos (SOUZA e GANDOLFI, 1993 apud VALENTE, 1999), adaptadas às condições do nosso meio físico. Segundo Moretti (1989 apud VALENTE, 1999), as metodologias desenvolvidas no Brasil utilizam-se do cruzamento de informações existentes em mapas geológicos, pedológicos e geomorfológicos e das características de comportamento dos solos diante das solicitações a eles impostas. Sendo assim, as cartas geotécnicas acabam fortemente condicionadas pelo tipo, qualidade e quantidade das informações disponíveis sobre o meio físico.

De acordo com Maciel Filho (1989 apud VALENTE, 1999), ainda não existe consenso na metodologia a ser utilizada na realização de um mapeamento geotécnico. Os procedimentos devem ser estabelecidos para cada região a ser estudada em função das características próprias do meio físico, dos dados disponíveis, da finalidade do mapeamento, da escala do trabalho e dos aspectos econômicos. Mas, apesar da inexistência de uma “metodologia brasileira de cartografia geotécnica”, destaca-se, por seu uso e abrangência, as propostas metodológicas desenvolvidas no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), da EESC-USP (Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo) e a sistemática utilizada no sul do país, desenvolvida no Laboratório de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas (LAMGEO) da UFRGS (posteriormente transferido para a UFSC), e explicitada por Davison Dias (1995).

**Metodologia do IPT:** desenvolvida na década de 1980, a partir de trabalhos baseados em problemas e situações específicas relativas ao meio físico, buscando uma solução rápida. Tinha como objetivo oferecer respostas efetivas ao usuário considerando prazos e custos (ZUQUETTE, 2004).

As cartas geotécnicas, que buscam prever o desempenho da interação entre o meio físico e o uso e ocupação, estabelecendo técnicas para prevenção e correção dos problemas encontrados, são classificadas pelo IPT em: cartas geotécnicas propriamente ditas, que expõem as limitações e potencialidades dos terrenos e definem diretrizes de ocupação para o uso do solo; cartas de risco, que avaliam o dano potencial à ocupação; cartas de suscetibilidade, que graduam as probabilidades de ocorrência de fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação; cartas de atributos ou parâmetros, que se limitam à distribuição espacial de uma ou mais características do terreno (ZUQUETTE, 2004).

**Metodologia da EESC-USP:** desenvolvida com base em trabalhos de mapeamentos geotécnicos realizados pelo Departamento de Geotecnia da Universidade de São Paulo, baseia-se na análise do meio físico como fundamento para implementação das diversas formas de ocupação (GRACINETE BASTOS, 2005). A metodologia visa à integração de todas as fases do processo, desde a obtenção de atributos até a elaboração de cartas específicas aos usuários (ZUQUETTE, 2004 e ZUQUETTE e NAKASAWA, 1998).

**Metodologia do LAMGEO (UFRGS-UFSC):** desenvolvida por um grupo de pesquisa criado na UFRGS e posteriormente transferido à UFSC, e apresentada por Davison Dias

(1995) como “Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais”, a metodologia é destinada ao mapeamento de grandes áreas. A metodologia tem como produto final um documento cartográfico com a estimativa de unidades homogêneas sob o ponto de vista geotécnico, as chamadas unidades geotécnicas. As unidades geotécnicas são zonas de ocorrência de solo com perfis de origem e características físicas e morfológicas semelhantes e que apresentam um comportamento geotécnico similar frente ao uso e ocupação do solo.

As unidades geotécnicas são estimadas através da superposição de cartas geológicas, pedológicas e topográficas existentes, e identificadas pela simbologia “XYZxyz”, onde as letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica do perfil (considerando os horizontes superficiais A e B), e as letras minúsculas representam a geologia, caracterizada pelos horizontes C, RA, e R (Figura 3.1). Na classificação geológica é considerada a rocha dominante, sendo que no caso de não haver uma litologia dominante no material do substrato, são adotadas as siglas das rochas presentes em letras minúsculas separadas por vírgulas (DAVISON DIAS, 1995).

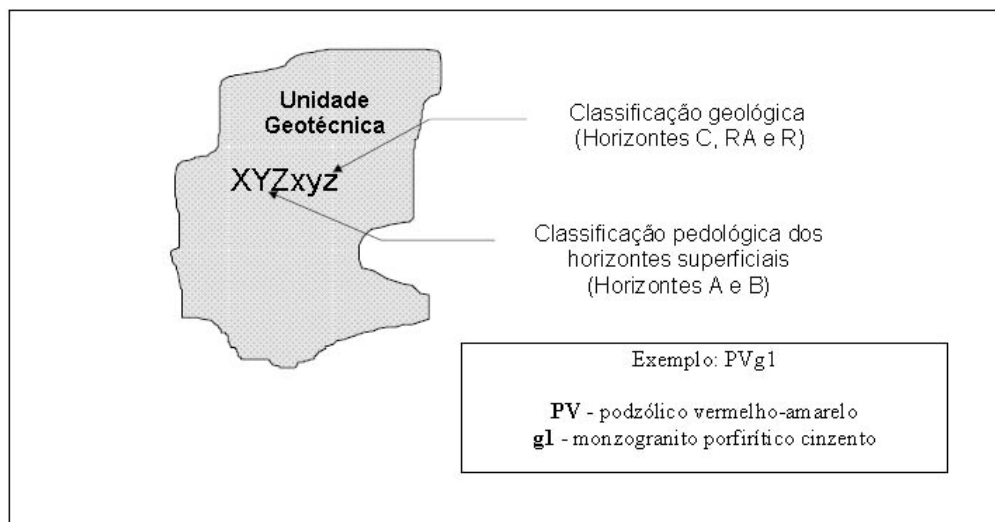


Figura 3.1 – Simbologia para identificação das unidades geotécnicas (Davison Dias, 1995). Fonte: Valente (1999).

O mapa geotécnico é acompanhado de uma descrição dos perfis típicos existentes nas unidades, facilitando ao usuário a identificação do tipo de material a ser encontrado em cada unidade de mapeamento (VALENTE, 1999).

Davison Dias (1995), considerando a falta de informações pedológicas para as zonas urbanas, propõe ainda um estudo pedológico simplificado dirigido a Geotecnia. A simplificação despreza o horizonte A e dá mais ênfase aos horizontes B e C devido à maior importância destes em obras geotécnicas. Inicialmente é feita uma análise dos levantamentos de solos, geológicos, topográficos e geomorfológicos, fotografias aéreas, imagens de satélite e as demais informações importantes da região. Em seguida é feita uma estimativa preliminar de unidades geotécnicas para, por fim, ser realizado um intenso trabalho de campo de reconhecimento de perfis e revisão dos limites cartográficos estabelecidos previamente.

Conforme Davison Dias (1995), a partir do mapeamento geotécnico proposto é possível estimar características geotécnicas necessárias para o uso e ocupação do solo. Assevera a autora que *“baseado nesse mapeamento e determinação de características, são definidas cartas temáticas para as várias aplicações [...]”*.

Como exemplos da utilização da metodologia da UFRGS-UFSC podem ser citados os seguintes trabalhos desenvolvidos principalmente no sul do país:

Burkert Bastos (1991) apresenta a carta geotécnica para o município de Porto Alegre, identificando por ensaios de laboratório o comportamento geotécnico dos solos de unidades geotécnicas com substrato granítico.

Trevisan Santos et al. (1996) trabalharam com o mapeamento geotécnico na avaliação do comportamento mecânico dos solos de Florianópolis (SC) com o objetivo de estabelecer diretrizes para ocupação do solo e a orientação para soluções de problemas geotécnicos em obras de Engenharia de baixo custo.

Burkert Bastos e Alves (1996) procederam com mapeamento geotécnico da Planície Sul do Rio Grande do Sul, visando fornecer subsídios ao macro planejamento do uso e ocupação regional e para anteprojetos de obras de engenharia.

Davison Dias et al. (1996a) realizaram o mapeamento geotécnico da região metropolitana de Porto Alegre (RS), com vistas ao planejamento do uso e ocupação do solo.

Burkert Bastos et al. (1998) executaram a carta geotécnica de Porto Alegre para o Atlas Ambiental daquela cidade.

Davison Dias et al. (1996b) realizaram o mapeamento das unidades geotécnicas da Bacia do Itacorubi, em Florianópolis (SC). O mapeamento finalizava fornecer um diagnóstico preliminar sob o ponto de vista de obras de Engenharia e da ocupação urbana.

Valente (1999) ainda cita outros exemplos da aplicação da metodologia: o estudo realizado por Orlandini (1991) para os municípios de Novo Hamburgo e Campo Bom (RS); o mapa de estimativa de unidades geotécnicas do norte do Rio Grande do Sul elaborado por Davison Dias e Milititsky (1994); e o estudo geotécnico na área de abrangência da formação geológica Rosário do Sul, desenvolvido por Pinheiro (1991).

A metodologia do LAMGEO (UFRGS-UFSC), pela amplitude de aplicação no Rio Grande do Sul, e por ser baseada em mapas pedológicos e mapas geológicos pré-existentes, foi escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho.

### 3.3 DADOS GEOTÉCNICOS

Entre as fontes de dados aplicáveis ao mapeamento geotécnico, as prospecções geotécnicas do subsolo para realização de obras civis, devido ao seu largo emprego nas zonas urbanas e conseqüente amplitude espacial, são comumente utilizadas como dado auxiliar na caracterização das unidades geotécnicas mapeadas, especialmente nos trabalhos que utilizam a metodologia do LAMGEO (UFRGS-UFSC).

Na grande maioria dos casos os problemas de engenharia são resolvidos através das sondagens de simples reconhecimento que, entre outros dados, informam: a espessura das camadas do subsolo até uma determinada profundidade, a descrição do solo de cada camada, sua compacidade ou consistência, cor e outras características perceptíveis, e a profundidade do lençol freático, artesianos ou suspensos. Entre os métodos de sondagem de simples reconhecimento, o *Standard Penetration Test (SPT)* é mais difundido no Brasil e, por conseqüência, de fácil obtenção.

A sondagem do tipo **SPT** é um dos procedimentos mais populares, rotineiros e econômicos de investigação do solo e do subsolo, servido como indicativo da densidade de solos granulares e na identificação da consistência de solos coesivos e rochas brandas. É aplicado rotineiramente no dimensionamento de fundações diretas e profundas em obras de engenharia e constitui-se



em uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. Ao realizar-se um ensaio desse tipo pretende-se conhecer: o tipo e características do solo atravessado, através do recolhimento de uma amostra representativa; a resistência ( $N_{SPT}$ ) oferecida pelo solo à cravação do amostrador padrão, a cada metro perfurado; e a posição do nível ou dos níveis de água, quando encontrados durante a perfuração (PEDRO e CHAMBEL, 2003).

O **SPT** (*Standard Penetration Test*) é um ensaio de penetração dinâmico que consiste em cravar no fundo de um furo de sondagem (revestido ou não), devidamente limpo, um amostrador padrão. Esta cravação é feita com o auxílio de um pilão, com 65 kgf. de peso, solto em queda livre a uma altura de 75 cm, sobre um batente que, por sua vez, está ligado a um conjunto de hastes, em cuja extremidade tem-se o amostrador padrão.

O ensaio é composto pela cravação do amostrador em três etapas. Na primeira, o amostrador é cravado 15 cm, registrando-se o número de golpes correspondente a esta penetração;. Na segunda fase, o amostrador é cravado mais 15 cm, e na última, os 15 cm finais do comprimento total de 45 cm do amostrador, registrando-se o número de golpes de cada uma. O parâmetro mais importante, o valor  $N_{SPT}$ , é dado pelo número de golpes necessário a cravação desses 30 cm finais do amostrador, isto é, pela soma dos registros da segunda e terceira fase. A cravação do amostrador deve ser interrompida quando se obtiver penetração inferior a 5 cm após dez golpes consecutivos ou quando o número total de golpes ultrapassar 50 num mesmo ensaio. Nestas condições, o material será considerado impenetrável ao SPT.

A normatização do ensaio **SPT** foi realizada em 1958 pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*), sendo, entretanto, comum em todo o mundo o uso de procedimentos não padronizados e equipamentos de diferentes padrões internacionais. Atualmente existem diversas normas nacionais com características distintas e um padrão internacional considerado como referência (*International Reference Test Procedure – IRTP / ISSMFE*). Na América do Sul a normatização norte americana ASTM D 1586-67 é utilizada com frequência, tendo o Brasil normatização específica: a NBR-6484/2001. A Figura 3.2 mostra o esquema de execução do **SPT**.

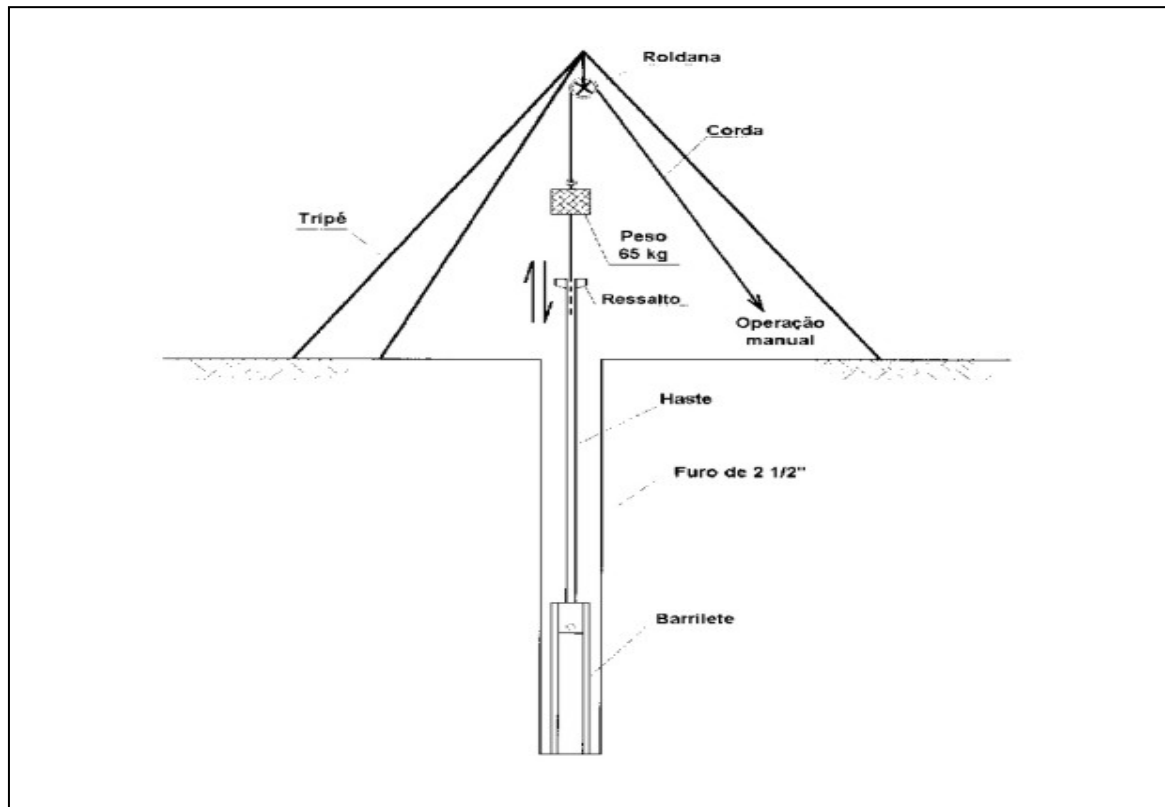


Figura 3.2 – Esquema de execução do ensaio SPT. Fonte: Pinto (2000)

## Capítulo 4 - GEOPROCESSAMENTO

---

### 4.1 GENERALIDADES

Geoprocessamento, cujo termo se refere ao processamento de dados geográficos, ou dados georreferenciados (que possuem como um de seus atributos a localização geográfica), é segundo Valente (1999) “o conjunto de tecnologias capazes de realizar a coleta, o processamento e a manipulação de informações espaciais, seus cruzamentos, análises e produtos”.

Câmara e Davis (2003) definem o geoprocessamento como a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, e que tem nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), suas ferramentas computacionais.

Segundo Rodrigues (1993 apud VALENTE, 1999), o termo geoprocessamento engloba vários sistemas que tratam diferentemente as informações espaciais, tais como os sistemas de digitalização, sistemas de conversão de dados, sistemas de informações geográficas, de modelagem digital de terreno e os sistemas de processamento e classificação digital de imagens.

Mas, conforme Moura (2005), para maioria dos autores da área, em síntese, geoprocessamento engloba o processamento digital de imagens, a cartografia digital e os sistemas de informações geográficas.

O geoprocessamento resultou da evolução tecnológica em diversos campos correlatos, tais como: a topografia, que possibilitou o surgimento de modelos numérico de terreno (MNT); a cartografia digital; a computação gráfica, que deu origem a sistemas CAD (*Computer Aided Design*), a programas de processamento digital de imagens e a sistemas de informações geográficas; e os sistemas de gerenciamento de bancos de dados – SGBD (PEREIRA, 2002).

Das diversas tecnologias que envolvem o geoprocessamento, trataremos daquelas que fazem parte da metodologia proposta, quais sejam: sistemas de informações geográficas, processamento digital de imagens e modelo digital de terreno.

Nos anos 50, na Inglaterra e Estados Unidos, aconteceram as primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais, com o objetivo principal de reduzir custos operacionais de mapeamento. Mas os primeiros SIGs surgiram no Canadá, na década de 60, como parte de um programa governamental para criar um inventário dos recursos naturais (CÂMARA E DAVIS, 2003). Com barreiras na área de hardware e mão de obra especializada, somente na década de 70, através da criação de novos e mais acessíveis recursos de hardware, é que se tornou possível o desenvolvimento de sistemas comerciais. Nesta mesma época houve o surgimento dos primeiros sistemas comerciais CAD, que melhoraram a produção de desenhos e plantas para engenharia e que foram a base para os primeiros sistemas de cartografia automatizada. Mas foi a partir da década de 80 que a tecnologia dos SIGs iniciou um acelerado período de crescimento, que vem até os dias atuais (CÂMARA e DAVIS, 2003).

## 4.2 TIPOS DE DADOS EM GEOPROCESSAMENTO

Conforme Câmara e Davis (2003) os dados utilizados em geoprocessamento dividem-se em:

- a) Temáticos: dados que descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, tais como os mapas de pedologia, geologia, uso e aptidão dos solos, entre outros;
- b) Cadastrais: são aqueles em que cada um dos seus elementos é um objeto geográfico, com diferentes atributos, e que podem estar associados a variadas representações gráficas. São exemplos de dados cadastrais, em diferentes escalas, os países, estados, cidades e bairros, aos quais estão associados atributos tais como população e renda.
- c) Redes: referente a um modelo geográfico concebido como um conjunto de pontos no espaço (chamados de nós), conectados por linhas (chamadas de arcos), onde tanto os nós como os arcos possuem atributos e em geral estão associados a informações de serviços de utilidade pública (tais como redes de água, luz, esgoto e telefone), redes de drenagem, rodovias, etc. As redes constituem *grafos* orientados que armazenam informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas.

d) Modelos numéricos de terreno (MNT): referentes à representação quantitativa de uma grandeza que varia de forma contínua no espaço, os MNT são comumente associados à altimetria, mas também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas ou propriedades dos solos. Podem ser definidos como um modelo matemático que reproduz uma superfície a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos  $(x, y)$ , em um referencial qualquer, com atributos denotados em  $z$ , que descrevem a variação contínua da superfície.

e) Imagens: obtidas por sensores ativos e/ou passivos (que só recebem ou emitem e recebem energia eletromagnética) instalados em satélites ou aerotransportados. As imagens representam formas de capturas indiretas de informação espacial. Armazenados como matriz cada elemento de uma imagem (pixel) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre imageada.

Para representar os diferentes tipos de dados utilizados no geoprocessamento, os SIGs utilizam-se de duas grandes classes de representações geométricas, a saber:

(i) Representação vetorial: na qual qualquer entidade geográfica ou elemento gráfico de um mapa é reduzido a três formas básicas: pontos, linhas e áreas ou polígonos;

(ii) Representação matricial: consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual é construído, célula a célula, o elemento que está sendo representado. Cada célula recebe um código referente ao atributo estudado, de tal forma a associar os elementos ou objetos às células (CÂMARA E DAVIS, 2003).

Câmara e Davis (2003) ressaltam que cada uma destas representações está associada aos tipos de dados anteriormente citados, sendo assim:

a) Dados temáticos: admitem tanto a representação matricial quanto a vetorial;

b) Dados cadastrais: os dados gráficos são armazenados como vetores e os atributos sob a forma de tabela, interna ou externamente a um banco de dados;

c) Redes: graficamente é armazenada sob a forma vetorial, com a topologia arco-nó, e os atributos não gráficos, da mesma forma que os dados cadastrais, são armazenados em tabelas;

d) Imagens de sensoriamento remoto: são armazenadas sob a forma matricial;

e) Modelos numéricos de terreno: podem ser armazenados sob a forma de grades regulares (representação matricial), grades triangulares (representação vetorial com topologia arco-nó) ou isolinhas (representação vetorial sem topologia).

### 4.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Segundo Piumetto (2006), existe uma grande quantidade de definições de sistemas de informações geográficas, muitas delas com orientações distintas, conforme a importância que os autores dão aos diferentes aspectos desta tecnologia. Assim, são encontradas definições mais orientadas às **funcionalidades** dos SIGs, como a de Clarke (1986 apud PIUMETTO, 2006), que define SIG como sendo um sistema computadorizado para a captura, armazenamento, recuperação e análise de dados espaciais. Outros autores orientam suas definições às **bases de dados**, como, por exemplo, a de Aronoff (1989 apud PIUMETTO, 2006) que define SIG como um conjunto de procedimentos manuais ou computadorizados para armazenar e tratar dados referenciados geograficamente. Por fim, existem aqueles que definem os SIG desde o **ponto de vista das organizações**, tal como Cowen (1988 apud PIUMETTO, 2006), segundo o qual SIG é um sistema de ajuda a decisão que integra dados referenciados espacialmente em um contexto de resolução de problemas.

Não obstante estas serem apenas algumas das diversas definições de SIG que se pode encontrar, existem elementos comuns de importância nas definições, quais sejam: a) é um sistema de informação, composto por *hardware*, *software*, dados, procedimento e recursos humanos, destinados a dar suporte aos processos de decisões; b) trabalha com uma base de dados que possui informações espaciais; c) conta com funções especiais de captura, armazenamento, transformação, modelagem, análise e apresentação de dados espaciais, para a solução de problemas de natureza geográfica (PIUMETTO, 2006).

As diferentes visões do que seja um SIG são antes convergentes do que conflitantes e, cada uma a sua maneira, retratam a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia, apontando para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização (INPE, 2006).

De forma genérica, o termo sistema de informações geográficas (SIG), conforme Câmara (2005), é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. O autor esclarece que a principal diferença entre um SIG e um sistema de

informações convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos.

Muzzarelli et al. (1993 apud MOURA, 2005) observam a rápida difusão dos SIG, conduzidas por

*um crescente interesse no território do ponto de vista geográfico, urbanístico e ambiental, sobretudo com a conscientização a respeito de suas limitações” e “uma maior necessidade de informações, asseguradas pelo desenvolvimento tecnológico com uma relação custo/benefício mais vantajosa.*

Valente (1999), afirma que entre os principais objetivos de um SIG, devem ser ressaltados:

- a) a integração numa única base de dados de informações distribuídas espacialmente oriundas de mapas temáticos, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, modelos numéricos de terreno (MNT), dados censitários entre outros;
- b) cruzamento das informações existentes no sistema, por meio do uso de algoritmos de manipulação, gerando mapeamentos derivados, segundo modelos pré-estabelecidos;
- c) realização de consultas, saídas gráficas e visualização do conteúdo de base de dados geocodificados.

Entre os vários recursos de um SIG cabe destacar que ele deve ser capaz de trabalhar com relações topológicas, ou seja, com estruturas geométricas que manipulam relações como vizinhança, conexão e pertinência (MOURA, 2005).

O SIG, conforme Câmara (2005), é composto de:

- a) Interface: nível mais próximo do usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado;
- b) Entrada e integração de dados: possui os mecanismos para conversão de dados;
- c) Consulta e análise espacial: incluem os algoritmos de operações topológicas, álgebra de mapas, estatística espacial, modelagem numérica de terreno e processamento digital de imagens;
- d) Visualização e plotagem: mecanismos que dão suporte adequado à apreensão cognitiva dos aspectos relevantes dos dados;

e) Sistema de gerência de bancos de dados geográficos: Em um nível mais interno do sistema, possibilita o armazenamento e recuperação de dados espaciais e seus atributos. A Figura 4.1 esquematiza a estrutura de um Sistema de Informações Geográficas.

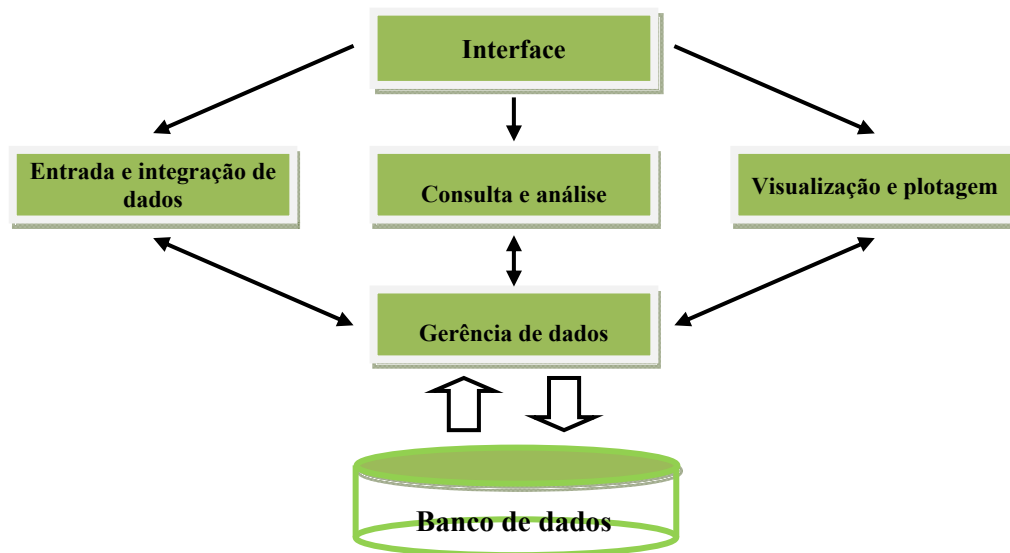


Figura 4.1 - Estrutura esquemática de um SIG. Adaptado de Câmara (2005).

Embora muitos autores classifiquem de forma separada SIG, modelagem numérica de terreno e processamento digital de imagens, como partes componentes de um sistema de geoprocessamento, muitos são os SIG que incluem os dois últimos como uma de suas ferramentas.

Segundo Gracinete Bastos (2005), o SIG é utilizado em mapeamento geotécnico essencialmente para auxiliar na elaboração das cartas e em algumas análises geotécnicas (estatísticas, paramétricas e determinísticas). Embora essa afirmação seja parcialmente correta, deixa de fora importantes recursos e aplicações de um SIG na área da Geotecnia, como por exemplo, o armazenamento e integração de dados geográficos e seus atributos, que permitem diferentes visualizações, interpretações e análises.

Diversos são os trabalhos que associam SIG ao mapeamento geotécnico, citamos, apenas de modo a exemplificar, os seguintes autores:

Valente (1999) trabalhou uma metodologia para a integração de dados por meio de geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana, tendo como estudo de caso a cidade de Porto Alegre (RS).



Higashi e Davison Dias (2004) trabalharam com a implantação de um banco de dados georreferenciado com informações pedológicas e geotécnicas de perfis típicos de alteração do Planalto Riograndense do Sul.

Davison Dias et al. (2002), empregaram SIG para implantação de um sistema de informações geotécnicas no norte do Rio Grande do Sul.

Valério Filho et al. (2004), utilizou-se de SIG para o monitoramento do crescimento urbano em áreas de risco à erosão na bacia hidrográfica do Rio Pararangaba.

Souza (2000) utilizou-se de SIG para o zoneamento geotécnico do município de Feira de Santana (BA).

Mafra Jr. (2007), elaborou o mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque (SC), associado a um banco de dados geotécnico em ambiente SIG.

#### **4.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

Por processamento digital de imagens entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e saída do processo sejam imagens com melhor aspecto visual, com destaque a determinadas características, de forma a fornecer subsídios a sua interpretação, gerando inclusive produtos que possam posteriormente ser submetidos a outros processamentos (INPE, 2006).

O processamento digital de imagens pode ser dividido em três etapas independentes: pré-processamento, realce e classificação.

O pré-processamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído.

As técnicas de realce, em especial o contraste, visam melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano e normalmente são utilizadas como etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimentos de padrão.

As técnicas de classificação dividem-se em: classificação supervisionada (por pixel) e classificação não supervisionada (por regiões) (INPE, 2006). Segundo Valente (1999) os sistemas de classificação digital “constituem-se no uso de algoritmos capazes de reconhecer

*pixels espectralmente similares de uma imagem digital. Assim, cada pixel é associado a um rótulo ou tema, identificando as diversas classes ou tipos de cobertura da superfície terrestre*”. Pode ser feita ainda uma interpretação direta sobre uma imagem realçada, sem o uso de algoritmos de classificação, e com isso uma classificação visual da imagem.

Os algoritmos de classificação de imagem são em geral desenvolvidos para o uso em imagens multiespectrais registradas por satélites, e tem se mostrado como uma valiosa técnica para a extração de dados destinados às várias aplicações de pesquisa de recursos naturais.

Para estudos urbanos, o uso de fotografias aéreas está claramente consolidado há décadas, e é defendido por vários autores, como Welch (1982) e Kurkdjian e Li (1989 apud NAKAMURA e NOVO, 2005), como imprescindíveis, em virtude de sua excelente resolução espacial, nesse tipo de estudos.

Mas no que tange ao estudo do crescimento urbano, as fotografias aéreas, devido ao elevado custo de aquisição, quando usadas de forma isolada, não se constituem numa fonte de dados adequada. Isto porque a acelerada velocidade de crescimento das grandes e médias cidades torna necessária a obtenção de dados em intervalos de tempo cada vez menores.

Logo, as imagens orbitais de média e alta resolução tornaram-se uma excelente fonte de informações, quando considerado seu custo em relação às fotografias aéreas, e os curtos períodos de revista dos diversos sensores transportados por satélites.

Para Valente (1995) o desenvolvimento das técnicas de processamento digital de imagens de satélite tem permitido realçar e detectar as alterações sofridas no contexto urbano e, conseqüentemente, viabilizam a extração de um volume maior de informações do que a simples análise visual sobre a imagem original. Os dados obtidos através de sensores orbitais permitem, graças à sua repetitividade e resoluções espaciais e espectrais, captar as tendências de expansão das áreas urbanas com boa precisão, registrar periodicamente as relações indiretas entre os fenômenos urbanos e seu ambiente regional, e identificar o desenvolvimento urbano em locais inadequados (FORESTI et al., 1989 apud VALENTE, 1995).

#### 4.5 MODELO NUMÉRICO DE TERRENO (MNT)

Um modelo numérico de terreno (MNT) ou modelo digital de terreno (MDT) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real (INPE, 2006). Burrough (1986 apud INPE, 2006) destaca alguns usos do MNT:

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

A modelagem digital de terreno, segundo Valente (1999), permite a geração do modelo tridimensional do terreno com o auxílio de técnicas de interpolação, a geração de mapas de contorno (isolinhas) e de declividade, a visualização da cena tridimensional, o cálculo de volumes e a elaboração de cortes transversais para análise de perfis.

No processo de modelagem digital de terreno, podem-se distinguir três fases: aquisição de dados (amostragem por pontos ou por isolinhas), modelagem ou geração de grades (regular ou triangular) e elaboração de produtos (imagens, declividades, fatiamentos, isolinhas, perfis, cálculos de volume, visualizações 3D).

A amostragem corresponde à aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno de interesse. Em geral, tais amostras estão representadas por curvas de isovalores e pontos tridimensionais. A modelagem diz respeito à criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. As aplicações são procedimentos de análise executados sobre os modelos, e podem ser qualitativas, tais como a visualização se usadas projeções geométricas planas, ou quantitativas, tais como cálculo de volumes e geração de mapas de declividade (CÂMARA e FELGUEIRAS, 2003).

### 4.5.1 Amostragem

A aquisição de amostras é umas das tarefas mais importantes na geração de um MNT. Uma amostragem não pode ser insuficiente (subamostragem) e nem tão pouco redundante (superamostragem), a primeira leva a geração de modelos pobres e a superamostragem sobrecarrega o sistema com dados em geral desnecessários e não representativos. A amostragem deve ser representativa do comportamento do fenômeno modelado, devendo ser considerada tanto a quantidade quanto o posicionamento da amostra em relação a este. Uma superamostragem de altimetria em uma região plana significa redundância de informações, enquanto que uma subamostragem em uma região de relevo acidentado representa falta de informações (CÂMARA e FELGUEIRAS, 2003).

### 4.5.2 Modelagem

A modelagem envolve a criação de estrutura de dados e a definição de superfícies de ajuste para os elementos dessa estrutura. Para modelos digitais de terreno as mais utilizadas são as de grade regular retangular e as de grade irregular triangular ou TIN (*Triangular Irregular Network*). O processo de geração do modelo compreende a construção de uma malha, regular ou irregular, e a definição de funções de interpolação para cada elemento da malha que é válida para seus pontos internos (CÂMARA e FELGUEIRAS, 2003).

**Modelo de Grade Regular:** Uma grade retangular é um poliedro de faces retangulares, gerado a partir da interpolação de pontos de altitude conhecida (CÂMARA e FELGUEIRAS, 2003; VALENTE, 2005). Este modelo pode ser gerado a partir de um conjunto de amostras regularmente ou irregularmente espaçadas.

Embora a grade retangular utilize a mesma quantidade de pontos para representar uma área irregular, é, segundo Burrough (1986 apud VALENTE, 2005), o modelo mais utilizado para geração de MNT, pois facilita a geração de isolinhas, o cálculo de declividades e o sombreamento digital do relevo.

O uso de grade retangular em SIG é recomendado por Moore et al. (2003 apud VALENTE, 2005), pois facilita a integração dos dados topográficos gerados no MNT com outros tipos de dados. Rosim et al. (1993 apud VALENTE, 2005) destacam também como vantagem da

grade regular a determinação dos espaçamentos horizontais e verticais, que permitem o refinamento da malha regular por meio da aplicação de um interpolador, de forma a gerar uma grade mais densa.

**Modelo de Grade Irregular:** Uma grade irregular triangular é um poliedro de faces triangulares (CÂMARA e FELGUEIRAS, 2003). Neste modelo os pontos amostrais são conectados por linhas para formar triângulos, desta forma, e diferentemente das grades retangulares, os valores das cotas dos vértices dos triângulos não precisam ser estimados por interpolação.

A Tabela 4.1, adaptada de Câmara e Felgueira (2003), apresenta as principais diferenças entre os modelos de grade regular e irregular.

Tabela 4.1 – MNT - diferenças entres os modelos de grade regular e irregular

GRADE REGULAR RETANGULAR	GRADE IRREGULAR TRIANGULAR
Apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo	Não apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo
Os vértices dos retângulos são estimados a partir das amostras	Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto amostral
Apresenta problemas para representar superfícies com variações locais acentuadas	Representa de forma melhor superfícies não homogêneas com variações locais acentuadas
Estrutura de dados mais simples	Estrutura de dados mais complexa
Relações topológicas entre os retângulos são explícitas	É necessário identificar e armazenar as relações topológicas entre os triângulos.
Mais utilizado em aplicações qualitativas e para análises multiníveis no formato “raster”	Mais utilizada em aplicações quantitativas.

#### 4.5.3 Análises sobre Modelos Numéricos de Terreno

Os modelos numéricos de terreno podem ser utilizados para uma série de análises qualitativas e quantitativas, e gerar produtos derivados para diversas aplicações.

Os modelos permitem, entre outras aplicações, visualizações em projeção geométrica planar; gerações de imagens em nível de cinza, imagens sombreadas e imagens temáticas; cálculo de volumes de aterro e corte; análises de perfis sobre trajetórias definidas; mapeamentos derivados, tais como: mapas de declividade e exposição, mapas de drenagem, mapas de curvas de nível e mapas de visibilidade (CÂMARA e FELGUEIRAS, 2003).

## Capítulo 5 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

---

### 5.1 GENERALIDADES

Pelotas, o terceiro município mais populoso do Estado do Rio Grande do Sul, situa-se na Zona Sul do estado, sendo a cidade mais populosa desta região. Com 343.167 habitantes possui, conforme o IBGE (2008), uma densidade demográfica urbana de 10.576,13 hab/km<sup>2</sup> e rural de 13,46 hab/km<sup>2</sup>. De 1970 a 2004 a população rural decresceu 59,79% e a urbana cresceu 104,88%, atingido um índice de urbanização de 93,43%

(Tabela 5.1 e Tabela 5.2).

Tabela 5.1 - Evolução populacional (IBGE, 2006).

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

Tabela 5.2 - Indicadores populacionais (IBGE,2006).

TAXA DE CRESCIMENTO	1970/1980	1980/1990	1990/2000	2000/2004
População Urbana	32,27%	12,30%	30,84%	5,73%
População Rural	3,96%	-2,18%	-40,93%	-3,41%
GRAU DE URBANIZAÇÃO	76,63%	79,89%	87,06%	93,43%

Com 1.609 km<sup>2</sup> de área, o município é dividido territorial e politicamente em nove distritos: Z3, Monte Bonito, Cascata, Cerrito, Quilombo, Rincão da Cruz, Triunfo, Santa Silvana e Distrito Sede, este último correspondendo á área urbana do município (Figura 5.1).

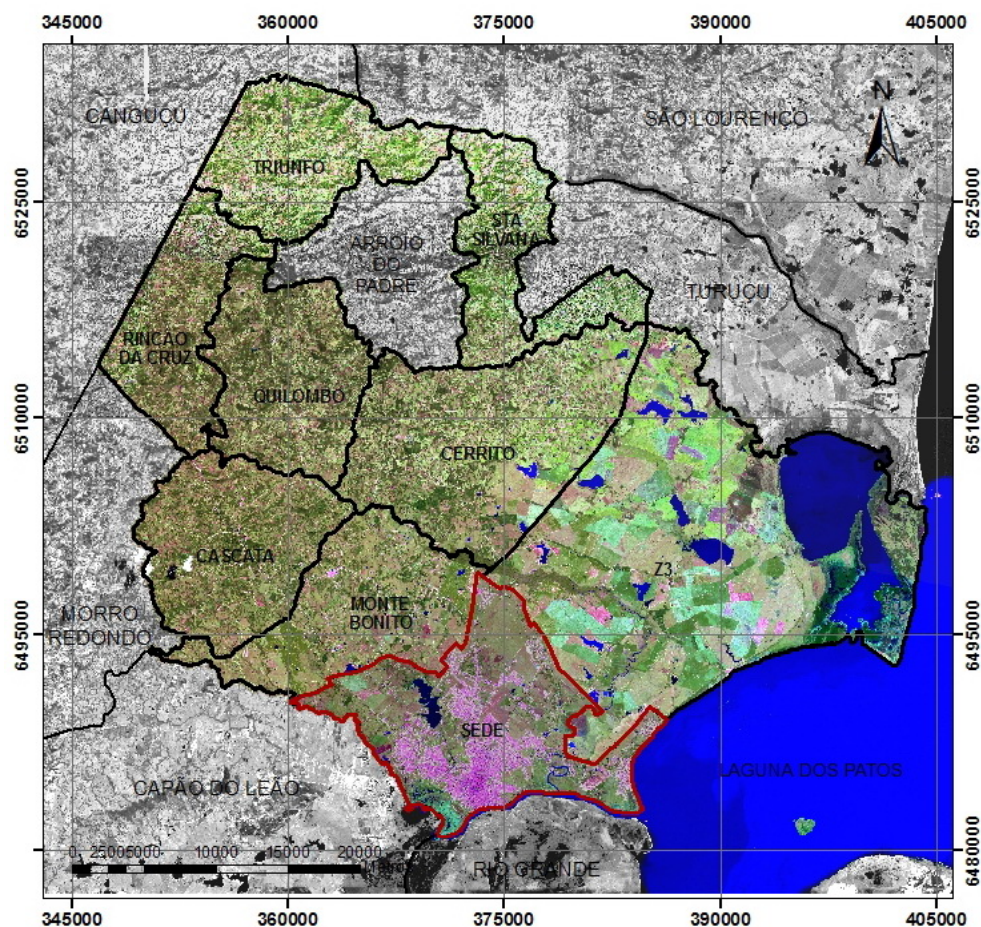


Figura 5.1 - Município de Pelotas e seus distritos (mapa elaborado pelo autor).

A história do município começa em junho de 1758, através da doação que Gomes Freire de Andrade, Conde de Bobadela, fez ao Coronel Thomaz Luiz Osório, das terras que ficavam às margens da Lagoa dos Patos. Em 1763, fugindo da invasão espanhola, muitos habitantes da Vila de Rio Grande buscaram refúgio nas terras pertencentes à Thomáz Luiz Osório. Mais tarde, vieram também os retirantes da Colônia do Sacramento, entregue pelos portugueses aos espanhóis em 1777. Em 1780, o cearense José Pinto Martins, às margens do Arroio Pelotas, instalou a primeira charqueada em território riograndense (IBGE, 2009).

E foi justamente essa páleo-indústria que trouxe o desenvolvimento para a região. A prosperidade gerada por ela, justificada pela sua localização e pela facilidade na aquisição de matérias primas, levou outros comerciantes a estabelecerem mais charqueadas nas margens do Arroio Pelotas e do Canal São Gonçalo. Essa ligação com os cursos d'água e a conseqüente facilidade na exportação das produções, segundo diversos historiadores, levaram a prosperidade das charqueadas pelotenses em relação às demais charqueadas do Estado.



O povoado desenvolveu-se rapidamente, o que determinou a fundação, em 1812, da Freguesia de São Francisco de Paula, por provisão eclesiástica de 7 de julho, desmembrada de São Pedro do Rio Grande. Em virtude do progresso verificado, a freguesia foi elevada à categoria de Vila em 1830 e instalada em 2 de maio de 1832. Finalmente, a vila de São Francisco de Paula foi elevada à categoria de cidade, pela Lei Provincial n.º 5, de 27 de junho de 1835, alterando sua denominação para Pelotas, nome que faz referência as embarcações de varas de corticeira forradas de couro, usadas para a travessia dos rios na época das charqueadas (IBGE, 2009).

## 5.2 BIODIVERSIDADE

Considerando biorregião como o espaço geográfico que abriga integralmente um ou vários ecossistemas, a de Pelotas está inserida em duas regiões geomorfológicas e fitoecológicas bem distintas e com características próprias, nas quais os ecossistemas apresentam íntima relação com as características estruturais, tectônicas e estratigráficas do meio físico.

A zona urbana do município está situada na província geomorfológica da Planície Costeira, a qual se caracteriza por apresentar uma extensa planície litorânea sedimentar que constitui a parte emersa da Bacia de Pelotas, associada a um vasto complexo lagunar, onde se desenvolveu o ecossistema/bioma de restinga ou a formação denominada Áreas de Formação Pioneira (SANTOS DA SILVA, 2007) (Figura 5.2)



Figura 5.2 - Banhado natural (primeiro plano) e zona urbana (ao fundo), inseridos na planície costeira. Fonte: Schlee e Cimara, 2004.



Parte da zona rural do município (Figura 5.3), por sua vez, se insere na formação geológica conhecida como Escudo Cristalino, na porção correspondente à Serra do Sudeste. Esta região pertence ao Domínio Morfoestrutural dos Embasamentos, o qual se refere aos grandes maciços de rochas cristalinas do período pré-cambriano.



Figura 5.3 - Zona rural na área do Escudo (primeiro plano) e vista da planície onde se localiza a zona urbana (ao fundo). Fonte: Schlee e Cimara, 2004.

O Bioma de Restinga se constitui por um conjunto de vegetação heterogênea formada por complexos mosaicos de comunidades vegetais, quer herbáceas, arbustivas, arbóreas e epifíticas, que compõem os principais ecossistemas formadores da Restinga Litorânea: Matas de Restinga Arenosa, Matas de Restinga Paludosas, Banhados, Campos Arenosos Secos e Campos Arenosos Úmidos (SANTOS DA SILVA, 2007). (Figura 5.4).



Figura 5.4 - Mata de restinga e banhado. Fonte: Schlee e Cimara, 2004.

### 5.3 CLIMA

O clima de Pelotas é subtropical úmido, sem estação seca, com inverno fresco e verão suave. Por estar localizada na região litorânea, recebendo, principalmente, ventos do quadrante leste, apresenta forte influência marítima, que se manifesta na elevada umidade atmosférica e na suavização da temperatura, tanto no inverno quanto no verão (ROSA, 1985).

A temperatura média anual da área urbana do município é de 17,5°C, sendo janeiro o mês mais quente, com temperatura média de 23°C, e julho o mês mais frio, com média de 12°C. A amplitude térmica diária geralmente é moderada, entre 8 e 9°C. Situado entre 31° e 32° de latitude sul, Pelotas está dentro da faixa de altas pressões de latitudes médias, e apresenta assim, principalmente no outono, um estado atmosférico anticiclônico, com ar descendente e estável, dias luminosos sem nuvens e noites frias (SANTOS DA SILVA, 2007).

A precipitação média anual, medida entre os anos 2000 e 2004, foi de 1.703,94 mm, com chuvas regularmente distribuídas durante todo o ano. A quantidade de chuva aumenta para o interior do município e na direção norte. As precipitações mais reduzidas na área costeira devem-se às influências estabilizadoras das baixas temperaturas marítimas. Já no interior do município, o relevo com maiores altitudes retém os ventos úmidos do oceano, provocando turbulência do ar e um maior índice de chuvas.

De maio a agosto predominam os ventos de sudoeste, e nos demais períodos do ano os ventos de nordeste. Em todas as estações do ano o município sofre influência da massa de ar tropical atlântica, de características marinhas e cujos níveis inferiores se umidificam rapidamente. Durante o verão, Pelotas sofre a influência da massa de ar equatorial continental que, ascendendo sobre as cunhas frias do ar polar, produz chuvas frontais com trovoadas. A velocidade média anual dos ventos é de 11 km/h, sendo que os valores mais altos ocorrem ao longo da costa, no Laranjal e no Centro. Nos demais períodos podem ocorrer vendavais, associados com atividades conectivas em massas de ar tropical, dando origem a tempestades de maior intensidade (SANTOS DA SILVA, 2007).

## 5.4 HIDROGRAFIA

Conforme a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM do Ministério das Minas e Energia, a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo está inserida na área de drenagem do Atlântico Sudeste, denominada de Bacia 8 no Atlas Hidrológico ANEEL/SRH, estendendo-se ao longo do litoral brasileiro, desde a divisa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, entrando em território do Uruguai (RODRIGUES FILHO, 1998) (Figura 5.5).



Figura 5.5: Divisão das bacias hidrográficas brasileiras e sub-bacias do sul.  
Fonte: Adaptado de Rodrigues Filho (1998).

Um dos principais aspectos da hidrografia de Pelotas é o fato do município estar situado às margens do Canal São Gonçalo, que liga as lagoas dos Patos e Mirim. Com 10.144 km<sup>2</sup> e 2.966 km<sup>2</sup> respectivamente, as lagoas dos Patos e Mirim são as maiores do Brasil e suas bacias contribuintes recebem 70% do volume de águas fluviais do Estado do Rio Grande do Sul (SANTOS DA SILVA, 2007).

Entendendo-se uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem de um curso/corpo de água como a porção de um território que faz a drenagem da água das chuvas para esse curso/corpo de água e seus afluentes, são identificadas no município de Pelotas sete principais bacias fluviais: Arroio Turuçu, Corrientes, Contagem, Pelotas, Moreira/Fragata, Santa Bárbara e Costeira/Laranjal. (Figura 5.6). Além destas, na zona urbana existe uma pequena bacia que drena as águas fluviais para um canal com 5 km de extensão: a Bacia do Pepino.

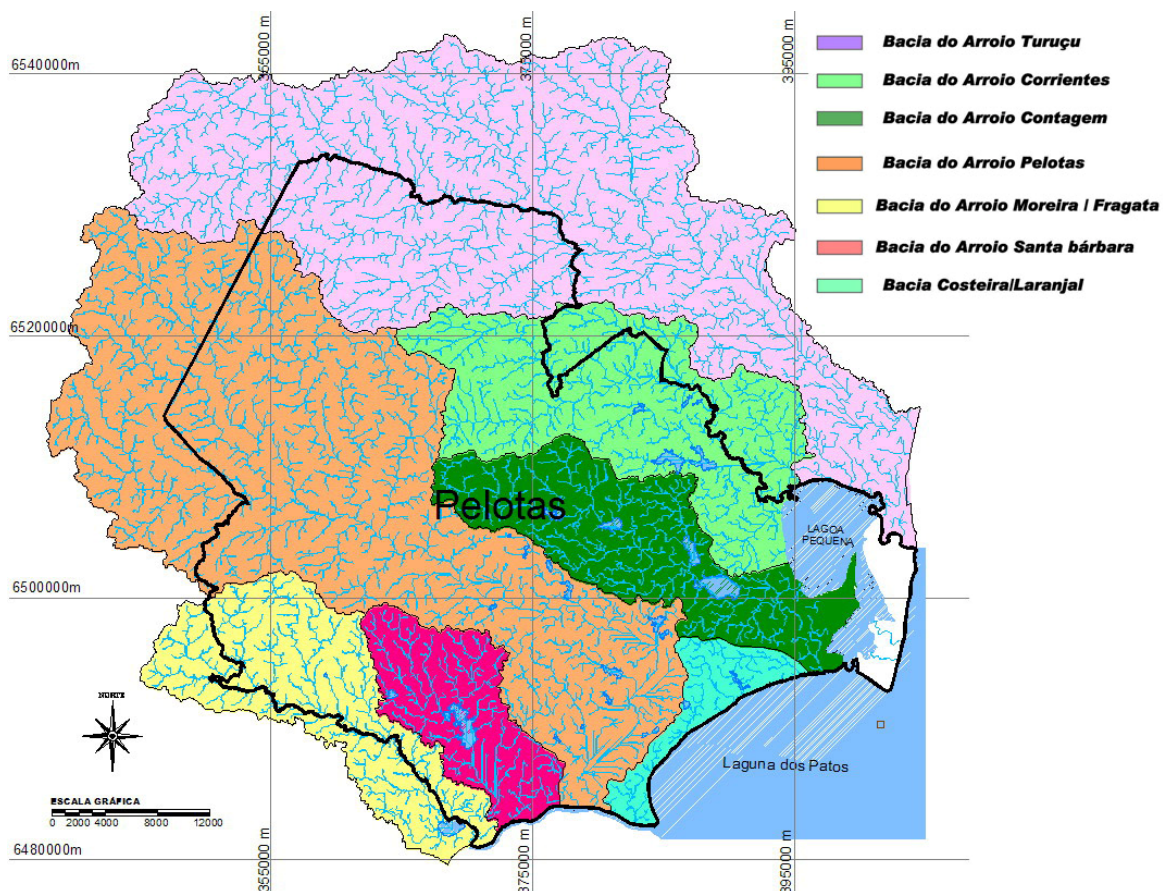


Figura 5.6 - Bacias hidrográficas de Pelotas. Fonte: PMPel, 2009 (reformatado pelo autor).

Segundo Santos da Silva (2007), a hidrologia do município associa-se às condições geológicas, topográficas, climáticas e botânicas. A geologia de sedimentos permeáveis possibilita a formação de muitos lençóis de água subterrânea, o declive do relevo determina a direção geral oeste-leste dos principais cursos d'água, enquanto que o clima com chuvas moderadas e bem distribuídas explica, em parte, o regime regular das águas correntes.

A água subterrânea é explorada comercialmente pela Companhia de Saneamento de Pelotas (SANEP), que a utiliza para abastecimento na Região Administrativa do Laranjal. Na zona rural, o lençol freático é explorado largamente, tanto na região do Escudo (até 20 metros de profundidade) como na Planície Costeira (1 a 2 metros).

O Canal São Gonçalo, que faz a ligação entre a Lagoa Mirim ao sul e dos Patos ao norte, tem uma importância ímpar em vários aspectos socioeconômicos e ambientais para toda a região. É o único escoadouro da Lagoa Mirim, drenando, portanto, toda a carga hídrica do Complexo Hidrográfico Mirim. Até 1977, quando foi construída uma eclusa, havia problemas regulares



de salinização da Lagoa Mirim, tornando crítica à situação das lavouras de arroz irrigadas com suas águas.

Excetuando os grandes corpos lagunares (Patos e Mirim), as maiores lagoas da região são a Lagoa Pequena, com 61 km<sup>2</sup> a nordeste de Pelotas, e a Lagoa Formosa, ao sul.

A zona urbana do município está dividida em cinco bacias hidrográficas: Bacia do Pepino (com 28,26 km<sup>2</sup> - 14,71% do total), Bacia do Pelotas (com 61,42 km<sup>2</sup> - 31,99% do total), Bacia do Santa Bárbara (com 57,26 km<sup>2</sup> - 30% do total), Bacia do Moreira/Fragata (com 28,22 km<sup>2</sup> - 15% do total) e Bacia Costeira/Laranjal (com 17,48 km<sup>2</sup> - 9% do total) (Figura 5.7).

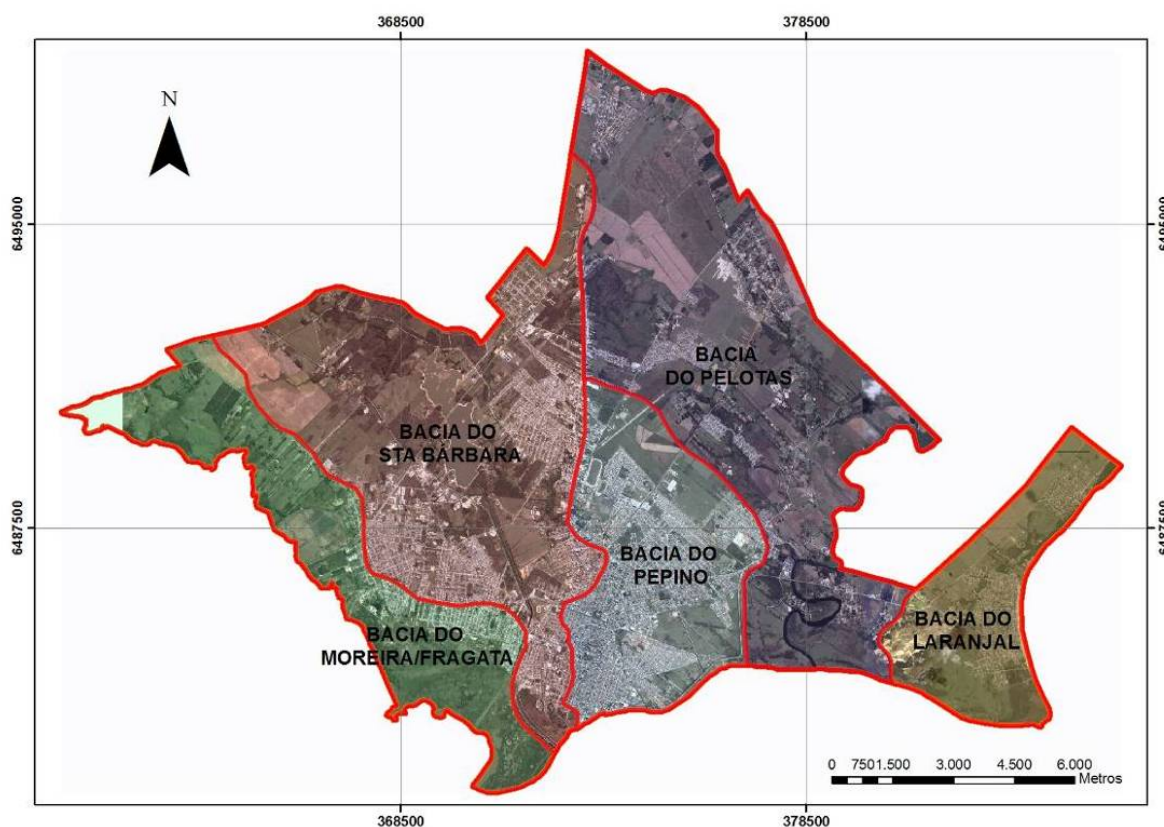


Figura 5.7 - Bacias hidrográficas urbanas de Pelotas.

## 5.5 DRENAGEM URBANA

Os sistemas de drenagem urbana (macro e microdrenagem) e de proteção contra enchentes de Pelotas estão diretamente relacionados às formas e altitudes do relevo urbano. A área urbana

encontra-se em uma altitude média de 7 metros acima do nível do mar e está limitada ao sul pelo Canal São Gonçalo, ao norte pelas superfícies dos terraços da Formação Graxaim, a oeste pela planície de inundação do Arroio Fragata e leste pela Laguna dos Patos. Os arroios Santa Bárbara, Pepino e Pelotas (afluentes do Canal São Gonçalo) constituem seus principais drenos naturais e compõe a rede de macrodrenagem da cidade (ROTARY, 2001).

A topografia plana da cidade, com poucos declives mesmo nas regiões mais altas, dificulta substancialmente o escoamento pluvial. Soma-se a isso a ocupação de áreas de baixas cotas altimétricas, a diminuição da infiltração natural dos solos devido à ocupação urbana, e a diminuição das áreas de banhado. Tem-se com isso um quadro de repetidos alagamentos por ocasião de chuvas intensas.

Na Figura 5.8 o mapa de relevo mostra as baixas cotas altimétricas da zona urbana (muitas delas próximas do nível das águas do Canal São Gonçalo), e uma geomorfologia formada basicamente por terraços planos.

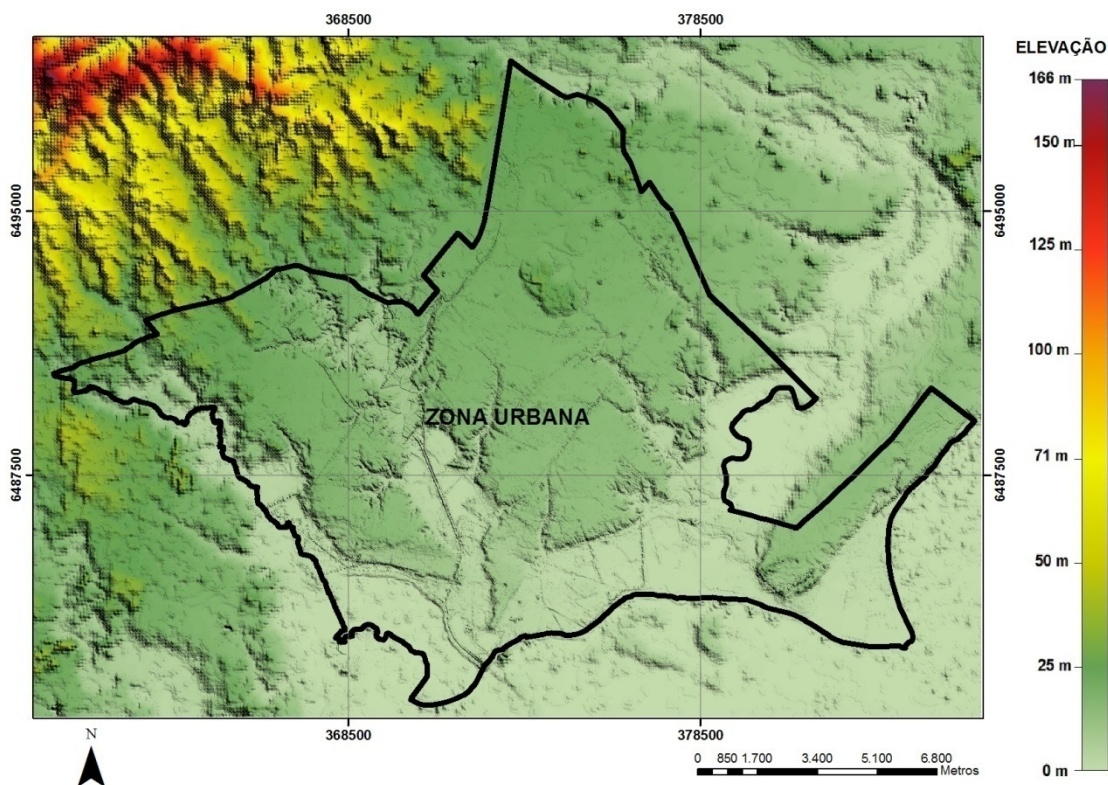


Figura 5.8 - Mapa altimétrico da zona urbana de Pelotas e entorno.

A ocupação das áreas baixas junto aos canais Santa Bárbara e São Gonçalo levou ao projeto e execução parcial, no período de 1940 a 1990, de um conjunto de obras que integram o Sistema de Drenagem e Proteção contra as Enchentes de Pelotas (Figura 5.9), que visam, principalmente, proteger a cidade das enchentes do Canal São Gonçalo. Trata-se basicamente, no nível de macrodrenagem, de um conjunto de *polders*, na forma clássica de áreas baixas protegidas por diques, localizados nas margens dos cursos d'água. A drenagem pluvial proveniente dos subsistemas de microdrenagem (rede primária e galerias) é feita através de estações de recalques nas áreas baixas, e por gravidade nas zonas altas, através de canais de refluxos, para os drenos principais de macrodrenagem. As comportas são fechadas e o sistema de bombeamento é acionado sempre que o nível d'água externo às áreas protegidas se apresente mais elevado, impedindo o escoamento por gravidade (ROTARY, 2001).



Figura 5.9 – Sistema de Drenagem e Proteção contra as Enchentes de Pelotas. Fonte: Rotary, 2001

Apesar destas medidas, os alagamentos em Pelotas são recorrentes, o que vem a demonstrar a fragilidade do sistema, sujeito a falhas, e, principalmente, a inadequação da ocupação de áreas baixas, sujeitas a alagamentos. Os maiores alagamentos registrados ao longo do tempo foram os dos anos de 1941, 1956, 1977, 1984 e, mais recentemente, nos anos de 2004 e 2009. A matéria jornalística de 2004, apresentada na Figura 5.10, mostra que a população pelotense convive há muito com os alagamentos e suas conseqüências, tais como perdas materiais e os problemas de saúde pública de veiculação hídrica.





Figura 5.10 - Manchete sobre inundações como fenômeno recorrente em Pelotas . Fonte: Diário Popular, 2004.

Outro fator que contribui para a ocorrência dos alagamentos é a diminuição, devido à ocupação urbana indisciplinada, dos drenos naturais de absorção das águas das chuvas representados pelas áreas de banhados.

Sendo um dos tipos de ambientes naturais incluídos na categoria de Áreas Úmidas, os banhados são áreas alagadas e vegetadas permanente ou temporariamente, conhecidos na maior parte do país como brejos, pântanos, pantanal, charcos, varjões, alagados, entre outros termos. De acordo com Ringuelet (1962 apud CARVALHO e OZÓRIO, 2007), os banhados são definidos como corpos d'água permanentes ou temporários, sem uma bacia bem definida, de contorno ou perímetro indefinido e sem sedimentos próprios, apresentando vegetação emergente abundante e poucos espaços livres.

Os banhados formam-se em regiões planas resultantes de sedimentação ou encordoamentos paralelos à linha de costa, onde a água doce é represada e flui lentamente. A água que os abastece provém de corpos hídricos próximos, como lagoas, lagoas, rios e/ou dos afloramentos do lençol freático e das precipitações pluviométricas. O padrão oscilatório natural das águas nos banhados alterna períodos de seca (verão), quando a água é evaporada total ou parcialmente, e períodos de cheia (inverno) decorrente das chuvas (CARVALHO e OZÓRIO, 2007).

A maioria dos banhados, em Pelotas, correspondem às várzeas (ou áreas de inundação natural) dos corpos d'água, e, afora constituírem ecossistemas de grande importância



ambiental, desempenham uma função primordial no controle das inundações por reterem e absorverem lentamente o excesso de pluviosidade causador das mesmas.

Disconzi et. al (2008) apontam os efeitos negativos da implantação do loteamento denominado Pontal da Barra, situado na Praia do Laranjal, no interflúvio da Barra do Canal São Gonçalo, entre a margem direita da Lagoa dos Patos e a margem esquerda do Canal São Gonçalo. Ao ocupar uma área de banhado, o referido loteamento não só prejudicou a drenagem das áreas contíguas urbanizadas, como foi afetado pela própria localização, sendo constantemente inundado por ocasião das grandes chuvas.

## **5.6 GEOMORFOLOGIA E RELEVO**

De acordo com o IBGE (2006), o município de Pelotas faz parte de dois dos quatro grandes Domínios Morfoestruturais do Brasil: os Depósitos Sedimentares Quaternários (costeiros) e os Cinturões Móveis Neoproterozoicos (do sudeste-sul), os primeiros formados por planícies e terraços de baixa altitude e os últimos por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanáticas. Os domínios morfoestruturais organizam a causa de fatos geomorfológicos, derivados de eventos geológicos de amplitude regional, sobre a forma de unidades geotectônicas, com a presença de uma ou mais classes de rochas dominantes.

A metade sudeste do município situa-se na Planície Costeira Gaúcha (ou Planície Costeira Sul-Brasileira) e a metade noroeste no Planalto Rebaixado de Canguçu (ou Planalto Sul-Riograndense) (IBGE, 2006). A maior parte do município possui altitudes inferiores a 100 metros. Nas zonas mais elevadas predominam altitudes entre 100 e 300 metros; excepcionalmente, no extremo noroeste, as altitudes são superiores a 300 metros, chegando, no máximo, em dois pontos, a pouco mais de 400 metros (ROSA, 1985).

A zona urbana de Pelotas encontra-se na Planície Costeira, e possui altitude média de 7 metros, em relação ao nível do mar, e segundo Rosa (1985) apresenta duas unidades de relevo distintas: os terraços e as várzeas, sendo que os primeiros correspondem às áreas de cotas altimétricas mais elevadas e os últimos às áreas mais baixas, constituídas de aluviões mal drenados.

Ainda segundo Rosa (1985), o município pode ser dividido em duas grandes regiões geomorfológicas: a área de planície e baixadas planas, que compõem um relevo sobreposto (Planície Costeira), e a área ondulada ou dobrada, que constitui um relevo tectônico (Escudo Sul-Riograndense). Na sua metade noroeste, Pelotas, segundo o autor, apresenta formas de borda de escudo e depósitos coluviais, ou de planalto cristalino dissecado, com fraturas com ou sem desnivelamento. Trata-se de um relevo estrutural de formas combinadas, no qual predomina a topografia do modelado cristalino representada por suaves ondulações. Na metade sudeste, junto ao Canal São Gonçalo e à Laguna dos Patos, situa-se a área plana e baixa do município, constituindo uma planície flúvio-lacustre com trechos de várzeas, especialmente as margens do Canal.

Sombroek (1969 apud CUNHA e SILVEIRA, 1996), divide o município em cinco grandes zonas de relevo, que são subdivididas em outras tantas unidades conforme os diferentes tipos de solo, as quais serão vistas mais adiante. As cinco zonas são (Figura 5.11):

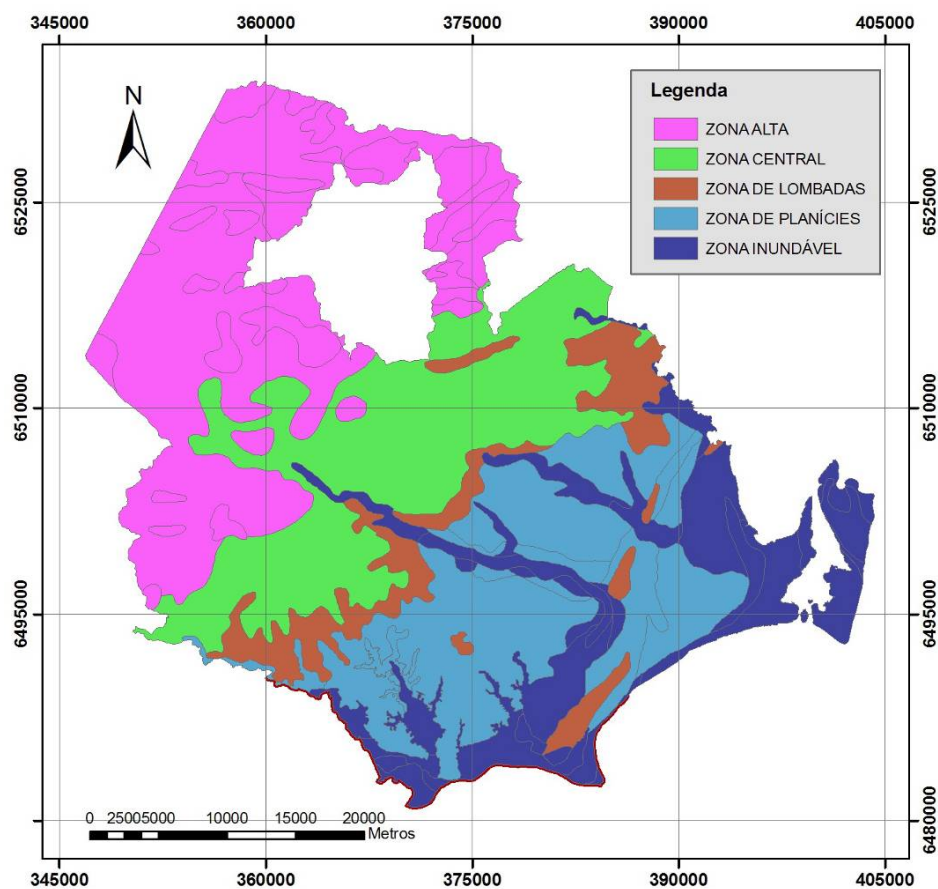


Figura 5.11 – Zonas de relevo no município de Pelotas/RS conforme Sombroek (1969 apud CUNHA E SILVEIRA, 1996).

**Zona Alta:** compreende as partes mais altas do relevo, comumente caracterizadas como serra, em cujo material de origem dos solos predominam as rochas cristalinas e metamórficas;

**Zona Central:** Compreende as partes do relevo ondulado menos uniformes que as da serra, com solos profundos, desenvolvidos de rochas cristalinas e metamórficas;

**Zona de Lombadas:** compreende as terras dos sedimentos mais antigos do Pleistoceno. Ocupa as partes mais altas da área sedimentar entre as coxilhas e as planícies, com solos diversos, variando entre bem drenados até mal drenados;

**Zona de Planície:** compreende as terras planas não inundadas, ao redor da Lagoa Pequena e da Laguna dos Patos, com solos mal drenados ou muito mal drenados, de qualidade variável. É formada por sedimentos do final do Pleistoceno;

**Zona inundável:** Compreende as terras de sedimentos holocênicos que estão, temporariamente ou permanentemente, inundadas por água de rios ou lagoas. São solos imperfeitamente drenados a muito mal drenados, com variáveis condições físicas ou químicas. A terra é plana, mas há um forte mesorrelevo.

## 5.7 GEOLOGIA

Na porção leste do Escudo Sul-Riograndense, que abrange uma superfície de 65.000 km<sup>2</sup>, se insere o Batólito de Pelotas, cuja estrutura resultou de uma longa evolução, conseqüente da adição de distintos processos tectônicos (FRAGOSO CÉSAR et al., 1986 apud MARTH et al., 2008), ocorridos durante o ciclo Brasileiro (750 Ma - 550 Ma). Conforme Philipp (1998 apud MARTH et al., 2008), o batólito possui ao longo de suas extensões seis suítes<sup>2</sup> granitóides (Suítes Intrusivas Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, e Suíte Granítica Cordilheira), contendo ainda exposições de rochas ígneas básicas e septos de rochas metamórficas encaixantes.

---

<sup>2</sup> O termo Suíte é recomendado para designar formações associadas, pertencentes à mesma classe, que tenham feições litológicas em comum (MARTH, 2008).

No município de Pelotas o Escudo Sul-Riograndense está representado pela Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, na qual se encontram rochas cortadas por diques (granitóides acinzentados) e xenólitos de rochas metamórficas (gnaisses), e pela Suíte Dom Feliciano, representada pelas fácies Serra do Erval e Cerro Grande (granitos rosados) (MARTH et al. 2008).

A porção sudeste do município, situada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul é mais recente e é formada por sedimentos arenosos essencialmente siliciclásticos terrígenos provenientes da erosão, entre o Cretáceo e o Neógeno, das rochas do Escudo Sul-Riograndense, apresentando concentrações biodetríticas relíquias e camadas de sedimentos de granulometria silte e argila (MARTH et al., 2008) .

Com o estabelecimento dos ciclos glaciais de 100 mil anos (SCHMIEDER et al., 2000 apud MARTH et al., 2008) descobriu-se que a partir do Pleistoceno Superior as oscilações glacioeustáticas promoveram o retrabalhamento sucessivo dos sedimentos da porção superficial da Bacia de Pelotas.

Conforme Marth (2008), seguindo metodologias mais recentes de estudos geológicos, pode-se compreender a estruturação da Planície Costeira em resposta às oscilações do nível do mar sob a forma de dois grandes sistemas deposicionais (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995): 1) Sistema de Leques Aluviais e 2) Quatro Sistemas Laguna-Barreira, sendo em Pelotas encontrados os leques aluviais e os três sistemas Laguna-Barreira mais antigos.

O sistema deposicional de Leques Aluviais ocorreu durante o máximo da regressão Pliocênica, quando o nível do mar situava-se, no mínimo, 100 metros abaixo do atual e, sendo assim, grande parte da plataforma adjacente teria sido coberta por sedimentos continentais depositados na forma de leques aluviais. Esse sistema está associado à encosta do Escudo Sul-Riograndense, decorrentes de processos gravitacionais e aluviais de transporte de material. Os sedimentos vão desde elúvios e colúvios até depósitos aluviais.

Os sistemas Laguna-Barreira se desenvolveram em resposta aos máximos transgressivos marinhos ocorridos há 400, 325, 123 e 6 mil anos atrás aproximadamente (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995).

O primeiro ciclo de transgressão-regressão (Sistema Laguna-Barreira I) foi responsável pela formação de uma barreira arenosa que isolou o Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, ao norte da Planície Costeira. Os ciclos subsequentes (Sistemas Laguna-Barreira II, III e IV) gradativamente isolaram o amplo Sistema Lagunar Patos-Mirim, em um processo de adição de ilhas-barreira paralelas. No final do Pleistoceno, uma grande regressão marinha ocasiona o entalhamento da rede fluvial com forte erosão de todas as formações (TAGLIANI, 2002).

O Sistema Laguna-Barreira II corresponde ao primeiro estágio na evolução da Barreira Múltipla Complexa cuja individualização está representada pela Laguna dos Patos e pela Lagoa Mirim. Nessa transgressão-regressão pleistocênica ocorre o isolamento da Lagoa Mirim e a formação de um pontal que isola a Laguna dos Patos do oceano (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995).

O sistema deposicional Laguna-Barreira III corresponde à principal barreira responsável pelo isolamento final do Sistema Lagunar Patos-Mirim, denominada de Sistema de Barreira Múltipla Complexa. Ambientes deposicionais do tipo fluvial, lagunar e paludal formaram-se na depressão isolada parcialmente pela Barreira II e principalmente pela Barreira III (FARION, 2007).

O Sistema Laguna-Barreira IV, mais recente, é o sistema deposicional resultante do máximo evento transgressivo marinho ocorrido no Holoceno. A Barreira IV isolou um novo sistema lagunar constituído de um rosário de pequenas lagoas. Conforme Villwock e Tomazelli (1995), a elevação do nível do mar durante essa última transgressão afogou as margens do Sistema Lagunar Patos-Mirim e os baixos cursos fluviais, transformando-os em estuários, erodiu antigos terraços marinhos e formou ilhas-barreiras que isolam diversos sistemas lagunares ao longo de toda a costa do Rio Grande do Sul.

A Figura 5.12 apresenta o mapa o Gelógico-Geomorfológico do Município de Pelotas elaborado por Marth et al. (2008)

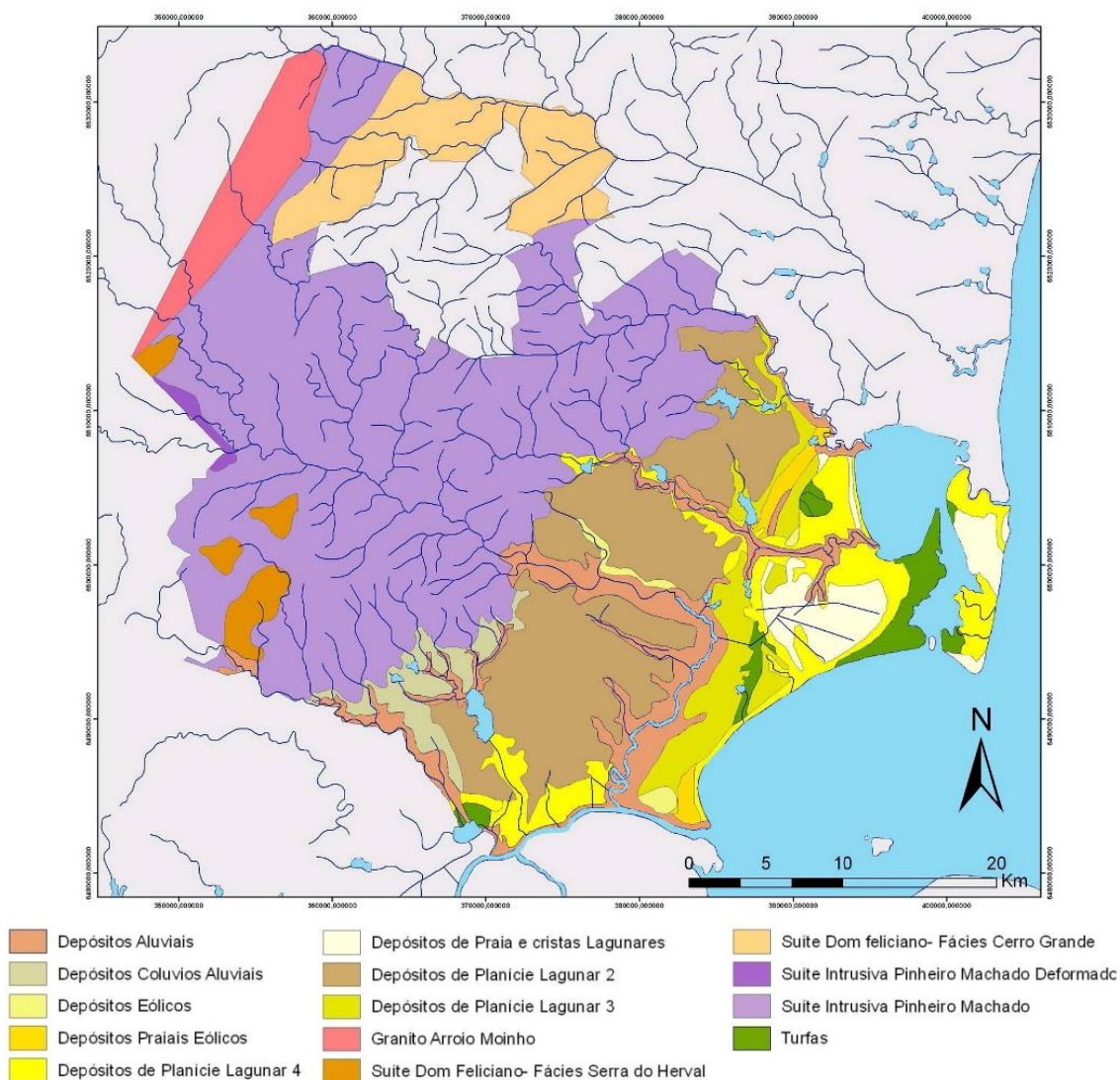


Figura 5.12 - Mapa Geológico-Geomorfológico de Pelotas – Fonte: Marth et al, 2008 (reformatado pelo autor)

## 5.8 SOLOS

A classificação e caracterização dos solos do município de Pelotas, para este trabalho, seguem a realizada por Cunha e Silveira (1996), resultado da análise e sintetização dos dados originais coletados por Sombroek (1969 apud CUNHA e SILVEIRA, 1996) para o Projeto Lagoa Mirim, e que resultou no mapa apresentado na Figura 5.13.

Os solos foram originalmente descritos e classificados de acordo com a metodologia da FAO/UNESCO e a *Soil Taxonomy*, e correlacionados com a Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológico no Brasil (3º aproximação ao Sistema Brasileiro de SisBCS),

segundo Camargo et al. (1987). Para caracterização dos solos, conforme Cunha e Silveira (1996), Sombroeck usou como unidade descritiva os conjuntos de solos que ocorrem em cada unidade geomorfológica ou fisiográfica, em contraposição à descrição usual de classes de solos com todos seus níveis categóricos inferiores, isoladas ou em associações. Da mesma forma, Cunha e Silveira (1996) utilizaram essa mesma forma de representação na elaboração do mapa de solos, identificando a correlação direta entre as unidades geomorfológicas descritas e seus solos.

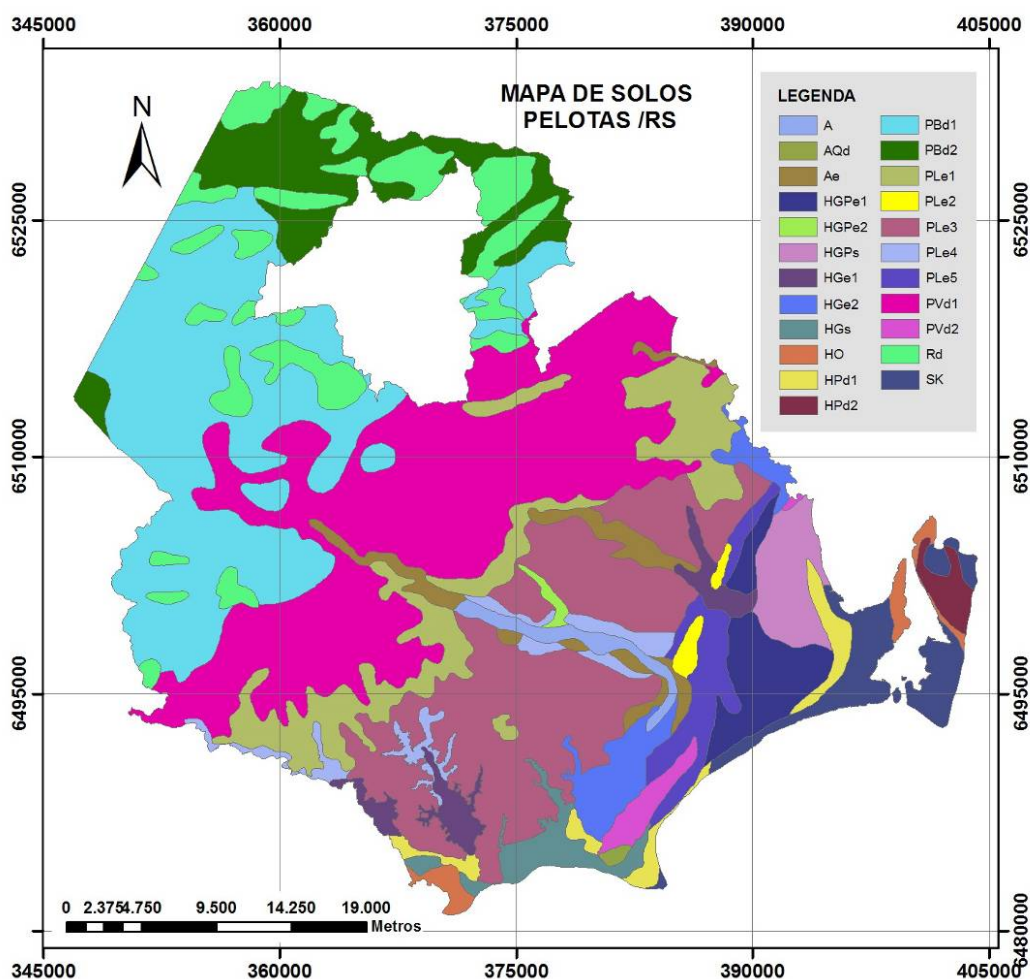


Figura 5.13 - Mapa de Solos de Pelotas, elaborado pelo autor conforme Cunha e Silveira (1996).

A Tabela 5.3 apresenta as unidades de solos mapeadas no Município de Pelotas por Cunha e Silveira (1996), suas classificações, zona de relevo a qual pertencem, conformação geomorfológica, e respectivas áreas. As unidades de solo e as unidades geomorfológicas restritas a zona urbana do município são apresentadas na Figura 5.14



Tabela 5.3- Unidades de solos conforme Cunha e Silveira (1996).

UNID	CLASSIFICAÇÃO	ZONA	GEOMORFOLOGIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )
PBd1	PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO e REGOSSOLO e AFLORAMENTOS ROCHOSOS	Zona Alta	Terras Altas não Rochosas	284,90
PBd2	PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO e REGOSSOLO	Zona Alta	Terras Altas não Rochosas Planas	90,73
Rd	REGOSSOLO, PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO e AFLORAMENTOS ROCHOSOS	Zona Alta	Terras Altas Rochosas	104,96
PVd1	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO com PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PLANOSSÓLICO	Zona Central	Colinas Cristalinas	344,30
PLe1	PLANOSSOLO com PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PLANOSSÓLICO	Zona de Lombadas	Lombadas	111,70
PVd2	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PLÍNTICO com GLEI HÚMICO PLANOSSÓLICO	Zona de Lombadas	Lombadas Costeiras Arenosas	12,01
HGPe1	GLEI POUCO HÚMICO com PLANOSSOLOS	Zona de Planícies	Planície Média	43,02
PLe2	PLANOSSOLO com PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PLANOSSÓLICO	Zona de Planícies	Lombadas Costeiras	5,74
PLe3	PLANOSSOLO com SOLONETZ e GLEI POUCO HÚMICO	Zona de Planícies	Planície Alta	232,40
PLe4	PLANOSSOLO com SOLONETZ e GLEI POUCO HÚMICO	Zona de Planícies	Planície Alta Atacada	27,82
PLe5	PLANOSSOLO com SOLONETZ e GLEI POUCO HÚMICO	Zona de Planícies	Planície Alta Costeira	35,07
A	SOLO ALUVIAL e GLEI HÚMICO	Zona Inundável	Terras com Matas Fluviais	14,55
Ae	SOLO ALUVIAL com GLEI POUCO HÚMICO	Zona Inundável	Terras Baixas Fluviais	32,58
AQd	AREIAS QUARTZOSAS	Zona Inundável	Dunas Costeiras	1,67
HGe1	GLEI HÚMICO com SOLO ORGÂNICO e SOLO ALUVIAL	Zona Inundável	Banhados Fluviais	26,15
HGe2	GLEI HÚMICO	Zona Inundável	Planície Baixa de Estuário	33,87
HGPe2	GLEI POUCO HÚMICO com SOLO ALUVIAL E GLEI HÚMICO	Zona Inundável	Terras Baixas Fluviais	3,09
HGPs	GLEI POUCO HÚMICO SOLÓDICO com SOLONETZ e SOLONCHAK	Zona Inundável	Planície Baixa Lacustre	31,16
HGs	GLEI HÚMICO E GLEI POUCO HÚMICO SOLÓDICOS com SOLONETZ e SOLONCHAK	Zona Inundável	Planície do São Gonçalo	23,64
HO	SOLO ORGÂNICO SALINO, GLEI HÚMICO com GLEI	Zona Inundável	Banhados Lacustres Baixos	12,71
HPd1	PODZOL HIDROMÓRFICO e GLEI HÚMICO	Zona Inundável	Traços de Praias	21,78
HPd2	PODZOL HIDROMÓRFICO e AREIAS QUARTZOSAS com GLEI HÚMICO e SOLO ORGÂNICO	Zona Inundável	Traços de Praias Costeiros	10,20
SK	SOLONCHAK e SOLOS HIDROMÓRFICOS	Zona Inundável	Banhados Marginais da Lagoa	43,63



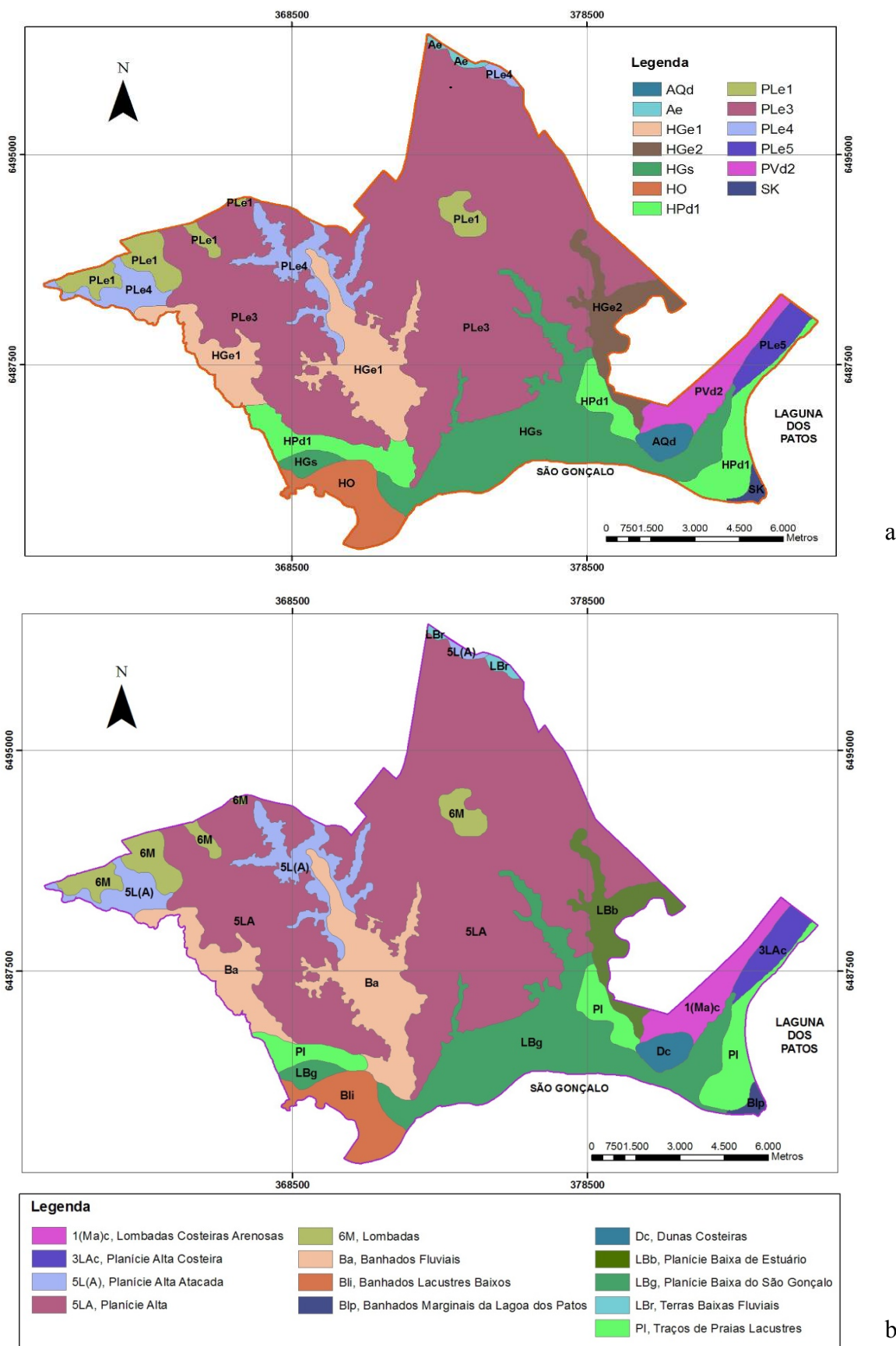


Figura 5.14 – a) Mapas da zona urbana do município de Pelotas, conforme Cunha e Silveira (1996): a) Pedológico (acima); b) Geomorfológico (abaixo).

A seguir é apresentada uma descrição, conforme Cunha e Silveira (1996), das unidades geomorfológicas presentes na zona urbana do município e dos solos a elas relacionados, seguindo o sistema proposto pela FAU/UNESCO. Ao final da descrição de cada unidade é apresentada a correlação dos solos com a Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil (3ª aproximação ao SisBCS). No capítulo 6, no título que trata da criação do mapa de estimativa de unidades geotécnicas, os solos urbanos serão caracterizados com maiores detalhes.

**a) Lombadas Costeiras Arenosas (1(Ma)c):** possuem topografia mais segmentada que nas outras Lombadas do mesmo nível, condicionando, desta forma, um mesorrelevo mais irregular, causado, principalmente, pelas depressões, que formam pequenas lagoas (olhos d'água), e pela erosão do vento em épocas passadas, que constituem dunas antigas não totalmente aplainadas.

O material de origem são argilas e areias finas (Formação Itapoã/Narvaez, segundo Delaney, 1965), e o solo dominante é o *Plinthic Luvisol*, fase costeira e arenosa, muito profundo e de moderada a imperfeitamente drenado. Nas pequenas depressões (olhos d'água) ocorre o *Planic Ochric Gleysol*.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico com Gleí Húmico Planossólico (PVd2)

**b) Lombadas (6M):** formam áreas de superfície muito extensa com terrenos caracterizados por inclinações extensas e suaves (de 2 a 4%) e topos do mesmo nível. Os solos são de moderados a imperfeitamente drenados, com fertilidade química variável e propriedades físicas de moderadas a más. O material de origem são argilas cascalhentas, areias arcólicas e siltes (Formação Graxaim I, segundo Delaney, 1965).

O *Subdystric Aeric Ochric Planosol* ocorre no topo do terreno e nas partes côncavas dos declives, é moderadamente ou mal drenado, e compreende, aproximadamente, 65% da associação. O restante da associação é formado pelo *Brunic Planic Luvisol*, que é um solo de moderadamente a bem drenado e profundo, e apresenta grande variação de características e de graus de transição para o *Planosol*, ou para o *Brunic*, ou *Ferric Luvisol* e *Chromic Acrisol*.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Planossolo com Podzólico Vermelho-Amarelo Planossólico (PLe1)

**c) Planície Alta (5LA):** formam a maior faixa sedimentar ao redor da Lagoa Mirim e Laguna dos Patos. Os terrenos são planos, mas inclinam-se suavemente na direção das lagoas (inclinação de 0,5 a 1m/km) e estão bem acima do nível de inundação normal dos rios e lagoas, com altitudes que variam de 10 a 25 m.

Os terrenos possuem um mesorrelevo formado por pequenos riachos fósseis parcialmente colmatados, e pequenas lagoas (olhos d'água). Também há um microrrelevo, e ao longo ocorrem faixas da Planície Alta, em distâncias variáveis. Os solos são imperfeitamente drenados, siltosos ou argilosos, de variável fertilidade química e, normalmente, de más condições físicas.

O solo predominante, *Subdystric Paraquic Ochric Planosol*, é formado por argilas e areias levemente cascalhentas, da Formação Graxaim II (segundo Delaney, 1965), do período pleistocênico. Trata-se de um solo profundo, com drenagem imperfeita. O macrorrelevo é plano, exceto em partes ao longo dos drenos, onde o processo erosivo condiciona declives. Também há um mesorrelevo formado por antigas depressões de drenagens obstruídas por sedimentos siltosos.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Planossolo com Solonetz e Gleí Pouco Húmico (PLe3)

**d) Planície Alta Atacada (5L(A)):** ocorre largamente ao lado dos grandes rios, no seu baixo curso. Apesar de não serem áreas inundáveis, são mais suscetíveis às grandes enchentes do que a Planície Alta. As depressões, comuns na Planície Alta, são mais evidenciadas, formando canais parcialmente siltosos ou pequenas lagoas (olhos d'água) maiores e mais profundas.

O material de origem é o mesmo da Planície Alta, mas o conteúdo de argila é algumas vezes menor, e o teor de cascalho geralmente maior.

O solo dominante, *Subdystric Paraquic Ochric*, fase rasa, tem como material de origem argilas, siltes arcóseos e areias da Formação Padel Puerto/Graxaim II (segundo Delaney, 1965), com ocorrência freqüente de cascalhos. Os solos da Planície Alta Atacada são comparáveis aos da Planície Alta, mas, em toda parte, as texturas são, em geral, relativamente arenosas e com grande quantidade de cascalhos, o que determina maior espessura e maior quantidade de areia na camada superior.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Planossolo, Solonetz e Gleí Pouco Húmico (PLe4)

**e) Planície Alta Costeira (3LAc):** forma as terras sedimentares arenosas situadas próximas a Laguna dos Patos, caracterizadas por má drenagem, solo profundo, com baixa ou satisfatória fertilidade química, e propriedades físicas ruins. Os solos possuem alta percentagem de areia fina, relativa espessura na camada superior, percentagem baixa de matéria orgânica e, freqüentemente, alta percentagem de magnésio trocável.

O material de origem é composto por argilas e areias finas oriundas de sedimentos pleistocênicos marinhos, o relevo é plano, mas há um considerável mesorrelevo que formam lagoas muito pequenas, mas consideravelmente largas e profundas. O solo dominante é o *Subdystric Paraquic Ochric Planosol* fase costeira.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Planossolo, Solonetz e Gleis Pouco Húmico (PLe5)

**f) Terras Baixas Flúvias (LBr):** ocorrem junto ao Arroio Pelotas cuja bacia hidrográfica vai até a zona alta. Tratam-se de faixas de terras relativamente estreitas, que permanecem inundada durante um curto período do ano. Encontram-se em nível intermediário, entre a Planície Alta e a Planície de Inundação. Há um considerável mesorrelevo, formado por antigos canais flúvias comuns do tipo anastomado parcilamente colmatados.

Os solos predominantes são *Fluvisol* e *Humic Gleysol*, o material de origem são sedimentos aluviais arenosos recentes (Holoceno Inferior), com ocorrências de *Planic Humic/Ochric Gleysol*, fase rasa.

Nas partes altas ocorrem o *Planic Humic* ou *Ochric Gleysol*, e pode ocorrer, ocasionalmente o *Aquic Ochric Planosol*. Ambos os solos possuem, normalmente, areia e/ou subsolos cascalhentos, com tipificação características da fase flúvia ou da fase costeira. Nas partes baixas ocorre o *Humic Gleysol* ou, com menos frequência, o *Luvic Humic Gleysol*. Esses apresentam silte fino ou argila na camada superior e na camada subsuperficial, mas também areia e subsolos cascalhentos.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Solo Aluvial e Gleis Húmico (Ae)

**g) Dunas Costeiras (Dc):** ocorrem ao longo da costa, com exceção do extremo sul, e longe da costa em casos isolados, e são formadas pelo *Dune Rhegosol*, solo excessivamente drenado e constituído por areias soltas. O relevo é enrugado, e facilmente modificável pela ação dos ventos.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Areias Quartzosas (AQd)

**h) Banhados Fluviais (Ba):** ocorrem junto às partes pouco movimentadas dos riachos e na foz dos riachos e rios maiores. As terras são inundadas no inverno, e permanecem úmidas durante a maior parte do ano, devido à drenagem superficial impedida. Embora possa haver mesorrelevo formado por antigos canais fluviais, em geral, os terrenos são completamente planos.

Os sedimentos, na sua maior parte arenosos, podem aparecer cobertos por uma camada de turfa de idade recente.

O solo predominante é o *Humic Gleysol*, geralmente muito profundo e mal drenado, com camada superior, siltosa ou argilosa, apresentando boa estrutura. Em grande parte da área também ocorre o *Hydric Histosol*, solo muito mal drenado que possui camada superior orgânica com turfas e sedimentos argilosos consolidados.

### **3ª aproximação ao SisBCS: Gleis Húmicos, Solo Orgânico e Solo Aluvial (HGe1)**

**i) Planície Baixa de Estuário (LBb):** ocorre perto das embocaduras dos arroios principais e de alguns cursos menores. Os terrenos são inundados durante vários meses e a drenagem no verão é um tanto superficial. Seu nível é comparável ao da Planície Baixa Lacustre e Planície do São Gonçalo. Trata-se de areias recentes e sub-recentes, siltes e certas argilas depositadas, em boa parte, em condições de água doce.

O solo predominante é o *Humic Gleysol*, fase fluvial e arenosa, tendo como material de origem sedimentos arenosos da Formação Aluvião Lagunar, segundo Delaney (1965). Os solos são planos, mas há presença de meso e microrrelevo.

### **3ª aproximação ao SisBCS: Gleis Húmicos (HGe2)**

**j) Planície do São Gonçalo (LBg):** forma a parte principal da planície de inundações do Canal São Gonçalo, estando separados da Planície Média ou Alta por uma escarpa de vários metros de altura. Os terrenos, por natureza, são inundados no inverno, mas mantêm-se secos no verão. Há pouco ou nenhum mesorrelevo. Os sedimentos, em sua grande maioria, são silte ou argila, no lado sul, e silte ou areia no lado norte. São de épocas recentes a sub-recentes, e são aparentemente depositados sob condições de sedimentação em água salobra.

O solo predominante é o *Humic* a *Ochric Gleysol*, fase salina, com *Sodic Gleysol*, fase salina, e os materiais de origem são, predominantemente, sedimentos arenosos da Formação Aluvião Lagunar.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Gleí Húmico e Gleí Pouco Húmico Solódicos, Solonetz e Solonchak (HG<sub>s</sub>)

**k) Banhados Lacustres Baixos (Bli):** formam as partes mais baixas dentro da área de Planície Baixa Lacustre. São profundamente inundados no inverno, permanecendo coberto no verão por uma camada de água rasa (10 a 50 cm). Há pouco ou nenhum mesorrelevo, mas a superfície abaixo da turfa pode ser irregular. Os sedimentos são os mesmos dos banhados que secam temporariamente, mas acima deles há uma camada turfa de espessura variável.

Os materiais de origem são argilosos, siltosos ou arenosos, da Formação Aluvião Lagunar, como turfas recentes. Os solos são formados por um complexo: o *Hydric Eutric Histosol*, fase salina, é profundo e muito mal drenado, o *Hydric Thionic Histosol* ou *Humic Gleysol*, que ocorrem simultaneamente, possuem uma camada superficial de turfas rasas ou ausentes (de 0 a 30 cm), e é comparável ao *Hydric Eutric Histosol*. Por fim, o complexo é formado pelo *Hydric Thionic Histosol* ou *Hydric Thionic Gleysol*, também com características semelhante aos demais, embora com forte cheiro de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), evidenciando o tiomorfismo existente.

**3ª aproximação ao SisBCS:** Solo Orgânico Salino, Gleí Húmico e Gleí Tiomórfico (HO)

**l) Traços de Praias Lacustres (Pl):** formam faixas de terras junto às lagoas ou embocaduras dos cursos principais, e se caracterizam pela presença de pequenas elevações que ocorrem paralelamente a pequenas depressões. São superficialmente inundados no inverno, mas drenados a uma profundidade considerável no verão, sendo que as depressões possuem inundações mais profundas.

Os sedimentos são areias finas, e, aparentemente, formaram-se em períodos do Holoceno Inferior, quando a carga de sedimentos dos rios era insignificante, e as lagoas estavam em ampla e aberta ligação com o oceano (através do Canal São Gonçalo e do Banhado do Taim) e existiam fortes correntes lacustres.

O material de origem são sedimentos arenosos de dunas. Os terrenos, em geral, são planos, mas há muito mesorrelevo devido à presença de ondulações paralelas e depressões. Na parte baixa, as depressões formam canais que são parcialmente alagados, enquanto as partes altas e centrais são formadas por cordões arenosos.

O solo predominante, *Rhegic Gleyic Podzol*, é profundo, variando de moderadamente bem a mal drenado e ocorre nas partes mais altas. Nas depressões ocorre o *Humic Gleysol*, muito mal drenado, com camada superior arenosa húmica (sobre areia fortemente gleizada) de pH alto e variações de raso a profundo, com sedimentos francos ou argilosos fortemente gleizados e de igual pH.

### **3ª aproximação ao SisBCS: Podzol Hidromórfico e Gleí Húmico (HPd1)**

**m) Banhados Marginais da Lagoa dos Patos (Blp):** formam faixas de terras ao longo desta lagoa, que estão constantemente alagadas em pequenas profundidades, com nível das águas um pouco mais baixo do que o da Planície do São Gonçalo. O material de origem, em geral, são argilas e areias da Formação Aluvião Lagunar. Os terrenos são planos, mas apresentam algum meso e microrrelevo.

O solo dominante, o *Gleyic Solonchak*, é muito mal drenado, apresentando camada orgânica (horizonte O) de material turfoso, com 20 cm de espessura. O subsolo é formado por areia franca gleizada e com alta salinidade.

### **3ª aproximação ao SisBCS: Solonchak e Solos Hidromórficos (SK)**

## **5.9 ASPÉCTOS LEGAIS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO DE PELOTAS**

Consideradas as legislações federal e estadual, que estabelecem, por exemplo, as Áreas de Preservação Permanente, a disciplina legal para o uso e ocupação do solo urbano da cidade de Pelotas é dada pelo Lei 5502/2008 que institui o 3º Plano Diretor da cidade, que entrou em vigência em 1º de janeiro de 2009. O Plano Diretor de Pelotas é o instrumento básico da política de desenvolvimento municipal, abrangendo os aspectos físicos, sociais, econômicos e administrativos do crescimento da cidade (PELOTAS, 2008).

O Plano Diretor criou o chamado “Sistema de Territórios”, dividindo a área urbana em Macro Regiões (ou Regiões Administrativas), Meso Regiões e Micro Regiões, e ao contrário do plano anterior (2º Plano Diretor), não utiliza mais o sistema de zoneamento de usos, largamente utilizado nos planos da década de 70 e 80. Sendo assim, a cidade não mais é dividida em zonas em que cada tipo de uso do solo é incentivado, permitido ou proibido, e nas quais os índices urbanísticos de construção, tais como índice de aproveitamento, taxa de

ocupação e recuos, variam. Por esse modelo uma zona residencial, por exemplo, não poderia receber nenhum tipo de produção industrial ou de serviços, que, conforme o tipo estariam restritos a determinadas zonas.

A Figura 5.15 mostra o Sistema de Territórios Urbanos Municipal de Pelotas, com cada região administrativa dividida em meso-regiões e essas, por sua vez, em micro-regiões.

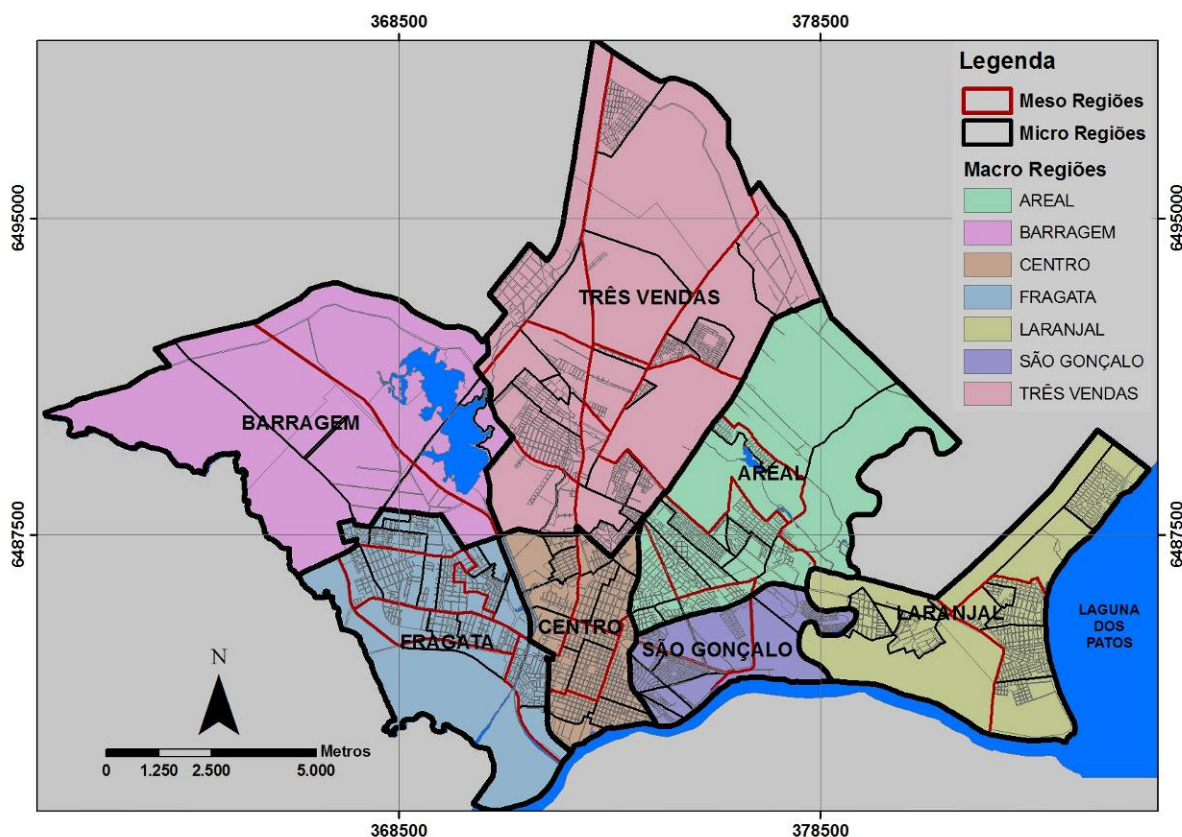


Figura 5.15 – Sistemas Territórios conforme o 3º Plano Diretor de Pelotas.

O 3º Plano trabalha com um novo modelo de uso e ocupação do solo, que visa à compatibilização de usos de acordo com o porte, nível de incomodidade, grau de impacto, e localização viária. Para tanto, as vias são classificadas conforme abaixo:

- a) Grupo 1: vias principais de características habitacionais com atividades de baixo grau de impacto em todos os portes, e médio grau de impacto no portes mínimo, pequeno e médio;
- b) Grupo 2: vias principais com características de uso misto: residencial e atividades de todos os portes nos graus de impacto baixo e médio;
- c) Grupo 3: vias principais com características produtivas e atividades de grande porte;



- d) Grupo 4: vias classificadas como coletoras existentes e projetadas;
- e) Grupo 5: vias classificadas como locais.

Desta forma, o novo sistema permite, por exemplo, a instalação de atividades produtivas de porte mínimo e baixos graus de impacto e incomodidade em vias locais, aproximando a moradia do local de trabalho e dos serviços, diminuindo as distâncias percorridas pela população e o impacto sobre os sistemas de transporte, entre outros. Ao contrário do rígido modelo de zoneamento, o novo sistema procura ser mais adaptável a dinâmica urbana, sempre considerando a compatibilidade dos usos entre si e com o ambiente natural e construído. Para tanto, em várias atividades, situações e locais, exige, para análise da viabilidade de implantação, o laudo de Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV).

O Plano Diretor também define Áreas Especiais de Interesse, que, em face de suas características e interesses públicos delas decorrentes, são objeto de tratamento especial através da definição de normas de ocupação diferenciada, e da criação de mecanismos de gestão para desenvolvimento das ações necessárias. São elas: (i) Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN); (ii) Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Cultural (AEIAC); (iii) Áreas Especiais de Interesse Social (AEIS); (iv) Área Rururbana; (v) Área Industrial; e (vi) Área de Transição Industrial.

Quanto ao Regime Urbanístico<sup>3</sup> aplicado as edificações, o novo Plano estabelece como regra geral:

- a) Edificações de até 10 m de altura em todo o perímetro urbano, se excetuado as Áreas de Especial Interesse, Região Administrativa Laranjal, Área Rururbana, e Áreas Industriais e de Transição Industrial;
- b) Edificações de até 13 m de altura em logradouros com gabarito igual ou superior a 16 m desde que o terreno possua testada igual ou superior a 12 m;

---

<sup>3</sup> O Regime Urbanístico compreende as Regras Gerais, as Alturas Diferenciadas, a utilização dos instrumentos de Outorga Onerosa e da Transferência do Direito de Construir, aplicados aos projetos de edificação, bem como o Regime para Áreas Especiais de Interesse, Região Administrativa do Laranjal, Área Rururbana, Núcleos de Urbanização Específica (na zona rural) e Áreas Industriais (PELOTAS, 2008). O Regime Urbanístico é estabelecido, a partir dos limites de altura máxima das edificações, da configuração e tamanho do lote, dos recuos e taxa de ocupação.

c) Edificação de até 19 m de altura em imóveis que possuam testada igual ou superior a 15 m e que estejam inseridos nas áreas definidas pelas poligonais descritas na lei;

d) Edificações de até 25 m, em imóveis que possuam testada igual ou superior a 18 m, nos lotes voltados para os logradouros ou trechos de logradouros relacionados na lei.

O Plano não utiliza a figura do Índice de Aproveitamento, ficando o potencial construtivo de cada terreno definido pelos recuos mínimos estabelecidos e pela altura máxima da edificação.

Através dos instrumentos da Outorga Onerosa e da Transferência do Direito de Construir, estabelecidos no Estatuto das Cidades e incorporados pelo Plano Diretor de Pelotas, as alturas máximas de 19 m e 25 m poderão ser extrapoladas mediante o Estudo de Impacto de Vizinhança e o pagamento de contrapartida monetária.

Maiores detalhes poderão ser obtidas através do texto legal e seus mapas anexos. A Figura 5.16 mostra as Áreas Especiais e a Figura 5.17 as alturas máximas permitidas para as edificações.

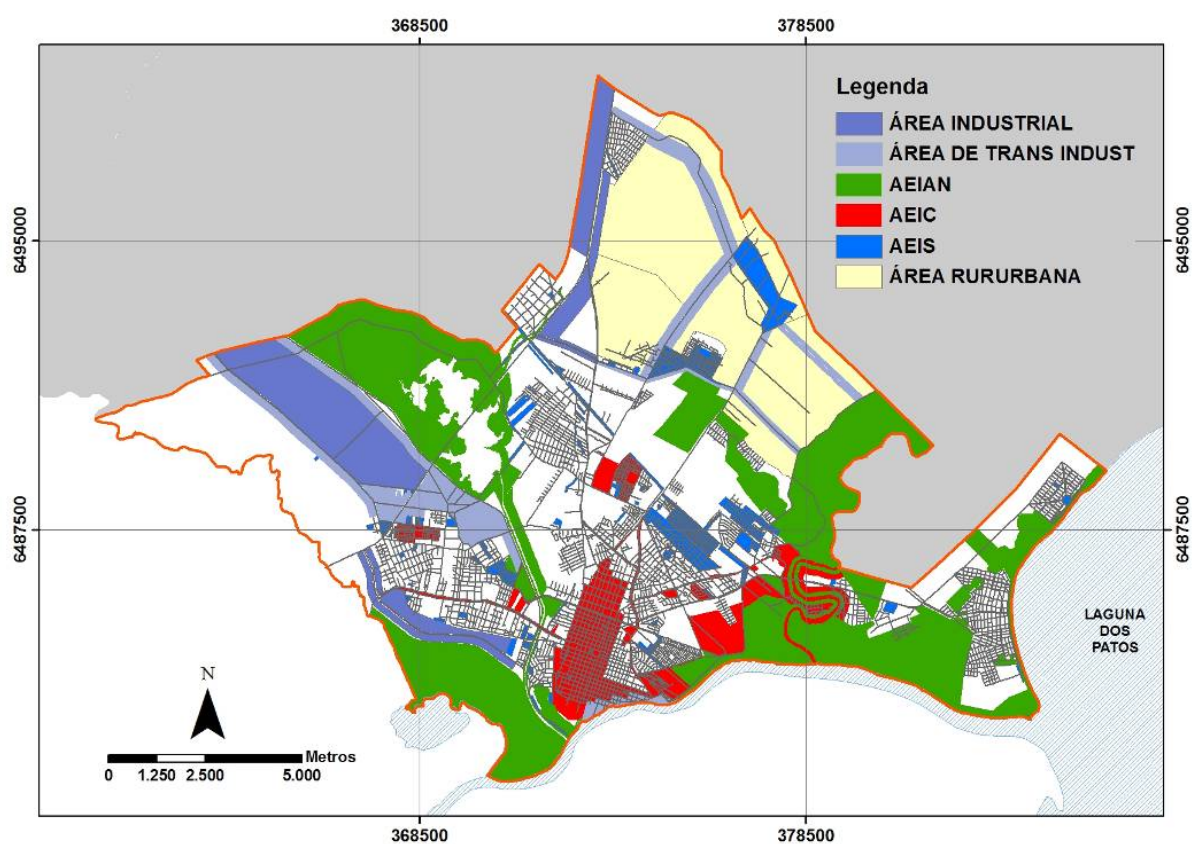


Figura 5.16 – Áreas Especiais de Interesses definidas no 3º Plano Diretor de Pelotas.

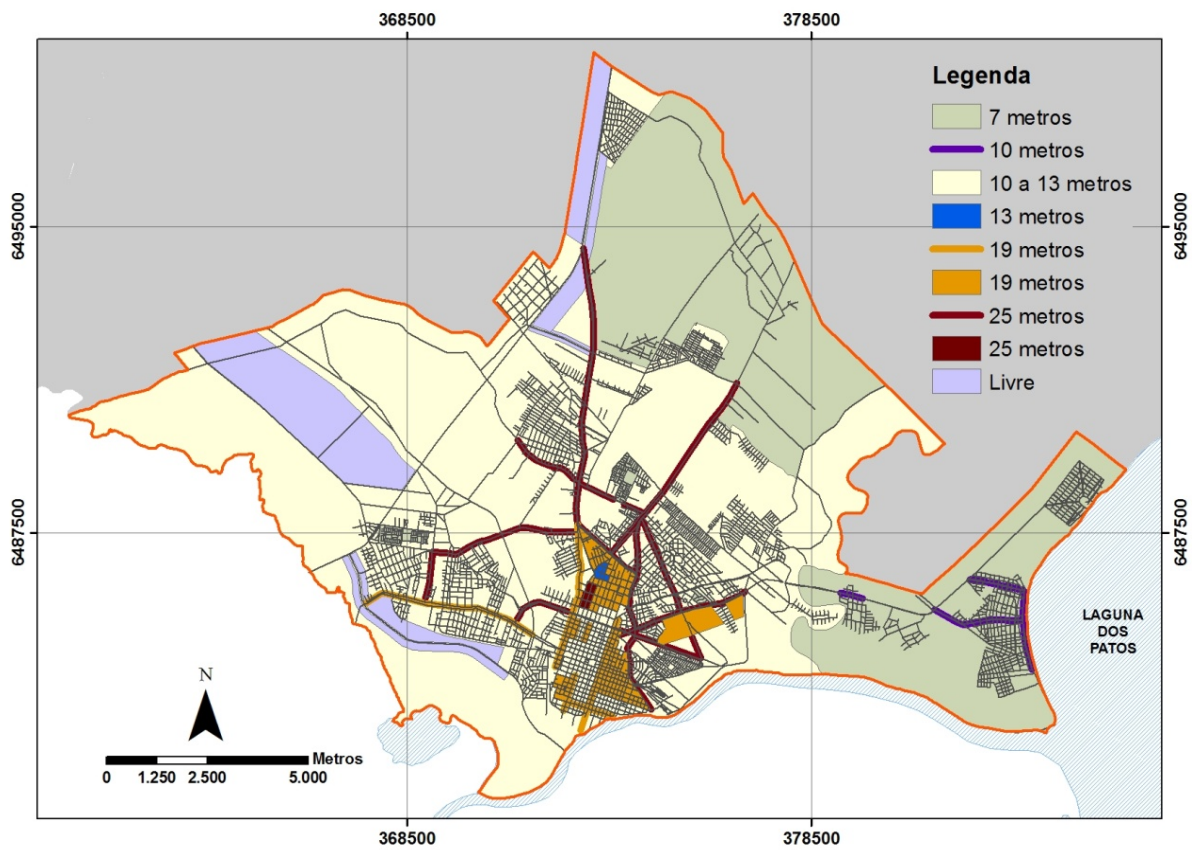


Figura 5.17 – Altura máxima das edificações conforme o 3º Plano Diretor de Pelotas.

## Capítulo 6 – METODOLOGIA APLICADA

---

### 6.1 DESCRIÇÃO GERAL DA METODOLOGIA

Conforme descrito no capítulo inicial, essa dissertação tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma metodologia para uso do mapeamento geotécnico como instrumento de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo em cidades costeiras. Para tanto, a metodologia proposta emprega técnicas e recursos de geoprocessamento, especialmente os Sistemas de Informações Geográficas, para modelagem, integração, visualização e análise dos dados referentes ao meio físico da área de estudo. Mais especificamente, se utiliza da manipulação, e da geração de dados e mapas que permitam uma análise da distribuição espacial e das características dos diferentes tipos de solos e substratos geológicos presentes na área de aplicação, com vistas, seguindo a metodologia proposta pelo LAMGEO UFRGS/UFSC, a geração do mapa de unidades geotécnicas.

Também faz parte da metodologia a avaliação da evolução morfológica da área de estudo e a delimitação das áreas disponíveis para expansão urbana, de forma a otimizar esforços de mapeamento, análises físico-ambientais e geotécnicas.

Por fim, com os dados resultantes, objetiva-se a análise do uso e ocupação do solo, nas áreas de expansão, frente às características geotécnicas dessas.

A metodologia, apresentada neste Capítulo, subdivide-se em oito etapas, conforme mostrado na Figura 6.1. Na Etapa 1 é realizado um inventário dos dados primários (originais) disponíveis, a serem utilizados no desenvolvimento do trabalho. Nas Etapas 2 e 3 são estruturados, respectivamente: o Sistema de Informações Geográficas, através do seu modelo conceitual de dados, e o Banco de Dados de Sondagens SPT. A Etapa 4 envolve o estudo do crescimento urbano de Pelotas, a determinação dos vetores desse crescimento, e a delimitação das áreas de expansão urbana, considerando diversos fatores que determinam a disponibilidade e potencialidade de ocupação dessas áreas. Na Etapa 5 são gerados dados derivados, através do processamento, em ambientes SIG e CAD, dos dados primários. Nessa etapa são gerados o Modelo Digital de Terreno, os Mapas de Relevo e Declividade e o Mapa de Zonas Sujetas a Alagamentos.

A Etapa 6 envolve a edição e formatação dos dados referentes à pedologia e a geologia/geomorfologia da área de estudo, com vistas à etapa subsequente. Nessa etapa são realizadas a vetorização, georreferenciamento, retificação e refinamento de limites, generalizações taxonomônicas, e redefinição de limites.

Na Etapa 7, é gerado o Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas, através da elaboração dos Mapas Geológico/Geomorfológico e Pedológico, e posterior cruzamento dos mesmos.

Todas essas etapas têm como objetivo a preparação dos dados e a estruturação dos meios (sistemas e recursos) a serem utilizados na Etapa Final do trabalho, na qual será realizada a descrição geotécnica das unidades estimadas, e caracterizadas as áreas de expansão urbana delimitadas na quarta etapa. Essa caracterização, entre outros fatores, terá por base aspectos físicos-ambientais, localização geográfica, relacionamento com a malha viária e o tecido urbano existentes, infra-estrutura, usos e ocupações locais ou próximas, legislação urbanística (Plano Diretor), acessibilidade e centralidade, e as propriedades das unidades geotécnicas estimadas.

Como produto final do trabalho, será apresentado o mapa das unidades geotécnicas estimadas, o mapa das áreas de expansão urbana delimitadas, e o mapa do cruzamento dessas. Também serão apresentados mapas de sobreposição das unidades geotécnicas e das áreas de expansão a imagem de satélite e do relevo da zona urbana de Pelotas.

A Figura 6.1 mostra a seqüência de etapas da metodologia apresentada.

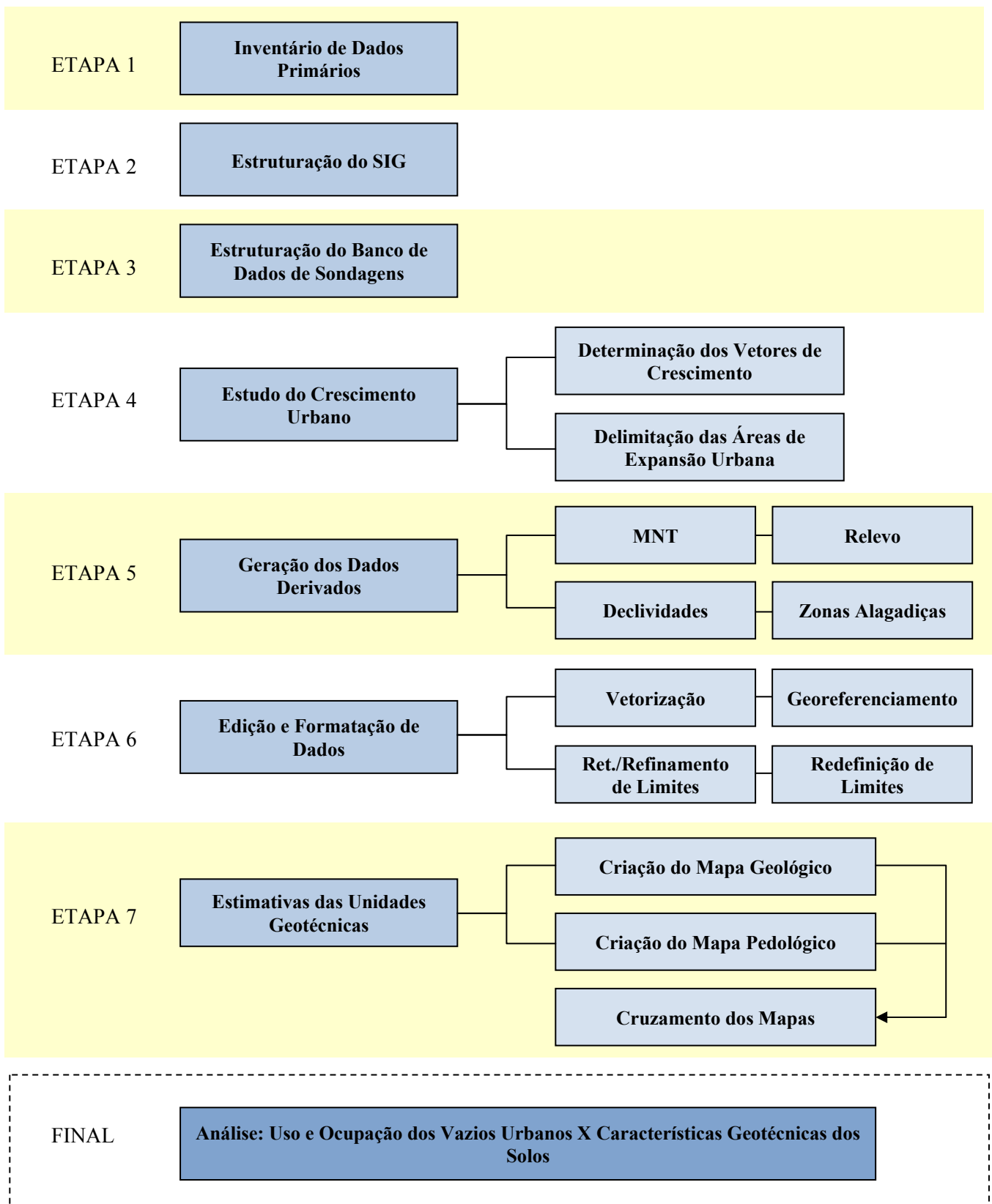


Figura 6.1 – Etapas de desenvolvimento da metodologia apresentada.

## 6.2 INVENTÁRIO DE DADOS

Nesta etapa foram prospectados dados disponíveis sobre a área de estudo e relacionados ao tema em estudo. Os documentos inventariados foram utilizados de forma direta, na produção de novos dados, ou para simples consulta.

### 6.2.1 Dados Vetoriais

- **Cartografia Básica**

a) Mapa de quadras, ruas, lotes e divisões territoriais da área urbana. Na escala de compatibilidade de 1:2.000, foi elaborado sobre restituição digital de aerofotogrametria na escala 1:8.000 do ano de 1995, e atualizado até o ano de 2006 através de imagens do satélite QuickBird do mesmo ano. Fonte: PMPel;

b) Mapa de estradas, corpos e cursos d'água e divisões distritais da zona rural. Na escala de compatibilidade de 1:50.000 foi elaborado sobre imagem do satélite Spot 5 do ano de 2004. Fonte: PMPel.

- **Altimetria**

a) Curvas de nível do município. Na escala de compatibilidade de 1:50.000 foram digitalizadas a partir das Cartas do Exército, elaboradas pela Diretoria de Serviços Geográficos – Brasil, do Exército Brasileiro. Edição impressa em 1980, escala 1:50.000. Fonte: EMBRAPA Pelotas;

b) Curvas de nível da zona urbana. Na escala de compatibilidade de 1:2.000 extraídas de restituição digital de aerofotogrametria de 1995. Fonte: PMPel;

c) Pontos altimétricos da zona urbana. Na escala de compatibilidade de 1:2.000 extraídas de restituição digital de aerofotogrametria de 1995. Fonte: PMPel.

- **Hidrografia**

a) Delimitação das bacias hidrográficas do município. Na escala de compatibilidade de 1:50.000. Fonte: PMPel.

- **Cartografia Temática**

a) Eixos viários urbanos: Na escala de compatibilidade 1:2.000, em formato *shapefile*, possui tabela de dados associada, com temas relativos à infra-estrutura urbana. Representação vetorial do ano 2006 e dados temáticos do ano 2000 e 2008. Fonte: PMPel;

b) Mapa Pedológico do município. Mapa de classes pedológicas, na escala de compatibilidade de 1:100.000. Fonte: Cunha e Silveira (1996), modificado por Tagliani (2002);

c) Mapa Geológico do município. Mapa de classes geológicas, na escala de compatibilidade de 1:100.000. Fonte: Tagliani (2002);

d) Mapa Geomorfológico do município. Mapa de classes geomorfológicas, na escala de compatibilidade de 1:100.000. Fonte: Cunha e Silveira (1996), modificado por Tagliani (2002);

- **Dados Sobre a Ocupação do Território**

a) Poligonais de loteamentos, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares: Na escala de compatibilidade de 1:2.000, em formato *shapefile* com tabela de dados associada. Fonte: Silva (2004);

b) Mapa de vazios urbanos: Na escala de compatibilidade de 1:2.000, demarca as áreas de vazios urbanos baseado no Mapa Urbano Básico (MUB) de lotes e no Cadastro Imobiliário da Prefeitura de Pelotas. Ano: 2006. Fonte: PMPel.

- **Regulamentações Sobre o Uso do Solo**

a) Mapas temáticos do 3º Plano Diretor de Pelotas. Na escala de compatibilidade de 1:20.000, contém os diversos temas que compõe a lei do plano. Fonte: PMPel.

## 6.2.2 Dados Matriciais

- **Imagens**

a) Imagem de satélite da área urbana. Imagem RGB obtida através da composição falsa cor de imagem do satélite QuickBird do ano de 2006 (*DigitalGlobe*), com 60 cm de resolução espacial. Fonte: PMPel;



- b)** Imagem de satélite do município. Imagem RGB obtida através da composição falsa cor de imagem do satélite Spot 5 do ano de 2003 (*Spot Image*), com 5 m de resolução espacial e abrangendo 70% da área do município. Fonte: PMPel;
- c)** Imagem de satélite do município. Imagem multiespectral do satélite Spot 5 (*Spot Image*) do ano de 2003, com de 10 m de resolução espacial. Fonte: PMPel;
- d)** Mosaico de imagens. Composto por imagem RGB obtida através da composição falsa cor de imagem do satélite Spot 5 do ano de 2004 (*Spot Image*) e fotografia aérea na escala 1:20.000 colorizadas através de composição falsa cor com bandas multiespectrais do satélite Landsat 7 (*Landsat*) de 2001. Fonte: PMPel;
- e)** Fotografias aéreas da zona urbana, do ano de 1995, na escala 1:8.000. Fonte: PMPel.
- f)** Mapa Geológico do Município, do ano de 2008, na escala de compatibilidade 1:100.000. Fonte: Marth et. al. (2008)
- g)** Carta Geológica da Folha de Pelotas, RS (SH.22-Y-D), do ano 2000, na escala de compatibilidade 1:250.000 Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Cooperação. Fonte: Caldasso, 2000.

- **Grade Regular**

- a)** Grade regular de MNT. Imagem Radar do ano de 2002 do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Fonte: NASA.

### **6.2.3 Dados em formato PDF (Portable Document Format)**

- a)** Mapa de Geologia da região: Na escala 1:250.000. Ano 2003. Fonte: Governo do Estado do Rio Grande do Sul – IBGE;
- b)** Mapa de Pedologia da região: Na escala 1:250.000. Ano 2003. Fonte: Governo do Estado do Rio Grande do Sul – IBGE;
- c)** Mapa de Geomorfologia da região: Na escala 1:250.000. Ano 2003. Fonte: Governo do Estado do Rio Grande do Sul – IBGE.

### 6.3 ESTRUTURAÇÃO DO SIG

A primeira e essencial etapa na implementação de um SIG é a elaboração do modelo conceitual de dados. O modelo é uma das etapas ou nível de abstração da realidade necessário à representação simplificada do mundo físico em uma base de dados a ser manipulada por computador (VALENTE, 1999). É uma abstração dos aspectos mais relevantes da realidade para um determinado fim (Figura 6.2).

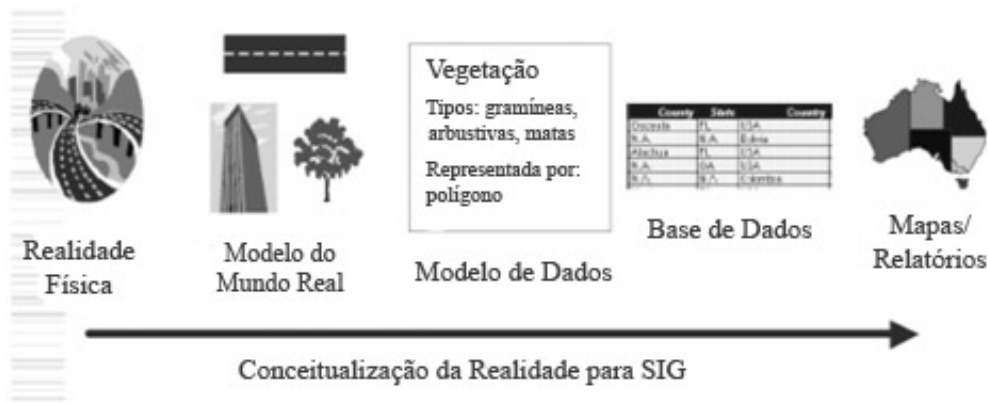


Figura 6.2 – Esquema das abstrações transpostas entre a realidade física e sua representação através de um SIG. Fonte: Adaptado de Demarqui (2009).

O problema da representação computacional do espaço geográfico pode ser abordado através do paradigma dos quatro universos, proposto por Gomes e Velho (1995 apud CÂMARA, 1995), adaptado para geoinformação por Câmara (1995) e readaptado para o contexto do presente trabalho. Este modelo divide em quatro os passos entre o mundo real e sua representação computacional (Figura 6.3).

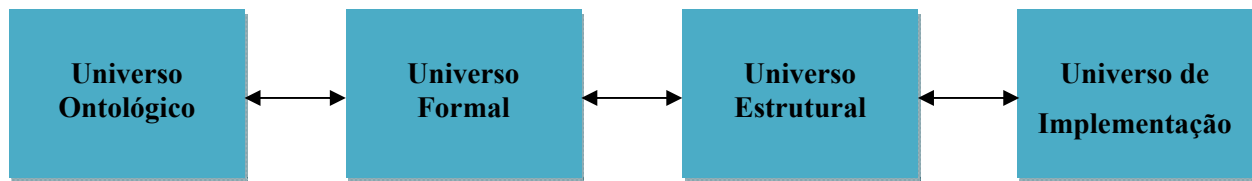


Figura 6.3 – Paradigma dos quatro universos. Adaptado de Câmara (1995).

Segundo Demarqui (2009), o Universo Ontológico inclui os conceitos da realidade a serem representados no computador, como os tipos de solo, os elementos de cadastro urbano e a caracterização das formas do terreno. O Universo Formal abrange os modelos lógicos que generalizam os conceitos do universo ontológico e dão resposta à pergunta: Quais são as abstrações formais necessárias para representar os conceitos de nosso Universo Ontológico? Essas abstrações incluem os modelos de dados. O Universo Estrutural trata das diversas entidades dos modelos formais que são mapeadas para estruturas de dados geométricas e alfanuméricas. As estruturas de dados são os elementos básicos de um SIG. O Universo de Implementação completa o processo de representação computacional. Neste universo, realizamos a implementação dos sistemas, através da escolha do software de SIG e do modelo de armazenamento dos dados.

- **Universo Ontológico**

Os elementos abstraídos da realidade com a finalidade de caracterizar geotecnicamente o meio físico, podem ser representados em um SIG através de *layers* (camadas ou planos de informações). O cruzamento desses *layers* fornece uma visão fragmentada da realidade e, segundo Valente (1999), pode ser usado para identificar áreas com perfis de solos cujo comportamento geotécnico frente ao uso e ocupação do solo apresenta-se similar, áreas com características mais apropriadas a expansão urbana, áreas de risco, etc. A Figura 6.4 mostra as *layers* (planos de informações) originais que representam, no presente trabalho, a realidade para fins geotécnicos.

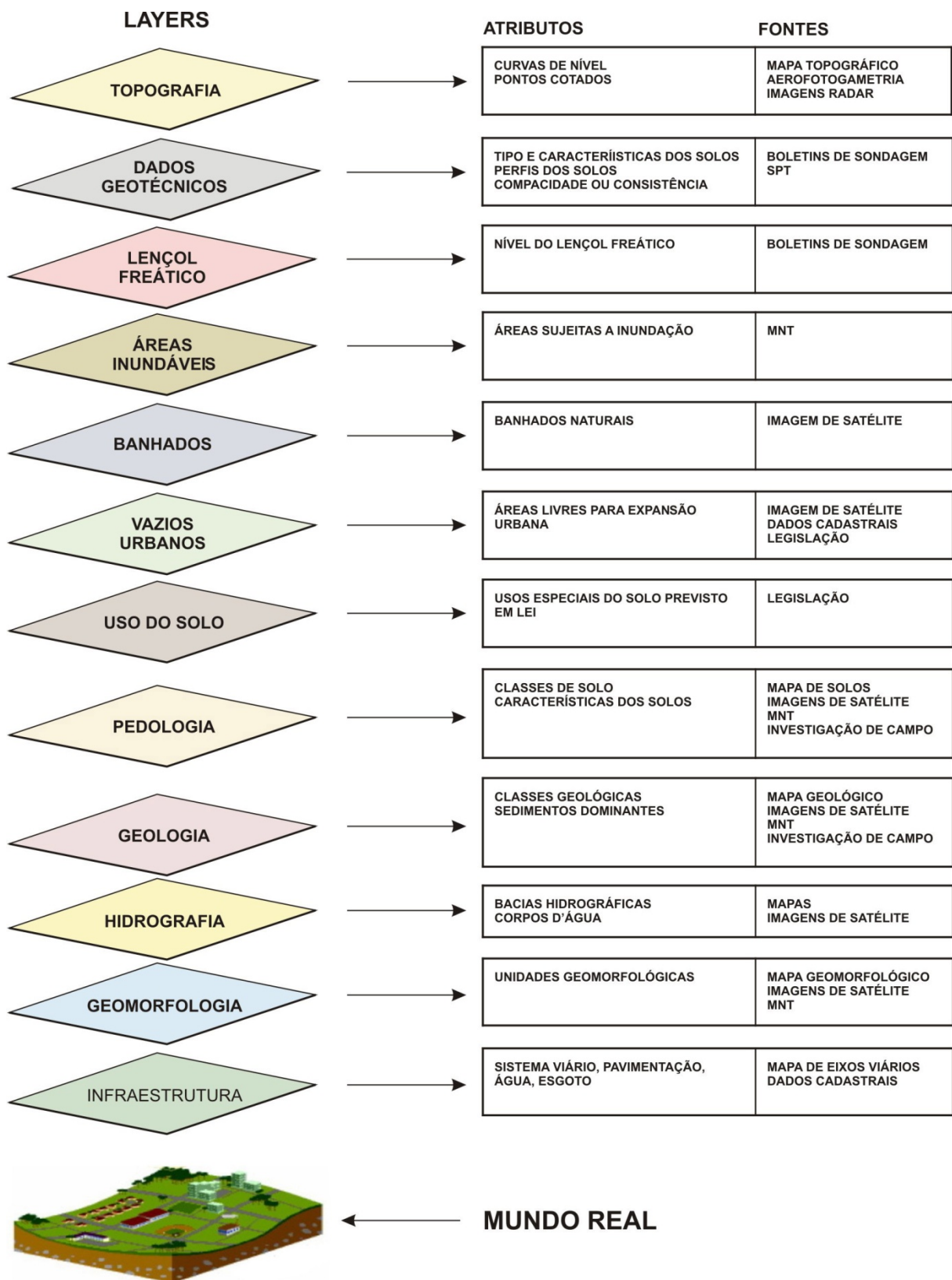


Figura 6.4 - Elementos da realidade, representados sob a forma de *layers*, para estudos geotécnicos.

Valente (1999) separa os planos de informações (ou *layers*) em **originais** (ou primários), **derivados**, e **associados**, sendo os primeiros caracterizados por armazenarem informações obtidas diretamente das fontes de dados, os segundos por serem criados através do processamento dos planos originais, e os últimos por serem obtidos pelo cruzamento de um ou mais planos originais ou derivados.

- **Universo Formal**

Conforme Câmara (2005), antes de se considerar os diferentes modelos formais para dados geográficos é necessário o entendimento dos conceitos de espaço absoluto e espaço relativo, decorrentes da possibilidade de se representar no computador a localização dos objetos no espaço ou apenas o posicionamento relativo entre eles.

Espaço absoluto ou cartesiano é, nas palavras de Concelelis (1997 apud RAMOS et al., 2007), um container de coisas e eventos, uma estrutura para localizar pontos, trajetórias e objetos, e espaço relativo ou leibnitziano, é o espaço constituído pelas relações espaciais entre coisas.

Para Ramos et al. (2007), dependendo do tipo de análise que se quer realizar tem-se que definir o uso de representações no espaço absoluto ou no espaço relativo. Usualmente, consultas espaciais que envolvem dois tipos de entidades (p.ex.: quais unidades de solo estão contidas em determinada área do município?) requerem a representação no espaço absoluto. O mesmo é aplicado na álgebra de mapas (p. ex.: áreas que tem declividade maior que 15% e solo arenoso). Já quando a análise envolve apenas relações de conectividade (p.ex.: qual o caminho mais curto para se chegar do ponto A ao ponto B?) pode-se usar representações no espaço relativo. Quando se trabalha com entidades como estradas, linhas de transmissão, redes de água e esgoto, etc., o espaço relativo é, na maioria das vezes, plenamente adequado.

Existem dois modelos formais para representação de entidades geográficas no espaço absoluto: **geo-campos** e **geo-objetos**. O primeiro modelo enxerga o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos observados. Por exemplo, um mapa de relevo associa a cada ponto do espaço uma cota altimétrica. Já o modelo de geo-objetos representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis, definidas por uma fronteira fechada. Por exemplo, um cadastro urbano identifica cada quadra como um dado individual, com atributos que a distingue das demais (CÂMARA, 2005).

A diferença essencial entre um geo-campo e um geo-objeto é a idéia de fronteira. A fronteira em um geo-campo é uma divisão arbitrária relacionada apenas com nossa capacidade de medida. Geo-campos estão associados a dados raster, onde os limites das imagens correspondem apenas a limitações do instrumento sensor e não do fenômeno medido. Já um geo-objeto é essencialmente definido por sua fronteira, e ao contrário do geo-campo, ele não pode ser dividido sem perder suas propriedades essenciais. Dentro das fronteiras todas as propriedades do objeto são constantes (CÂMARA, 2005).

Como cada geo-campo está associado a uma única função de atributos, ele pode ser dividido em geo-campo temático, associado a medidas nominais ou ordinais, e geo-campo numérico, associado a medidas por intervalo ou por razão.

Também é importante o conceito de coleções de geo-objetos que agrupa geo-objetos similares. Por exemplo, as Regiões Administrativas de Pelotas são uma coleção de geo-objetos.

Por sua vez, o modelo de rede concebe o espaço geográfico como um conjunto de pontos no espaço (denominados nós) conectados por linhas (chamadas arcos), onde tanto os nós como os arcos possuem atributos, sendo adequado para modelar fluxos, conexões de influência, linhas de comunicação e acessibilidade (CÂMARA, 2005).

A partir desses conceitos básicos pode-se construir um modelo de dados geográficos orientado-a-objetos. Segundo Câmara (2005), “*para fins de organização lógica, o modelo considera a existência de uma classe genérica, chamada de plano de informação (ou layer) [...]*”. O conceito de *layer* permite organizar o banco de dados geográfico e responde a questões tais como: “quais os dados presentes no banco de dados, qual o modelo associado a cada um deles?”

O modelo básico de dados orientado-a-objeto pode ser representado pelo esquema apresentado na Figura 6.5.

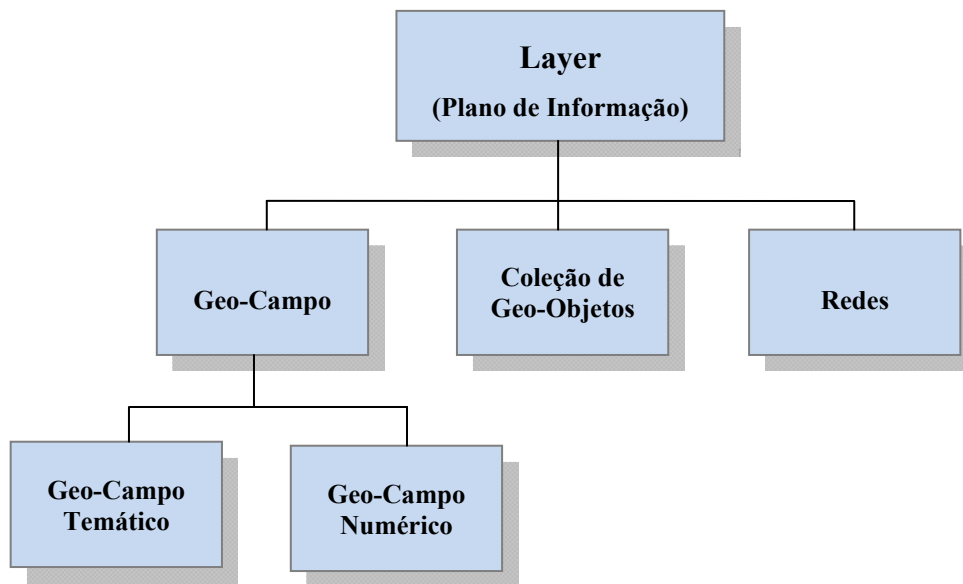


Figura 6.5 – Modelo Orientado-a-Objeto básico para dados geográficos. Fonte: Câmara (2005).

Na continuidade do próximo item será apresentada tabela contendo as diferentes *layers* utilizadas no SIG, com seus respectivos modelos geográficos formais. Somente serão arroladas as *layers* que compõem o banco de dados final do SIG. Diversas outras *layers* foram utilizadas durante o desenvolvimento do trabalho, tanto na geração de imagens (figuras), quanto no próprio processo de criação das entidades (*layers*, tabelas, feições, etc.) que compõem a versão final do SIG.

- **Universo Estrutural**

As estruturas de dados utilizadas em SIG podem ser divididas em duas grandes classes: estruturas vetoriais e estruturas matriciais.

As **estruturas vetoriais** representam as entidades geográficas através de três formas básicas: pontos, linhas e polígonos (ou áreas), definidas por suas coordenadas cartesianas.

Um ponto é um par ordenado (x,y) de coordenadas espaciais e pode ser usado para identificar localizações ou ocorrências no espaço. Uma linha é um conjunto de pontos conectados, e é utilizada para representar feições unidimensionais. Um polígono é uma região do plano limitada por uma ou mais linhas poligonais conectadas de tal forma que o último ponto de

uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima, e são usados para representar unidades espaciais individuais, tais como distritos, bairros, quadras, unidades geotécnicas, etc.

Os polígonos podem representar entidades isoladas, tais como quadras, ou adjacentes, tais como bairros. Quando adjacentes as suas coordenadas podem ser armazenadas separadamente, e assim duplicadas as coordenadas das fronteiras em comum, ou cada fronteira em comum é armazenada uma única vez e é indicado a que objetos elas estão associados. O primeiro caso, adotado no presente trabalho, é chamado de polígono sem topologia, e o segundo de topologia arco-nó-polígono.

Salienta-se que no caso de redes é fundamental armazenar-se as relações de adjacências utilizando-se a topologia arco-nó. Porém embora o trabalho envolva o uso desse tipo de representação, como por exemplo, os eixos viários, essas serão tratadas como uma abstração dentro do espaço absoluto, sem análises de fluxos e/ou conexões, e por consequência sem relações topológicas.

A Figura 6.6 mostra as representações vetoriais bi-dimensionais básicas de entidades geográficas em um SIG.

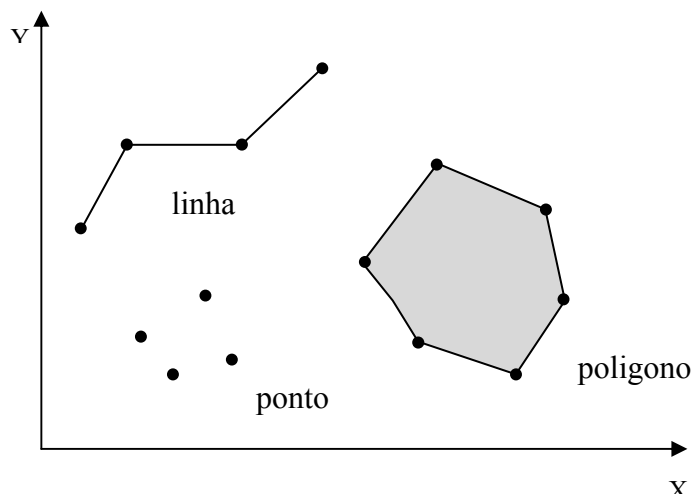


Figura 6.6 - Representações vetoriais em um SIG.

Câmara (2005) cita que uma das possibilidades relacionadas a dados vetoriais é a associação de valores que denotem a variação espacial de uma grandeza numérica. No caso mais simples,



associa-se a cada localização no espaço um valor numérico de atributo. Como os valores de localização (coordenadas  $x,y$ ) estão no plano, o valor adicional descreve uma superfície sobre esse plano. Não se trata, segundo o autor, estritamente de dados tridimensionais, pois o suporte espacial são localizações bidimensionais. Câmara (2005) trata esse tipo de representação como dimensão “dois e meio”.

São três as estruturas vetoriais que representam esta dimensão: **a)** conjunto de amostras esparsas 2,5D, constituído de pares ordenados  $(x,y,z)$ , onde  $(x,y)$  é uma localização no plano e  $z$  um valor numérico de atributo; **b)** conjunto de isolinhas (curvas de nível), que são linhas às quais estão associados valores numéricos; **c)** malhas triangulares ou TIN (*triangular irregular network*), que é uma estrutura com topologia do tipo nó-arco que representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Cada um dos três vértices das faces dos triângulos armazena as coordenadas de localização  $(x,y)$  e o atributo  $z$ , a qual comumente é associado um valor de elevação ou altitude, formando os chamados MNT (modelos numéricos de terreno).

As **estruturas de dados matriciais** usam uma grade regular sobre a qual os dados do elemento representado são codificados, célula a célula. A cada célula é atribuído um código referente ao atributo estudado. Nesta estrutura o espaço é representado como uma matriz  $P(m,n)$  composta de  $m$  colunas e  $n$  linhas, onde cada célula armazena um número de linha, um número de coluna, e um valor correspondente ao atributo estudado. Cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas  $(m,n)$  na matriz. A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula esta associada a uma porção do terreno, e a resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área do terreno por ela representada (CÂMARA, 2005).

As estruturas matriciais (ou raster) podem ser utilizadas para representar diferentes tipos de dados (Figura 6.7):

**a)** Grade regular: representação matricial de dimensão “dois e meio” na qual cada elemento da matriz esta associado a um valor numérico. É usada para representar grandezas que variam continuamente no espaço, como a altitude do terreno;

b) Matriz temática: representação matricial na qual cada valor da matriz é um código correspondente a uma classe do fenômeno estudado;

c) Imagem: representação matricial onde cada elemento da matriz, chamado de pixel (contração de *picture element*), armazena os níveis de cinza utilizados para representar a imagem.

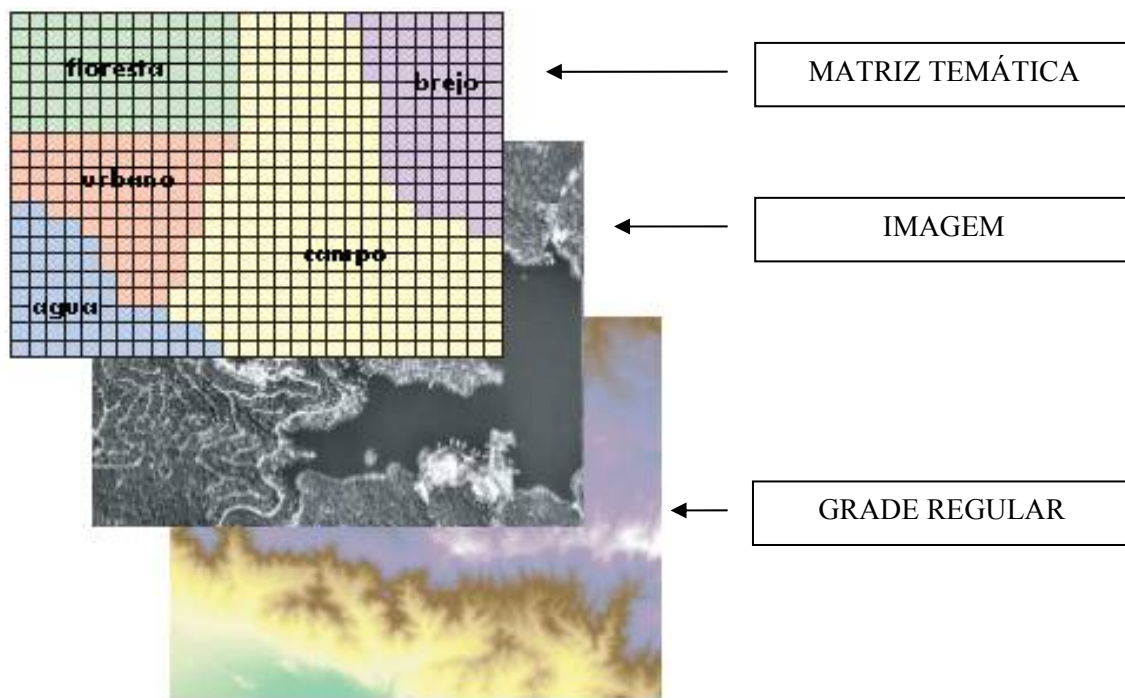


Figura 6.7 - Tipos de estruturas matriciais.

A Tabela 6.1 apresenta as *layers* que compõem o SIG, com seus correspondentes modelos formais e estruturas de dados. Nessa tabela, os nomes das *layers* são referenciados aos seus conteúdos, conforme aparecem no ArcMap, e não aos nomes pelas quais são armazenadas sobre a forma de tabelas no banco de dados.

Tabela 6.1 – Layers que compõem o SIG.

Grupo	Layer	Estrutura Formal	Estrutura de Dados
Dados Geotécnicos	unidades geotécnicas	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	sondagens SPT	coleção de geo-objetos	vetorial: pontos
Base Cartográfica	quadras	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	áreas verdes	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	corpos d'água	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	perímetro urbano	geo-objeto	vetorial: polígonos
	lotes	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	quadras projetadas	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
Legislação	altura das edificações	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	AEIAN	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	AEIAC	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	AEIS	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
Divisão Territorial	macro regiões	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	meso regiões	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	micro regiões	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
Infra-estrutura	rede d'água	redes	vetorial: linha
	rede de esgoto	redes	vetorial: linha
	pavimentação	redes	vetorial: linha
Dados do Meio Físicos	pedologia	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	geologia	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	banhados	geo-campo temático	matriz temática
	relevo	geo-campo temático	matriz temática
	declividades	geo-campo temático	matriz temática
	MNT	geo-campo numérico	grade regular
	áreas alagáveis	geo-campo temático	imagem
	enchente 2004	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	bacias hidrográficas	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
Imagens de Satélite	imagem satélite Quickbird	geo-campo temático	imagem
	imagem satélite Spot 5	geo-campo temático	imagem
Crescimento Urbano	vazios urbanos	coleção de geo-objetos	vetorial: polígonos
	vazios ponto das fotos	coleção de geo-objetos	vetorial: pontos
	vetores de crescimento	rede	vetorial: linhas

- **Universo de Implementação**

Para implementar as estruturas de dados que representam formalmente os conceitos da realidade geográfica utilizados neste trabalho foi utilizado o software de SIG **ArcGis Desktop**<sup>4</sup> da ESRI - *Environmental Systems Research Institute*, em sua versão 9.2.

Trata-se de um conjunto integrado de aplicações da qual fazem parte o ArcView, o ArcInfo e o ArcEditor. O ArcView provê ferramentas para mapeamento, análise, edição simples, e processamento de dados geográficos. O ArcEditor inclui todas as funcionalidades do ArcView com a adição de recursos avançados para edição de *coverages* e *geodatabases*. O ArcInfo, por sua vez, estende as funcionalidades de ambos os softwares, incluindo ferramentas para geoprocessamento avançado.

O ArcGis Desktop foi escolhido porque além de ser uma aplicação robusta e de amplo uso, sendo considerado o software de SIG mais popular do mundo<sup>5</sup>, é o software utilizado pela Coordenadoria de Mapeamento e Informações Geográficas da Prefeitura Municipal de Pelotas, para a qual os dados geográficos da pesquisa, sistematizados no SIG, serão repassados.

O ArcGis possui um ótimo nível de modelagem de dados vetoriais e matriciais, suportando implementação de dados para modelos relacionais e orientado a objetos. Trabalha, de forma nativa, com dados espaciais dos tipos *coverage* (padrão ArcInfo), *shapefile* (padrão ArcView 3.x), *grids* (ou dados matriciais), imagens e modelos numéricos de terreno através de rede irregular de triângulos (TINs). Possui um modelo de gerência de dados espaciais (*geodatabase*) que oferece diversos recursos de um SGBD (Sistema Gerencial de Banco de Dados).

O ArcMap é o aplicativo central do ArcGis, e está presente tanto no ArcView, como no ArcEditor e ArcInfo. É utilizado para as tarefas de visualização, análise, edição e impressão

---

<sup>4</sup> O ArcGis Desktop e seus aplicativos: ArcView, ArcInfo e ArcEditor são marcas registradas da ESRI - *Environmental Systems Research Institute*.

<sup>5</sup> A ESRI, fabricante do ArcGis, detém 45% do mercado mundial de softwares de SIG. Fonte: Fator GIS < <http://www.fatorgis.com.br/vernoticia.asp?cod=470>> , acessado em: 21 ago. 2009.

de mapas. Nele os dados geográficos são organizados sobre a forma de *layers* (camadas) que são agrupadas em um *Dataframe* (estrutura de dados).

Como já citado, uma *layer* pode ser entendida como um nível ou plano de informação que representa, de forma abstrata e simplificada, uma determinada feição (ou tema) da realidade. As *layers* podem ser agrupadas e correlacionadas, de forma a representar uma visão particular desta realidade. (Figura 6.8)

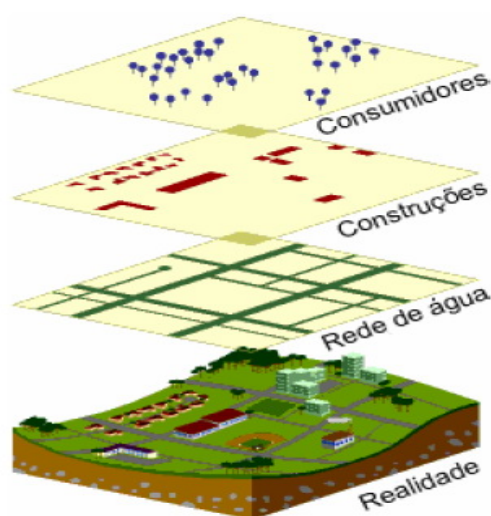


Figura 6.8 - Exemplo de abstração e representação da realidade através do agrupamento (ou sobreposição) de *layers* (camadas) para o uso em rede de distribuição d'água. Fonte: Demarqui (2009).

Até a versão 3.x do ArcView os dados eram armazenados sobre a forma de arquivos individuais no formato *shapefile* (arquivo de feições) para arquivos vetoriais, e DBF<sup>6</sup> (para as tabelas de atributos). A partir do ArcView 8.x, é introduzido um novo modelo de organizacional de dados, denominado *geodatabase*.

A *geodatabase* é uma base de dados relacional que armazena dados geográficos, ou seja, uma estrutura de tabelas de coordenadas de objetos espaciais, de atributos de objetos espaciais e de relacionamentos entre estas tabelas, estocadas em um banco de dados relacional. Através da

---

<sup>6</sup> DBF é o formato nativo do dBASE, um dos primeiros SGBD. Fonte: Wikipédia <<http://pt.wikipedia.org/wiki/DBASE>> acessado em: 22 ago. 2009.

*geodatabase* pode-se organizar um modelo lógico de dados e implementá-lo como modelo físico de dados, em uma estrutura de banco de dados, a ser operado pelo ArcGis.

Numa *geodatabase* os dados geográficos são organizados numa hierarquia de objetos de dados<sup>7</sup>. Esses objetos de dados são armazenados em classes de objetos (*table*), classes de feições (*feature classes*) e conjunto de feições (*feature datasets*). Uma classe de objetos é uma tabela na *geodatabase* que armazena dados não espaciais. Uma classe de feições é uma coleção de feições com o mesmo tipo de geometria (ponto, linha, polígono), os mesmos atributos e a mesma referência espacial. Uma classe de feições pode também armazenar anotações referentes às geometrias (Figura 6.9).

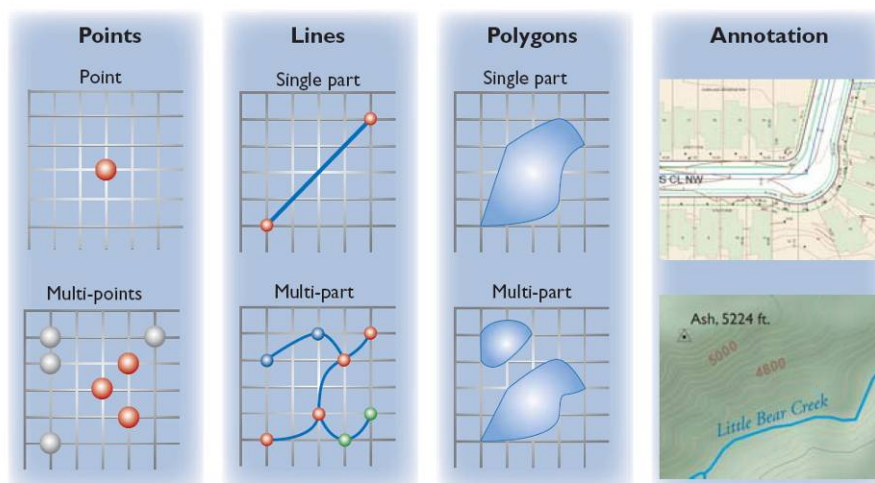


Figura 6.9 – dados armazenados em uma *feature class*. Fonte: ESRI, 2000.

Um conjunto de feições é uma coleção de classes de feições que compartilham a mesma referência espacial<sup>8</sup>. Classes de feições que armazenam feições simples podem ser organizadas dentro ou fora de um conjunto de feições. Classes de feições que contém relações

<sup>7</sup> Objeto de dados, no contexto do ArcGis, é uma representação digital de uma entidade espacial discreta. Um objeto pode pertencer a uma classe de objetos que têm valores de atributos e um comportamento comum com os demais objetos dessa classe.

<sup>8</sup> Referência espacial é o sistema de coordenadas usado para um *dataset* espacial. Todas as classes de feições armazenadas possuem a mesma referência e o mesmo domínio espacial.

topológicas<sup>9</sup> devem estar contidas dentro de um conjunto de feições para assegurar uma referência espacial comum.

A Figura 6.10 mostra os componentes primários de uma *geodatabase*, conforme eles são representados no ArcCatalog.

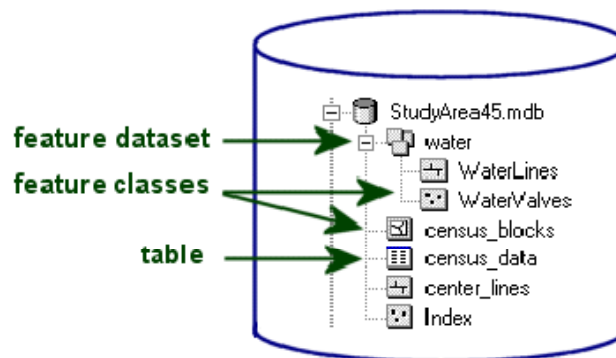


Figura 6.10 - Componentes primários de uma *geodatabase* – feature classes, feature dataset, table. Fonte: Laboratório de Topografia e Cartografia, UFES.

A *geodatabase*, em conexão direta com o ArcGis (sem o uso de outro software do mesmo fabricante, denominado ArcSDE), não armazena estruturas de dados matriciais, por conseguinte esses tipos de dados tem de ser armazenados externamente ao banco, em diretórios. Também são armazenados externamente a *geodatabase* arquivos não nativos do ArcGis como, por exemplo, arquivos CAD (*Computer Aided Design*).

A Figura 6.11 mostra a estrutura de dados do SIG: o diretório principal, os sub-diretórios de armazenamento de dados externos, e a *geodatabase* com suas respectivas *feature dataset* (conjunto de feições), *feature classes* (classes de feições), e *tables* (tabelas). As tabelas contendo os atributos de cada feição geográfica, devido ao grande número, não são apresentadas.

O sub-diretório *Layers* armazena arquivos “.lyr”, que são padrões de renderização e informações pré-definidos para algumas das feições armazenada na *geodatabase*. Este recurso

---

<sup>9</sup> Topologia na *geodatabase* é um conjunto de regras que se aplicam as classes de feições que explicitamente definem as relações espaciais que devem existir entre os dados de feições.



permite a geração de representações diferentes para uma mesma feição, que são armazenadas como arquivos separados.

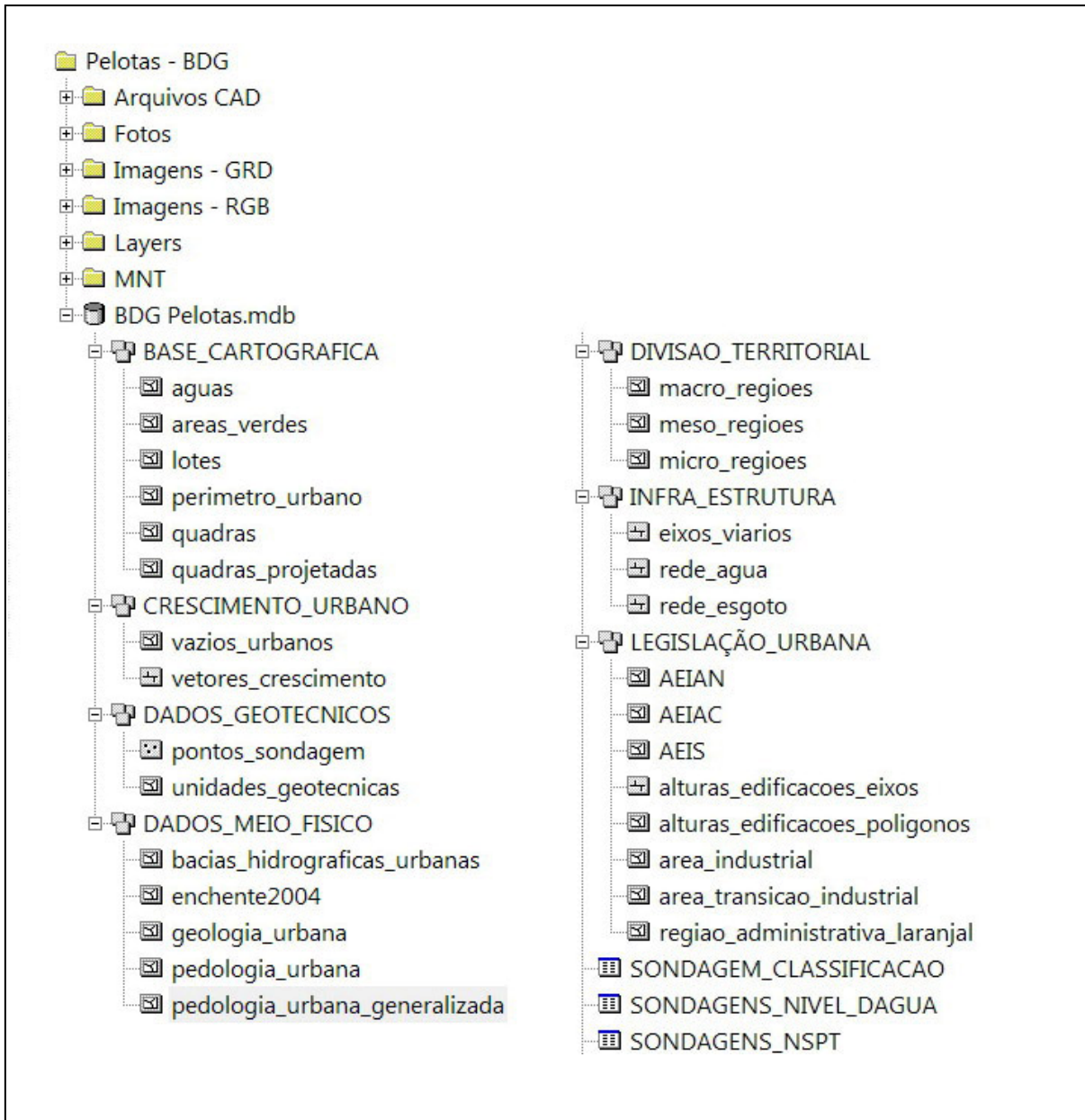


Figura 6.11 – Estrutura de dados do SIG.



## 6.4 ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE SONDAgens SPT

Com a finalidade de armazenar e sistematizar os dados referentes às sondagens SPT da zona urbana, e permitir a utilização destes no SIG, foi criado um banco de dados de sondagens no *software* Microsoft Access.

Como os laudos (boletins) de sondagens foram fornecidos pela empresa Fundacom, o banco de dados foi estruturado seguindo o boletim de sondagem, de maneira que o mesmo possa ser aproveitado como base para o desenvolvimento futuro de um aplicativo (programa computacional) que atenda as necessidades de armazenamento, visualização de dados e geração de relatórios da empresa.

Sendo assim, foram criadas as seguintes tabelas no Access:

- i) Clientes: tabela contendo o código e nome do cliente;
- ii) Obra: tabela contendo o código, nome, e endereço da obra;
- iii) Sondagens: tabela contendo os dados sobre os furos de sondagem: código, referência, data, número, coordenadas, profundidade inicial e final do nível d'água, profundidades inicial e final dos métodos de perfuração empregados (trado concha, trado helicoidal, circulação d'água), condição de observação/não observação das profundidades dos níveis d'água, observações;
- iv) Amostras: tabelas contendo a descrição das amostras, e os estados de compacidade e/ou consistência;
- v)  $N_{spt}$ : tabela contendo o numero de golpes necessários a penetração no solo dos 30 cm finais do amostrador;
- vi) Camadas: tabela contendo o código da camada, o nome da camada (camada 1, camadas 2, etc.), e a profundidade da camada;

Após a criação das tabelas foram estabelecidos os relacionamentos entre as mesmas, conforme mostra a Figura 6.12.

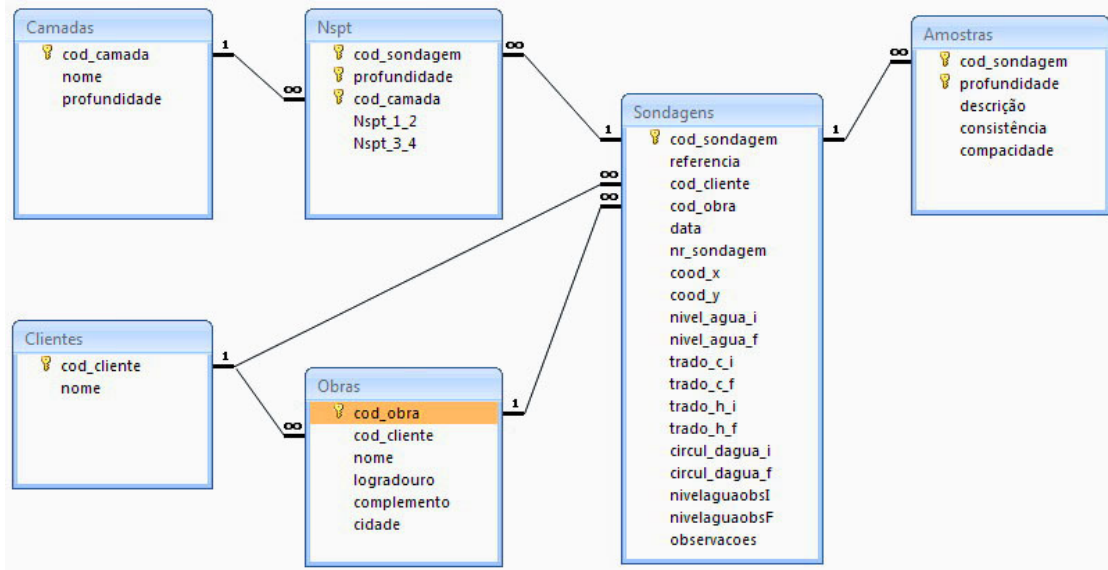


Figura 6.12 – Tabelas do banco de dados de sondagens, com seus campos e relacionamentos

O passo seguinte foi à elaboração de um formulário para entrada de dados. Foi criado um formulário com seis abas, cada aba correspondendo a uma das tabelas do banco de dados. A Figura 6.13 mostra o formulário de entrada de dados com a aba contendo os campos da tabela Sondagem ativa.

O formulário, intitulado "BANCO DE DADOS DE SONDAgens SPT", possui a aba "Sondagens" selecionada. Os campos de entrada são:

- Código: 117
- Referência: 52/92
- Data: 28/9/1992
- N° Sondagem: 1
- Coordenada X: 383270,00
- Coordenada Y: 6484441,00

Seção de observações:

	OBSERVADO	PROFUNDIDADE
Nível d'água inicial	Sim	1,95
Nível d'água final	Não	
	INICIAL	FINAL
Trado circular	0,00	4,50
Trado helicoidal		
Circulação d'água	4,50	8,00

Observações: Laudo da Empresa Azevedo Schönhofen Ltda

Cliente: ALEXANDRE BORGES MARTINS  
Obra: AV. JOAQUIM AUGUSTO ASSUMPCÃO

Figura 6.13 – Formulário de entrada de dados no Banco de Dados SPT. Aba sondagens ativa.

Para fazer uma conexão entre o banco de dados SPT e o SIG era fundamental que as sondagens estivessem geograficamente localizadas. Como os boletins de sondagem não

possuíam a informação da coordenadas dos furos, foi necessário determiná-las. Esta tarefa foi realizada em CAD através da localização dos endereços de sondagens no Mapa Urbano de Lotes da PMPel, considerando, quando não havia croqui com a locação do furo, a posição deste no centro do lote. Dado a escala de mapeamento, os erros posicionais resultantes deste procedimento não interferiram nas análises realizadas.

No total foram mapeados 188 pontos de sondagens e selecionados, com base na distribuição espacial, 38 boletins para serem lançados no banco de dados SPT.

## **6.5 DETERMINAÇÃO DOS VETORES E ÁREAS DE CRESCIMENTO URBANO**

A metodologia proposta para determinação dos vetores e áreas de crescimento urbano, ao passo que esta longe do desenvolvimento de modelos de simulação (abordados no capítulo 2), também ultrapassa o simples uso de sobreposição de manchas urbanas de diferentes épocas, e análises sob padrões de crescimento pré-estabelecidos. Trata-se de: (i) utilizar variados tipos e formas de dados espaciais, de diversas fontes, em diferentes níveis de desagregação; (ii) criar séries históricas, a fim de determinar os vetores do crescimento passado, e confrontá-los com a situação atual da ocupação urbana (em especial os vazios urbanos) e com os condicionantes físicos e legais do crescimento; e (iii) delimitar áreas de potencial ocupação futura, com o objetivo de otimizar os esforços de mapeamento e análise geotécnica.

### **6.5.1 Considerações Gerais**

Para determinar a direção e sentido do crescimento urbano da cidade de Pelotas foram utilizados como ponto de partida os dados provenientes do relatório final da pesquisa realizada por Silva (2004) intitulada: “A Forma Urbana em Pelotas: Evolução Morfológica e Análises Espaciais”. Trata-se de uma análise da evolução morfológica urbana da cidade através do seu parcelamento de solo.

Os dados dessa pesquisa, levantados junto ao cadastro imobiliário da prefeitura, e reutilizados parcialmente no presente trabalho, são: mapas e plantas cadastrais, plantas de loteamentos, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares. Na sua grande maioria são representações gráficas em formato matricial analógico, que foram escanizadas e posteriormente

georreferenciadas e digitalizadas em ambiente CAD (*Computer Aided Design*). Cada um desses mapas e plantas gerou uma poligonal, as quais, em conjunto, retratam o parcelamento e a ocupação do solo urbano em Pelotas ao longo de sua evolução histórica.

As plantas referentes ao parcelamento de solo, sob a forma de loteamento, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares, somente foram encontradas para períodos posteriores ao ano de 1922. Para o período anterior, de 1815 a 1922, a ocupação do solo foi levantada através da cartografia urbana existente nos arquivos da Secretaria de Urbanismo de Pelotas.

No total a pesquisa prospectou e catalogou dados de um período de 187 anos, de 1815 a 2002. Para o período posterior foi realizado, para o presente trabalho, uma nova prospecção de dados junto ao cadastro da prefeitura, complementando e atualizando o trabalho até o final do ano de 2007. No total foram prospectados e digitalizados mais 10 loteamentos e 15 conjuntos habitacionais.

Somente foram utilizados os dados brutos da pesquisa de Silva (2004), quais sejam: os *shapes* das poligonais dos parcelamentos de solo e dos mapas cadastrais, os quais foram reorganizados e reclassificados no ArcGis de acordo com um dos objetivos traçados: obter as direções e sentidos do crescimento urbano na cidade de Pelotas ao longo do tempo. Para tanto não era necessário a subdivisão do parcelamento de solo em loteamentos, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares. Sendo assim, houve uma unificação das duas primeiras formas de parcelamento em um único tema: parcelamento do solo, o qual foi dividido em seis classes temporais, que em conjunto com as poligonais representativas dos quatro mapas cadastrais digitalizados indicaram os vetores de crescimento ao longo do tempo. Os dados referentes às ocupações irregulares foram descartados por estarem incompletos e devido a não ter sido possível estabelecer (em virtude de falta de dados nos cadastros da prefeitura) uma cronologia dos mesmos.

Para estabelecer as direções do crescimento da cidade, o perímetro urbano foi dividido, a partir do centro histórico (praça Cel. Pedro Osório), em oito setores. Cada um desses setores corresponde a uma orientação cardinal (Norte, Sul, Leste e Oeste), ou colateral (Nordeste, Noroeste, Sudeste, Sudoeste), tendo como seus limites às orientações subcolaterais Norte-nordeste (22,5°), Leste-nordeste (67,5°), Leste-sudeste (112,5°), Sul-sudeste (157,5°), Sul-sudoeste (202,5°), Oeste-sudoeste (247,5°), Oeste-noroeste (292,5°) e Norte-noroeste (337,5°).

### 6.5.2 Crescimento histórico-espacial de Pelotas

A análise da espacialização e classificação dos dados no ArcGis resultou na percepção de que a cidade, desde seu núcleo inicial, cresceu conforme a seguinte seqüência histórico-espacial:

(i) a partir de seu primeiro núcleo, correspondente hoje ao entorno da catedral São Francisco de Paula, entre os anos de 1815 e 1835, Pelotas cresceu para o sul, em direção ao canal São Gonçalo, em uma ocupação que a oeste seguiu o contorno das áreas de maior cota altimétrica, mas que a leste principiou por áreas mais baixas;

(ii) de 1835 a 1882 a cidade continuou a crescer em direção ao canal São Gonçalo, mas o vetor de crescimento assumiu predominantemente a direção sudeste, aumentando a ocupação das áreas de baixa cota altimétrica;

(iii) de 1882 a 1916 houve uma continuidade do crescimento na direção sudeste e a cidade cresce até alcançar o limite correspondente ao canal São Gonçalo. Neste período surgiram dois novos vetores, um na direção sudoeste, onde aumentou a ocupação de novas áreas baixas e outro na direção norte, seguindo as áreas mais elevadas (Figura 6.14).

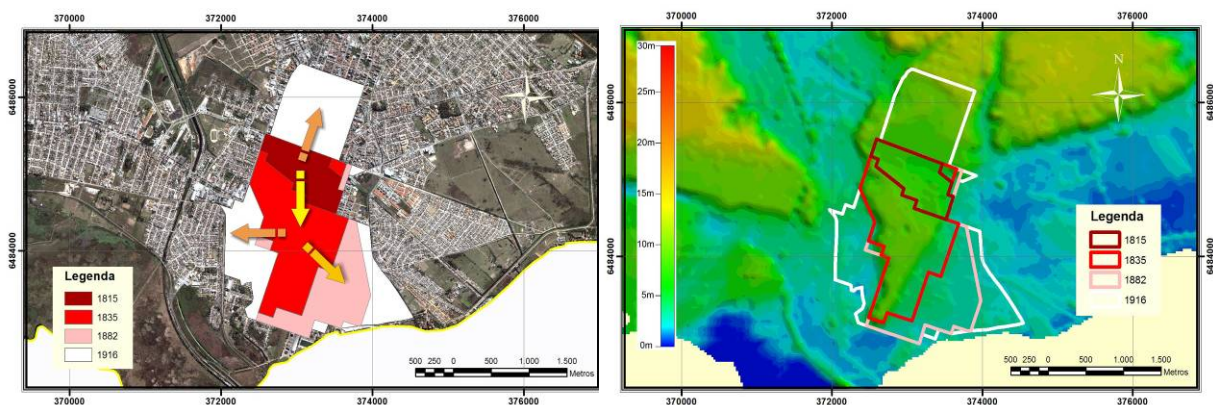


Figura 6.14 – Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas/RS de 1815 a 1916.

(iv) a partir do ano de 1922 surgiram os primeiros loteamentos periféricos de caráter popular. De 1922 a 1938 a cidade começou a crescer em duas novas direções: noroeste e nordeste, e continuou a expandir-se para o norte. Pelotas começou a seguir um modelo de crescimento disperso no sentido predominante das áreas de maiores altimetrias (Figura 6.15);

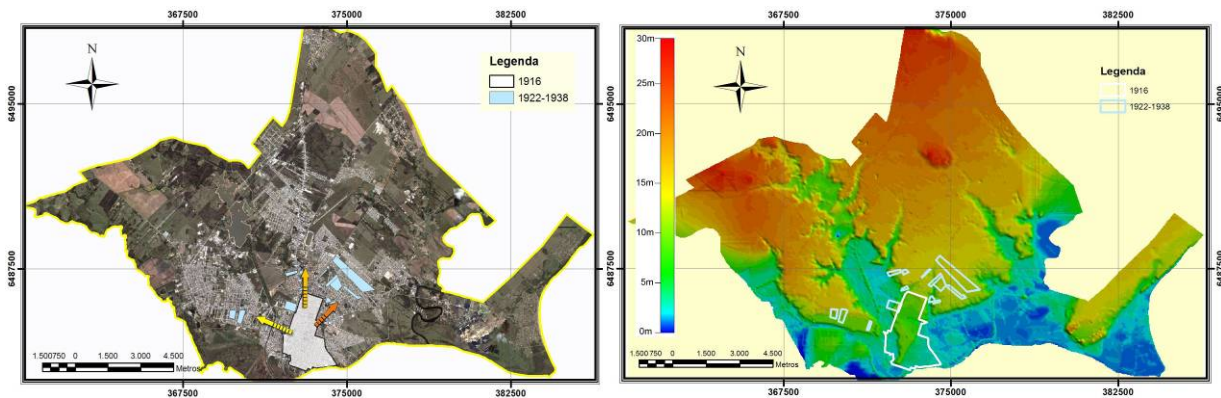


Figura 6.15 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1922 a 1938.

(v) de 1939 a 1956 surgiu um grande número de novos loteamentos periféricos, aumentando consideravelmente a área urbana, que se estendeu em algumas direções até o limite urbano atual. Caracterizou esse período: a volta da ocupação de novas zonas baixas junto à área central da cidade, nas direções leste e oeste; a intensificação da ocupação nordeste, com o surgimento de novos loteamentos contíguos aos implantados no período anterior; o aumento da extensão do crescimento a noroeste, configurando um eixo de crescimento ao longo da Avenida Duque de Caxias; o surgimento das ocupações balneárias junto a Laguna dos Patos, com acesso pela Avenida Adolfo Fetter, que marcou a estruturação de um novo e forte vetor de crescimento na direção leste; e o aparecimento de loteamentos populares ao norte, ao longo da Avenida Fernando Osório (com continuidade pela rodovia BR 116), a uma grande distância do centro urbano, fortalecendo esse vetor de crescimento e estendendo desproporcionalmente os limites da cidade (Figura 6.16);

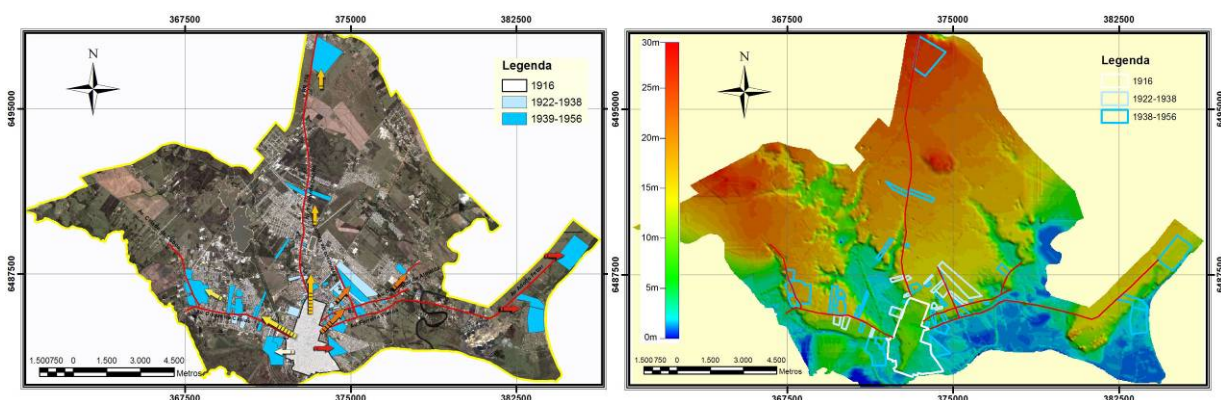


Figura 6.16 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1939 a 1956.



(vi) de 1957 a 1963 o crescimento urbano se caracterizou basicamente pela estruturação do vetor norte, surgindo novas ocupações entre o centro urbano e os distantes loteamentos implantados no período anterior. O principal eixo estruturador do crescimento neste intercurso de tempo foi a Avenida Fernando Osório, seguido pelas avenidas República do Líbano, 25 de Julho e pela rodovia BR 116. A leste houve um aumento na ocupação balneária junto a Laguna dos Patos (Figura 6.17);

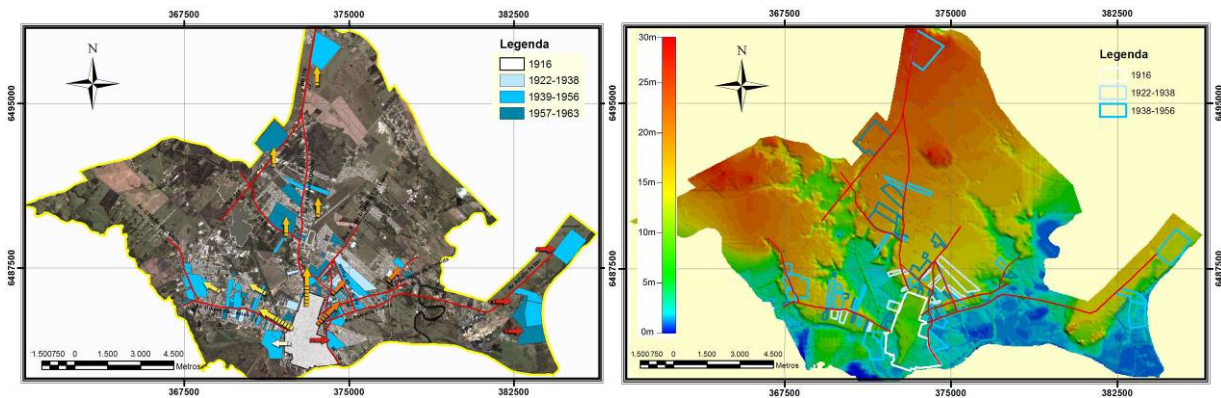


Figura 6.17 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1957 a 1963.

(vii) de 1964 a 1971 houve uma forte intensificação na ocupação noroeste ao longo a Avenida Duque de Caxias e a consolidação do vetor leste com o surgimento de novos loteamentos entre as avenidas Domingos de Almeida e Ferreira Vianna, e de um grande loteamento na avenida de ligação com os balneários (Avenida Adolfo Fetter) (Figura 6.18);

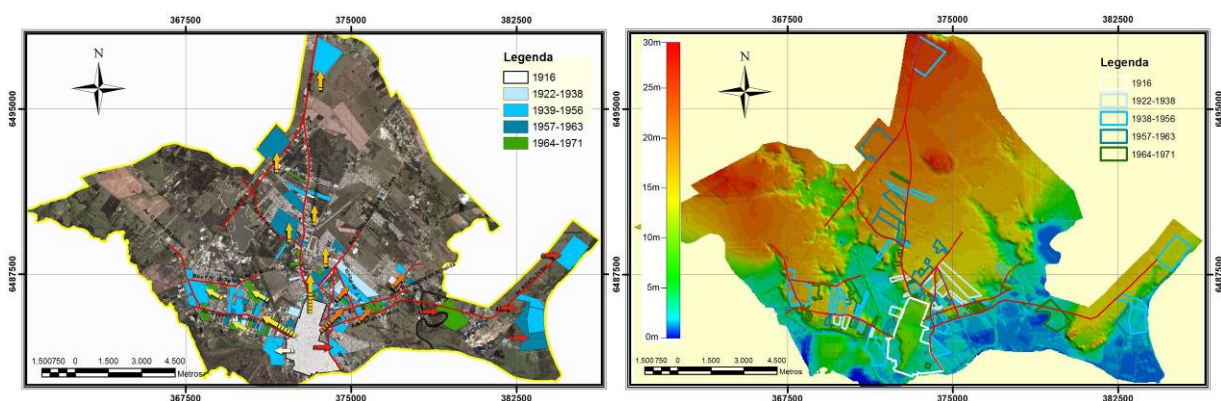


Figura 6.18 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1964 a 1971.

(viii) o período de 1972 a 1988 se caracterizou pela ocorrência de novas ocupações na direção norte, tanto ao longo da Avenida Fernando Osório (principal eixo estruturador desse crescimento), quanto ao longo das avenidas Zeferino Costa e Salgado Filho. A ocupação na

direção leste também se intensificou, caracterizando um forte vetor de crescimento. À sudeste surgiram novas ocupações em zonas baixas e alagadiças, protegidas por sistemas de bombas e pelo dique construído ao longo do canal São Gonçalo (Figura 6.19);

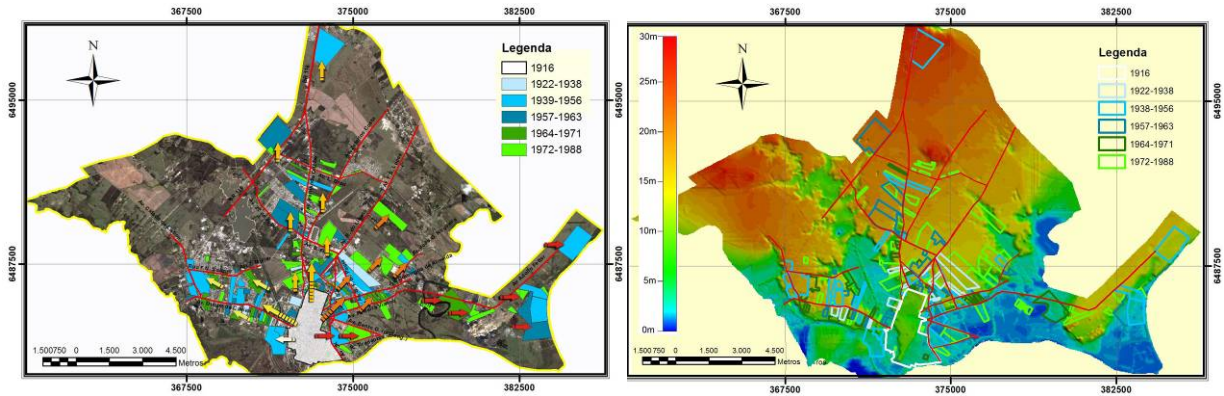


Figura 6.19 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1972 a 1988.

(xix) os loteamentos que surgiram no período de 1989 a 2006 não alteraram a configuração do crescimento urbano, confirmando as direções leste, norte e noroeste como principais vetores deste crescimento.

A Figura 6.20 e a Figura 6.21 mostram o crescimento urbano de Pelotas no período de 1916 a 2006.

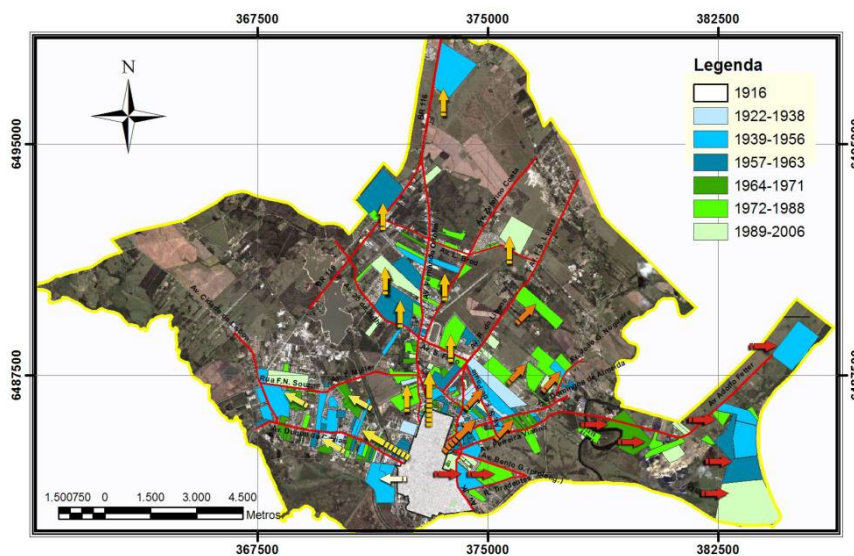


Figura 6.20 - Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas (RS) de 1916 a 2006.



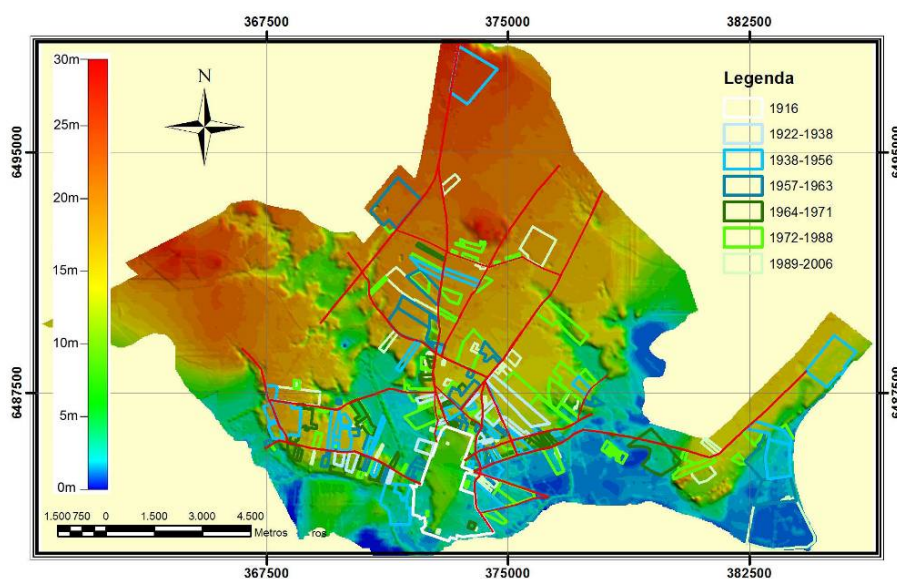


Figura 6.21 - Vetores de crescimento urbano e relevo no município de Pelotas (RS) de 1916 a 2006.

### 6.5.3 Identificação dos Vazios Urbanos

Seguindo a metodologia proposta, foi realizado um mapeamento e a análise da atual situação da ocupação do solo na cidade. Obedecendo-se regras pré-estabelecidas foram delimitadas as áreas ocupadas e as não ocupadas, sendo estas últimas convencionadas como “vazios urbanos”.

O mapeamento dos vazios urbanos, considerados áreas ociosas e/ou de especulação imobiliária, ganhou grande importância para os municípios com a entrada em vigor da Lei 10.257/2001 - Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001) que regulamenta os art. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana. O Art. 5º do Estatuto das Cidades prescreve que lei municipal específica para área incluída no Plano Diretor poderá determinar o parcelamento, a edificação ou a utilização compulsórios do solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado, devendo fixar as condições e os prazos para implementação da referida obrigação.

Logo, para os municípios poderem aplicar tais instrumentos da política urbana, estes deverão, através de seus Planos Diretores, determinarem quais as áreas a eles sujeitas, e definir o que é por eles considerado solo urbano não edificado, subutilizado e/ou não utilizado. No caso específico de Pelotas, a equipe técnica que elaborou o Projeto de Lei do 3º Plano Diretor definiu como não edificados, subutilizados ou não utilizados, os imóveis com área territorial

superior a 1.000 m<sup>2</sup> sem edificação ou edificado, mas com índice de aproveitamento igual ou inferior a 1% do terreno, assim como todo o perímetro urbano como área sujeita a aplicação dos institutos do parcelamento, edificação ou utilização compulsórios. Definido os critérios, a Prefeitura de Pelotas realizou o mapeamento desses imóveis, elaborando um mapa de vazios urbanos através do cruzamento de dados vetoriais (representação vetorial dos lotes urbanos), dados tabulares (cadastro imobiliário da Prefeitura de Pelotas), e dados raster (imagem de satélite).

Após a análise do processo e do resultado do mapeamento realizado pela Prefeitura para o novo Plano Diretor de Pelotas, concluiu-se que apesar de mapear com relativa exatidão uma boa parte dos imóveis urbanos considerados não edificados, subutilizados e ou não utilizados, existia um considerável número de erros. Tais erros foram gerados, principalmente, em virtude da desatualização do cadastro imobiliário e da imagem de satélite de alta resolução disponível na época (do ano de 2002). Além disto, o mapeamento incluía um grande número de imóveis isolados, que não constituíam “vazios urbanos” no sentido de áreas propícias ao “crescimento territorial urbano” (enfoque do presente trabalho). Concluiu-se então pela necessidade, para esta pesquisa, de depurar e atualizar o mapeamento realizado pela prefeitura, utilizando como base uma nova imagem de satélite do ano 2006 adquirida pela mesma. Além de corrigir e qualificar o mapeamento anterior tinha-se como objetivo adequá-lo a metodologia proposta, o que foi feito através das seguintes etapas:

- a)** Em ambiente CAD, utilizando técnica de *overlay*, foram sobrepostos os vetores dos imóveis mapeados pelo trabalho anterior (Plano Diretor), a totalidade dos vetores dos lotes urbanos cadastrados, a delimitação vetorial das áreas não cadastradas e a imagem de 2006 do satélite QuickBird (Figura 6.22);
- b)** Foram excluídos dos imóveis mapeados aqueles que na imagem apresentavam edificações com área construída aproximada (calculada sobre a própria imagem) maior do que 1% da área territorial;
- c)** Foram incluídos, após cruzamento com os dados cadastrais, novos imóveis com área territorial superior ou maior a 1.000 m<sup>2</sup> que na imagem apareciam como territorial ou com área construída menor do que 1% da área territorial e que não faziam parte do mapeamento anterior;

**d)** Foram excluídos do novo mapeamento imóveis que, mesmo atendendo aos critérios de áreas, se situavam geograficamente isolados e não representavam vazios urbanos significativos quando analisados sobre o ponto de vista do crescimento urbano;

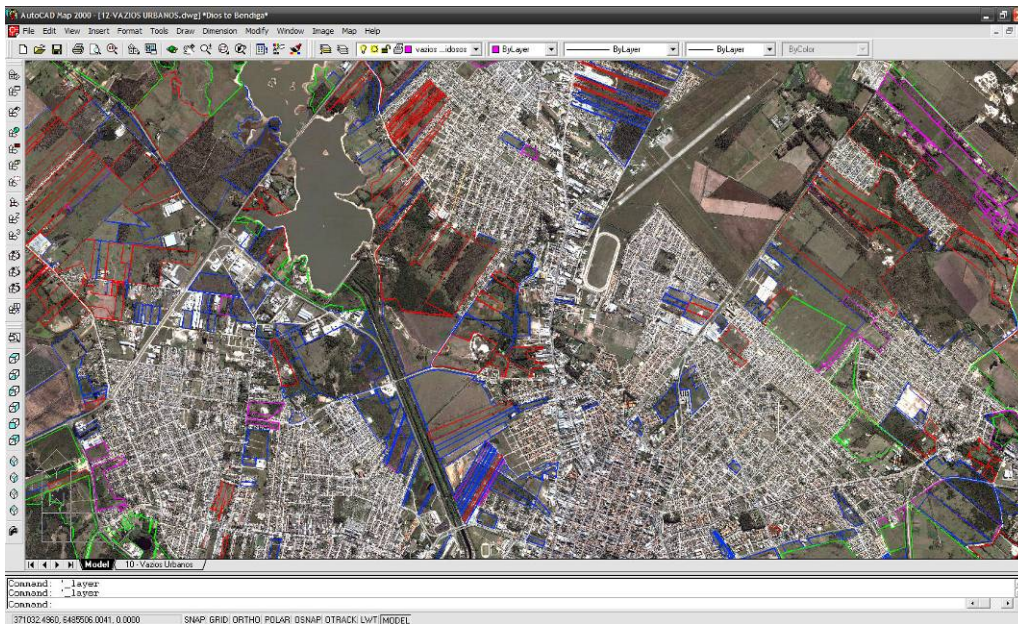


Figura 6.22 - Lotes urbanos classificados como subutilizados, não edificadas ou não utilizados.

**e)** Foi realizada uma seleção de imóveis contíguos com áreas individuais inferiores a 1.000 m<sup>2</sup>, sem área edificada ou com esta menor do que 1% da área territorial, e que, independente de pertencerem ou não ao mesmo proprietário, representavam vazios urbanos;

**f)** Foram mapeados, por subtração das áreas cadastradas e reconhecimento visual sobre a imagem de satélite, as áreas de vazios urbanos não cadastrados;

Após essa série de operações em CAD, os polígonos resultantes foram importados no *software* de SIG ArcGis (Figura 6.23). As fronteiras (limites) entre os polígonos representativos dos imóveis (lotes) e áreas contíguas foram eliminadas, e os mesmos foram unidos em uma única classe temática nomeada de “Vazios Urbanos - total” (Figura 6.24);



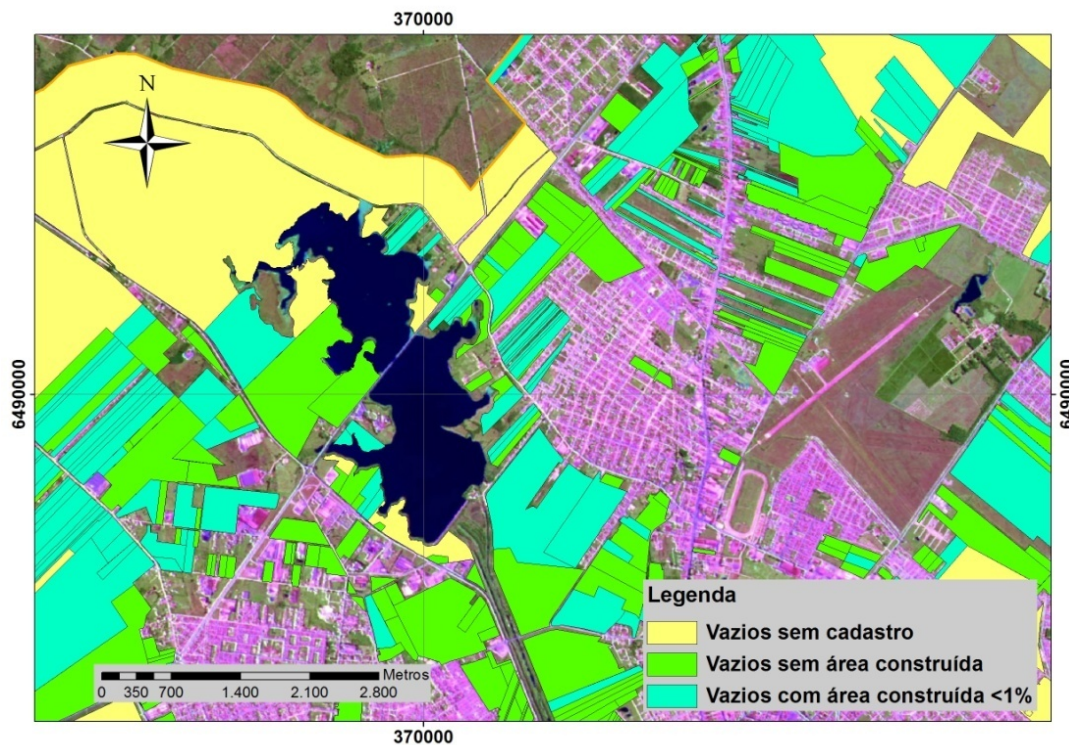


Figura 6.23 - Classes temáticas representativas dos vazios urbanos

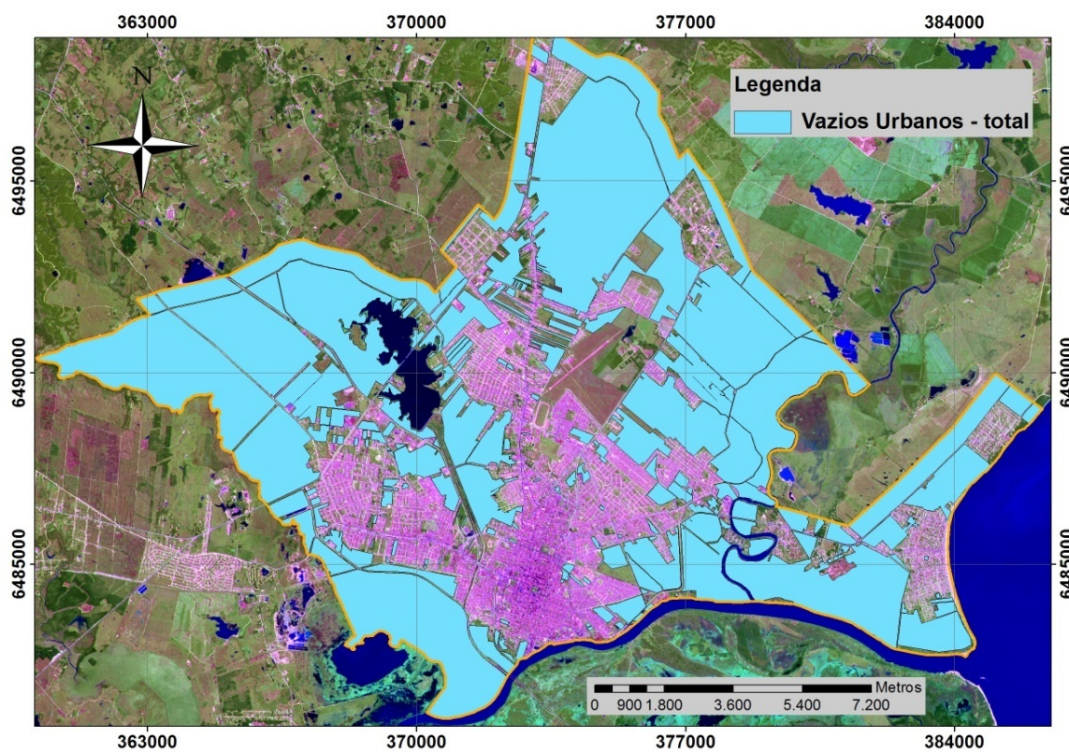


Figura 6.24 – Classe temática “Vazios Urbanos – total”.

#### 6.5.4 Análise e Mapeamento dos Condicionantes Físicos e Legais

Nesta etapa, com o intuito de restringir e delimitar melhor as áreas de crescimento, foram analisados e mapeados os condicionantes físicos e legais do uso e ocupação do solo. Para tanto foi utilizado como instrumento legal a lei do 3º Plano Diretor de Pelotas, que foi elaborada entre os anos de 2007 e 2008 e entrou em vigor em 1º de janeiro de 2009. Por ser recente, o 3º Plano Diretor foi concebido com base na atual conformação urbana da cidade, considerando a dinâmica urbana presente. Na elaboração desse Plano foram avaliados diversos condicionantes físico-ambientais, que resultou na definição e mapeamento de áreas de especial interesse, eliminando, por conseguinte, a necessidade de novas análises sobre os mesmos temas.

A lei do Plano estabelece diversas áreas especiais de interesse, as quais, em face de suas características e interesses públicos delas decorrentes, passam a ser objeto de tratamento especial, através de definição de normas de ocupação diferenciada e a criação de mecanismos de gestão para desenvolvimento de ações. Entre essas áreas, duas interessam particularmente neste estudo: Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural e as Áreas de Ocupação Restrita.

As Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural são aquelas que apresentam peculiaridades ecológicas, sendo observado relevo, hidrologia, solo, fauna, flora e ocupação humana, caracterizando estas condições como biodiversidade local. Tais áreas apresentam diferentes níveis de proteção, com restrição ou limitação ao uso do solo e preservação de seus recursos naturais, com usos proibidos ou limitados, manejo controlado com áreas destinadas preferencialmente à pesquisa científica, ao lazer, à recreação, aos eventos culturais, ao turismo e à educação (PELOTAS, 2008). Essas áreas são divididas para fins de classificação nas seguintes categorias: (i) Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) Pública; (ii) Área Especial de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) Particular; (iii) Área de Preservação Permanente (APP) Ocupada; (iv) Área de Preservação Permanente (APP) Degradada; (v) Área Ambientalmente Degradada (AAD); e (vi) Áreas de Ocupação Restrita. Essas últimas, embora relevantes, não foram definidas pelo novo Plano Diretor, que atribui ao poder público municipal através de lei ordinária, quando constatada a saturação dos equipamentos e serviços públicos, identificá-las. Assim, não fizeram parte desse trabalho.



O mapeamento e inclusão no SIG dos dados referentes às Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural, definidas pelo Plano, se deram a partir dos mapas em formato AutoCAD cedidos pela Prefeitura. Em ambiente CAD, os arquivos foram depurados e preparados para importação no ArcGis através da criação e/ou fechamento de poligonais e da separação dos polígonos em cinco temas correspondentes às diferentes AEIAN. Já no ArcGis, os arquivos CAD contendo os polígonos de cada tema foram convertidos para o formato *shapefile*, e tiveram suas tabelas de atributos editadas. A Figura 6.25 mostra as classes temáticas das AEIAN;

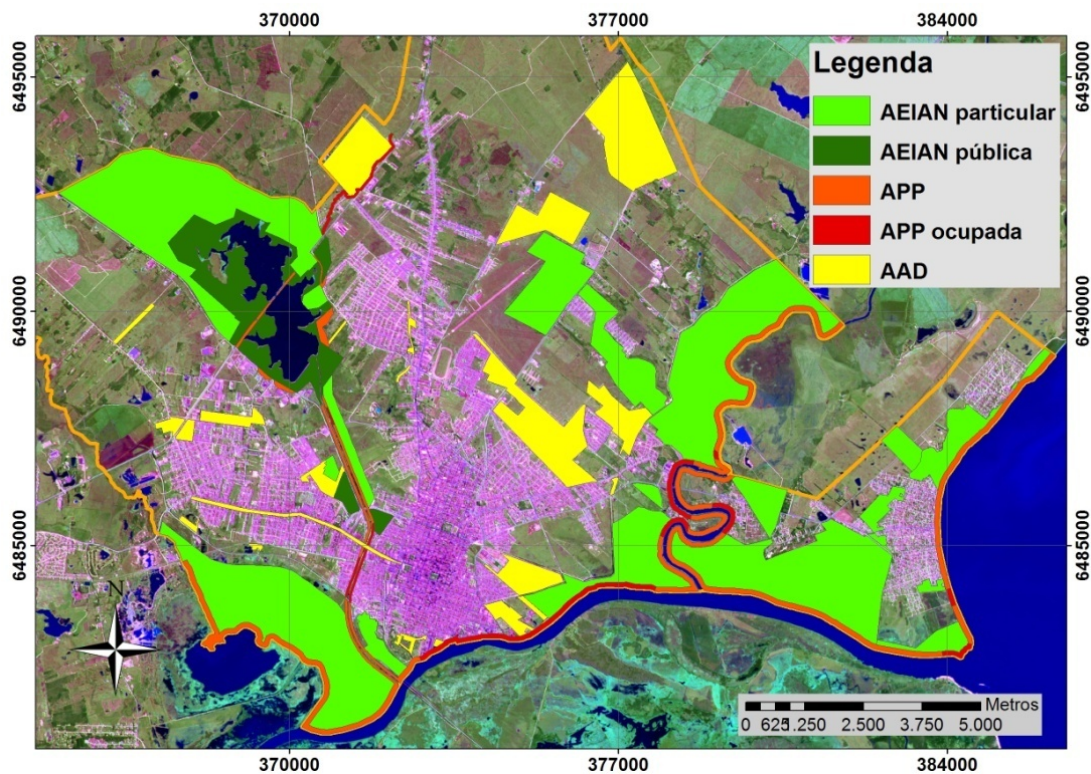


Figura 6.25 - Classes temáticas das Áreas Especial de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN).

Logo após, as cinco classes foram unidas em uma única, correspondente a totalidade das AEIAN onde a ocupação é restrita e/ou controlada (Figura 6.26).

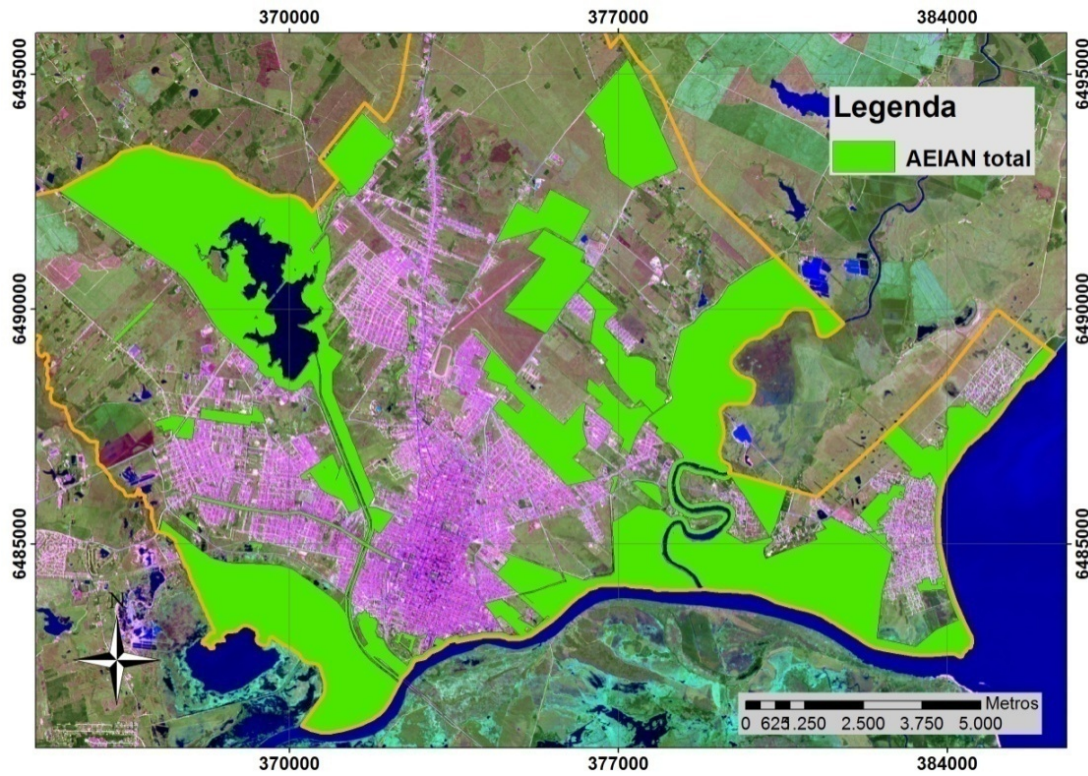


Figura 6.26 - Classe temática do total das Áreas de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN).

### 6.5.5 Análise e Cruzamento de Dados

Nesta etapa foi realizado o cruzamento entre os dados resultantes das três etapas anteriores: (i) vetores de crescimento; (ii) vazios urbanos; e (iii) áreas com ocupação restrita devido aos condicionantes físicos e legais. Primeiro foram reunidas os temas correspondes aos vazios urbanos, às Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN), e aos vetores de crescimento. Logo após, foi subtraída a classe AEIAN da classe Vazios Urbanos, resultando uma terceira classe que representa as áreas de vazios urbanos passíveis de ocupação. Essa, somada aos vetores de crescimento, é mostrada na (Figura 6.27).



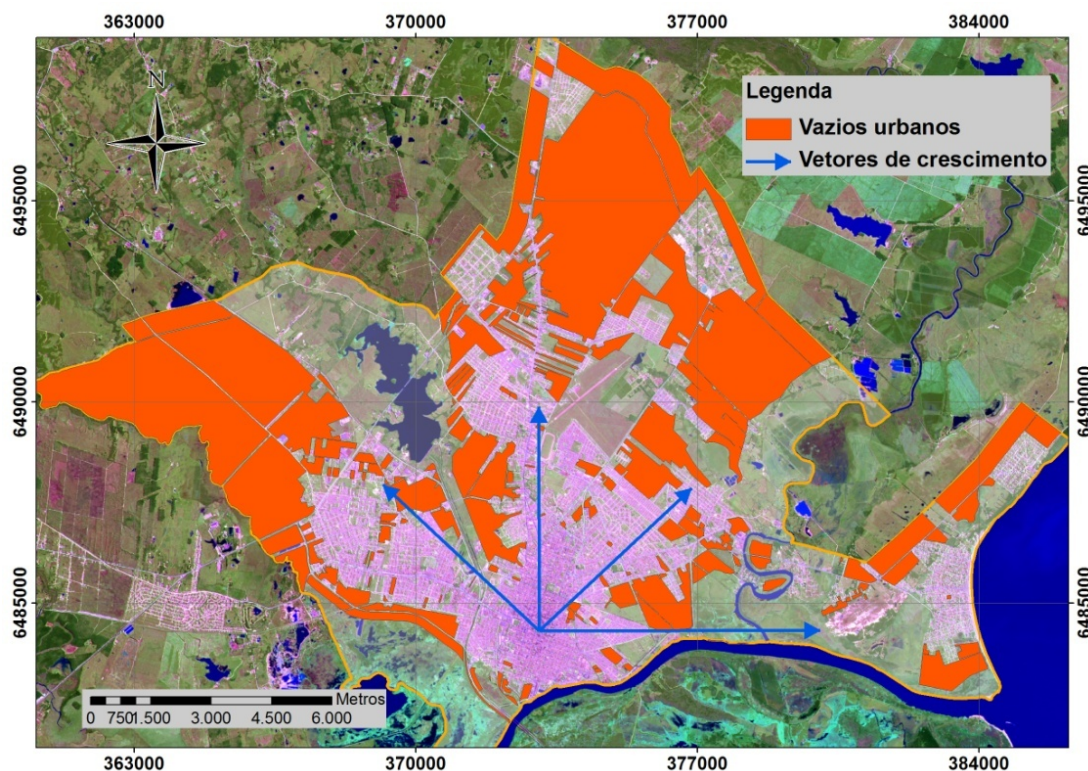


Figura 6.27 - Vazios urbanos passíveis de ocupação e vetores de crescimento.

### 6.5.6 Exclusão de áreas

Logicamente, a ocupação ou não dessas áreas está condicionada a diversos outros fatores, que não só o sentido de crescimento e a simples disponibilidade de áreas. Questões como centralidade, acessibilidade, infra-estrutura, valor da terra, etc., são determinantes na ocupação de determinadas áreas em detrimento de outras.

Embora a mensuração desses fatores seja complexa e não se compatibilize com uma metodologia simples, de cruzamento e análise de dados, é possível excluir algumas áreas de ocupação pouco provável a curto e médio prazo, tais como: áreas de difícil acesso, com pouca ou nenhuma infra-estrutura urbana instalada; áreas muito afastadas do centro e das facilidades urbanas; e áreas que ainda guardam um caráter estritamente rural, mesmo estando compreendidas no perímetro urbano. Tais áreas podem ser demarcadas por diversos tipos de levantamentos e análises sobre variados tipos de dados. No caso presente, tendo por base imagens de satélite, levantamentos de campo e alguns relatórios produzidos pelas equipes técnicas que elaboraram o projeto de lei do 3º Plano Diretor, foram mapeadas em CAD, sobre



imagem de satélite de alta resolução, diversas áreas compreendidas nos vazios urbanos que se apresentavam como de improvável ocupação a curto e médio prazo.

Determinadas e mapeadas as áreas a serem excluídas, as mesmas foram importadas e convertidas em *shape* no ArcGis. Logo após foi realizada uma operação espacial entre classes, subtraindo-se dos vazios urbanos as áreas supracitadas. A Figura 6.28 apresenta, com os vetores de crescimento sobrepostos, o resultado da operação.

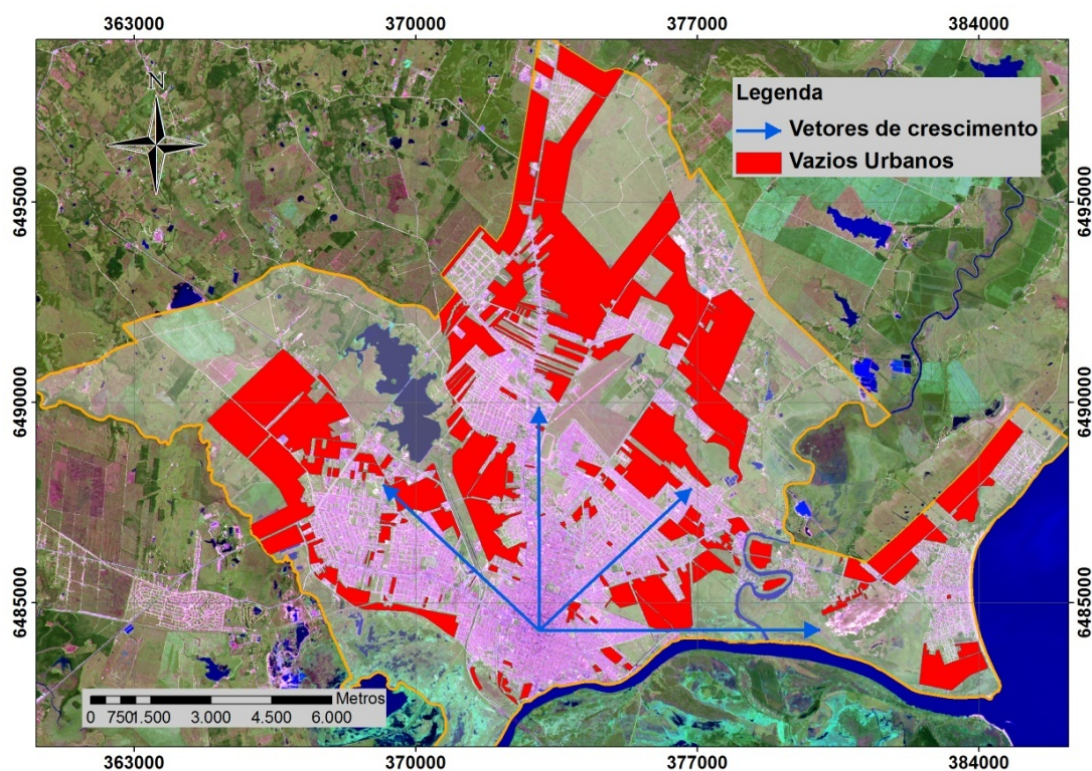


Figura 6.28 - Vazios urbanos após exclusão de áreas com ocupação improvável a curto e médio prazo.

### 6.5.7 Simplificação dos dados

Em função da escala a ser empregada no mapeamento geotécnico pode haver uma simplificação geométrica e de conteúdo nas áreas mapeadas. Em função das escalas dos dados fontes, principalmente os mapas geológico e pedológico disponíveis para Pelotas, o

mapeamento geotécnico será realizado em escala igual ou menor do que 1:50.000, por consequência, áreas reduzidas e/ou fragmentadas perdem a importância.

Desta forma, foram realizadas duas operações sobre as áreas resultantes das operações realizadas: (i) eliminação dos pequenos vazios urbanos fragmentados e com áreas menores do que 100.000 m<sup>2</sup>; (ii) agrupamento de diversos vazios urbanos contíguos em polígonos maiores e geometricamente simplificados. Essas operações foram realizadas no ArcGis, utilizando-se as ferramentas de exclusão, junção e simplificação geométrica de feições geográficas.

A Figura 6.29 mostra o mapa final resultante da aplicação da metodologia, o qual representa as áreas de vazios propícias ao crescimento urbano e de interesse ao mapeamento, detalhamento e análise geotécnica

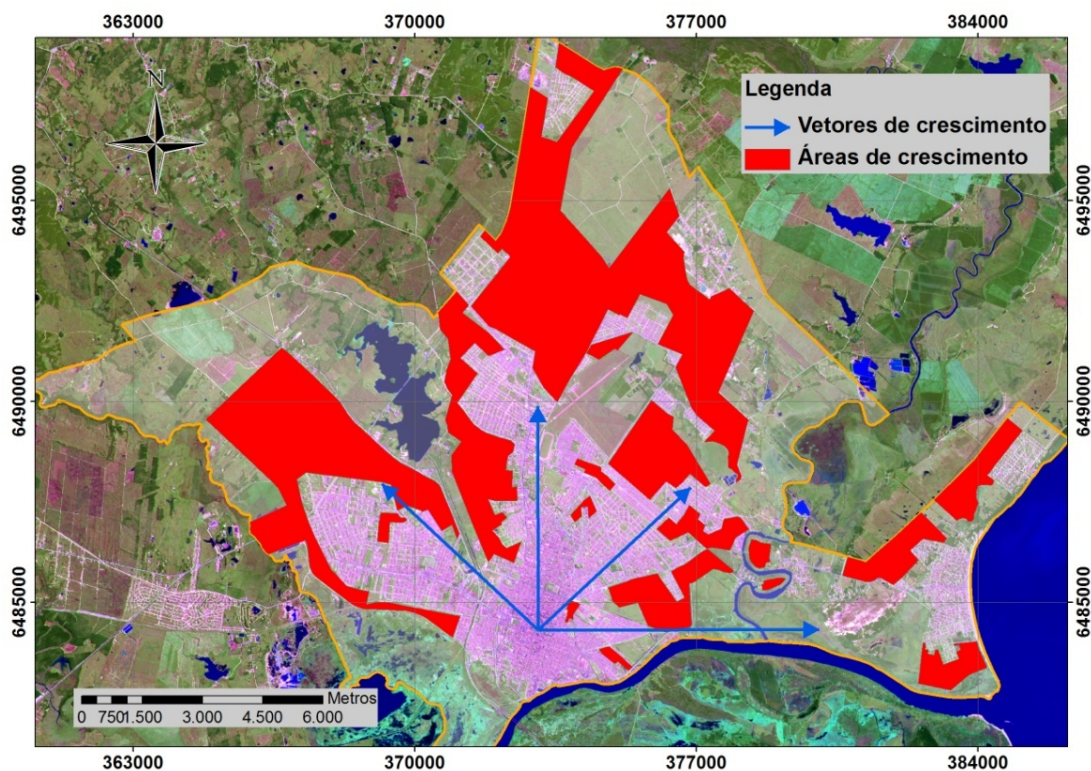


Figura 6.29 - Mapa das áreas sujeitas ao crescimento urbano em Pelotas/RS.

## 6.6 GERAÇÃO DE DADOS DERIVADOS

### 6.6.1 MNT

A modelagem numérica de terreno tem por finalidade a geração de um modelo representativo da topografia da área de estudo, que permite, entre outras coisas, a visualização tridimensional do relevo, e a elaboração dos mapas de relevo, declividades, e isodeclividade.

Neste trabalho, o MNT foi usado na elaboração dos mapas geológico e pedológico, no entendimento e análise do relevo da área de estudo, e em todas as observações do meio físico e dos fenômenos a ele relacionado, em que esta variável (relevo) estava envolvida.

Na elaboração do MNT foi utilizado o modelo de grade retangular gerado a partir de uma amostra de pontos altimétricos. A grade retangular é semelhante a uma malha onde os polígonos são todos iguais, ou seja, onde existe regularidade na distribuição dos pontos que a constituem (ROSIM et al., 1993 apud VALENTE 1998). A grade é gerada a partir da interpolação de pontos de altitude conhecida e é formada por linhas e colunas, cujas interseções identificam os chamados nós, que definem a posição espacial da variável altimétrica  $z$ . (VALENTE, 1998).

Uma descrição sobre a geração de grades regulares e métodos de interpolação aplicados à modelagem numérica de terreno (MNT) pode ser encontrada em Câmara e Felgueiras (2003).

O Modelo foi criado através da extensão 3D Analyst do software ArcGis. Para tanto, foi utilizada uma coleção de pontos altimétricos e curvas de nível, extraídas da restituição digital da aerofotogrametria de 1995 (77.41% do perímetro urbano), e complementada por curvas de nível geradas de imagem radar (para os 22.59% do perímetro urbano não cobertos pela aerofotogrametria e para a área extra-urbana envolvente).

A imagem (grade regular) radar que foi utilizada é de fevereiro de 2002, e provém do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). O SRTM faz parte de um programa que visa examinar a superfície terrestre, oceanos, atmosfera, gelo e a vida como um sistema integrado. Trata-se de um projeto cooperativo entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana) com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria (CREPANI e MEDEIROS, 2007).

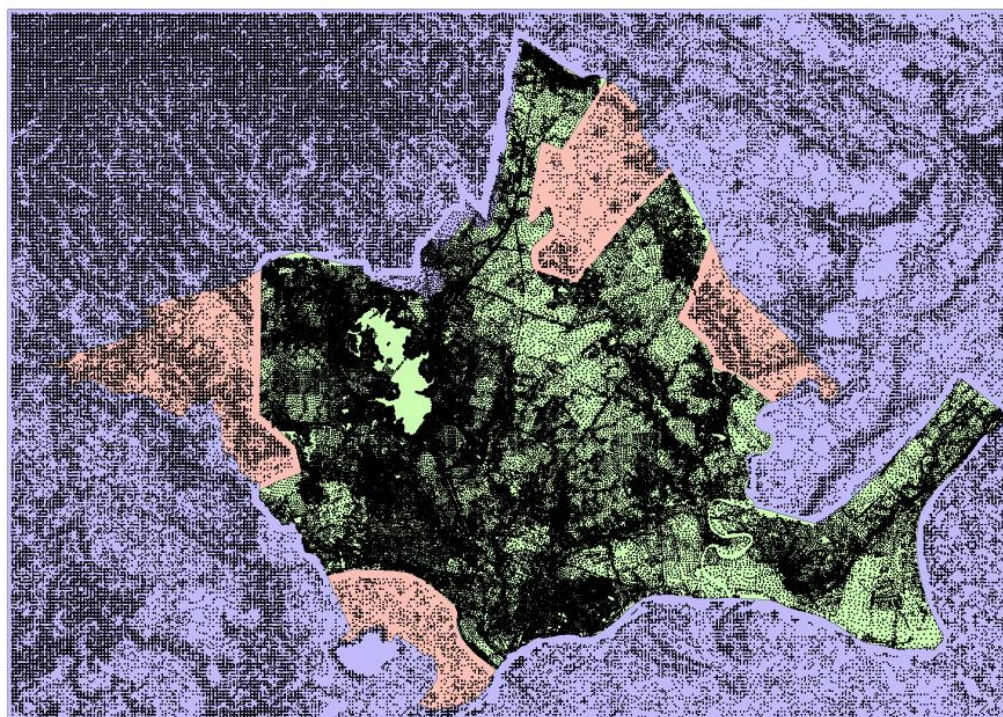


Os dados SRTM, estão disponíveis para download gratuito (<http://seamless.usgs.gov>) na forma de grades retangulares de MNT (modelo numérico de terreno) com resolução de 90 metros.

No ArcGis, através da grade Radar, foram geradas curvas de níveis de metro em metro. Após, essas curvas e as do aerofotogramétrico foram convertidas, a partir de seus vértices, em pontos altimétricos, os quais, somados aos pontos dos aero de 1995, formaram a amostra (nuvem de pontos) para geração do MNT apresentada na Tabela 6.2 e na Figura 6.30.

Tabela 6.2 - Amostra de pontos altimétrico utilizada na geração do MNT da zona urbana de pelotas (área territorial em km<sup>2</sup>).

Amostra	Área territorial (km <sup>2</sup> )	Nº de pontos	Altitude mínima (m)	Altitude máxima (m)	Altitude média (m)	Desvio Padrão (%)
Aero 1995 – pontos altimétricos	149,14	53.802	0,30	29,30	11,77	7,17
Aero 1995 – Curvas de níveis	149,14	186.385	0,51	29,01	14,20	6,36
RadarSat - Área Urbana	43,51	18.293	0,10	38,3	16,06	8,89
RadarSat - Área extra-urbana	340,48	266.003	0,10	165,3	43,63	37,51



**Legenda** ■ Pontos Aero 1995 - Zona urbana ■ Pontos RadarSAT - Zona urbana ■ Pontos RadarSAT - Zona extra-urbana

Figura 6.30 – Nuvens de pontos altimétricos utilizados na geração do MNT.

Para geração do MNT foram realizados diversos testes utilizando os quatro interpoladores disponíveis no *3D Analyst*: Inverso da Distância Ponderada; Spline; Krigagem e Vizinho Mais Próximo (Figura 6.31). O que se mostrou mais adequado para a amostra e para a finalidade, foi o interpolador Inverso da Distância Ponderada. Segundo SILVEIRA et al., (2008) não existem evidências que um método de interpolação seja, por si só, melhor do que o outro para todos os casos, sendo importante determinar o melhor método para cada circunstância.

O método de interpolação Inverso da Distância Ponderada estima os valores das células pela média de valores da amostra dos pontos na vizinhança de cada célula calculada. Quanto mais próximo é um ponto para o centro da célula estimada, maior a influência, ou peso, que ele tem na média calculada. Este método assume que a variável a ser mapeada diminui em influência com a distância de sua localização ao centro da amostra. Souza (2002 apud BOTELHO et al., 2005) afirma que o algoritmo “inverso de uma distância” é o que melhor representa a superfície do solo para a geração do modelo digital do terreno (MDT), uma vez que ele possui a característica de suavizar a superfície em estudo.

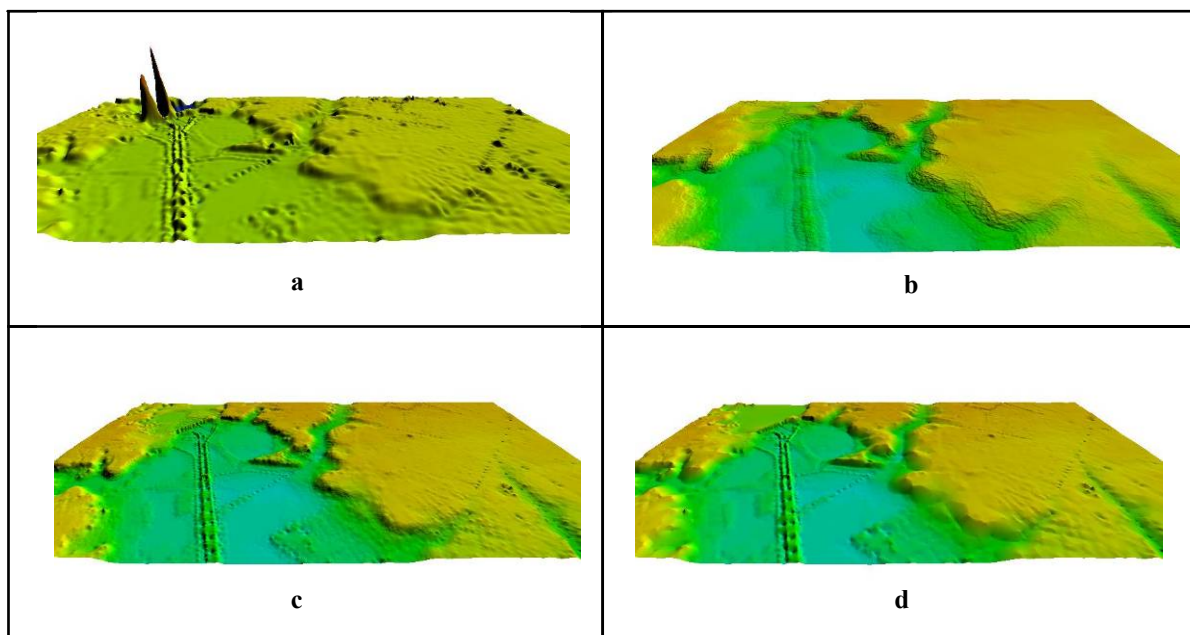


Figura 6.31 – Resultado do uso de diferentes interpoladores na geração do MNT : a) Spline; b) Krigagem; c) Inverso da Distância Ponderada; d) Vizinho Mais Próximo.

Sendo assim, utilizando-se o interpolador Inverso da Distância Ponderada (*Inverse Distance Weighted*) foi gerada uma grade regular com células de 5m x 5m. Logo após, a grade foi corrigida através da função *Fill*, que preenche os “ralos” (*skins*), ou seja, áreas da grade com



altitudes inferior as vizinhas, e que normalmente são provenientes de erro nos dados. O MNT gerado, entre diversos outros usos, permitiu o refinamento dos mapas de pedologia, geologia e geomorfologia.

### 6.6.2 Mapa de Relevo

Visando representar o relevo o urbano de forma a aumentar a capacidade do fotointérprete em discriminar variações topográficas, foram geradas composições coloridas do MNT, associando-se, através do *software* Global Mapper, matizes das cores aditivas primárias (RGB) a essas variações. Foi também usado o recurso de sombreamento de relevo, através da definição de uma fonte luminosa com azimuth e elevação de 45° (valor padrão do programa) (Figura 6.32). Por fim, as imagens geradas foram exportadas no formato GeoTiff, para serem usadas no ArcGis.

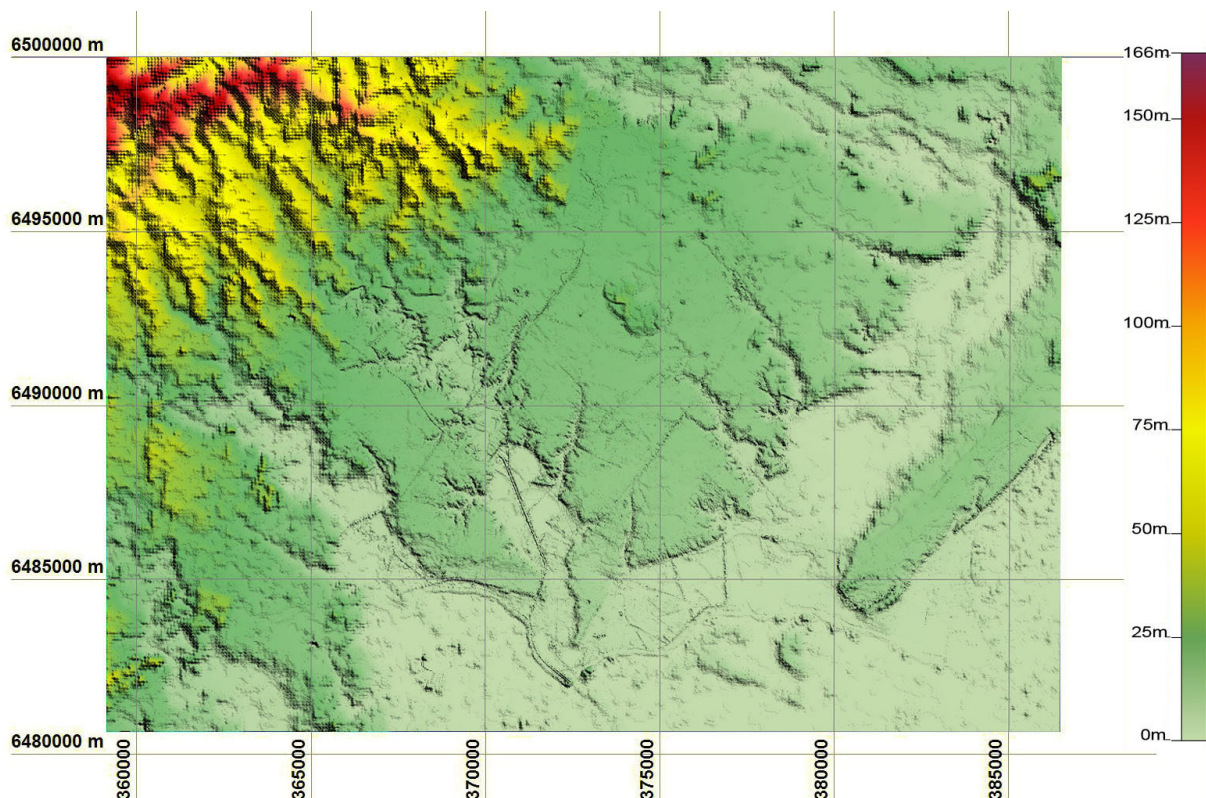


Figura 6.32 – Composição colorida do MNT realizada no software GlobalMapper.

O Global Mapper também permite a visualização tridimensional do relevo em qualquer ângulo, e a sobreposição de imagem colorida, a qual pode ser texturizada conforme o relevo e o sombreamento a ele aplicado (Figura 6.33).

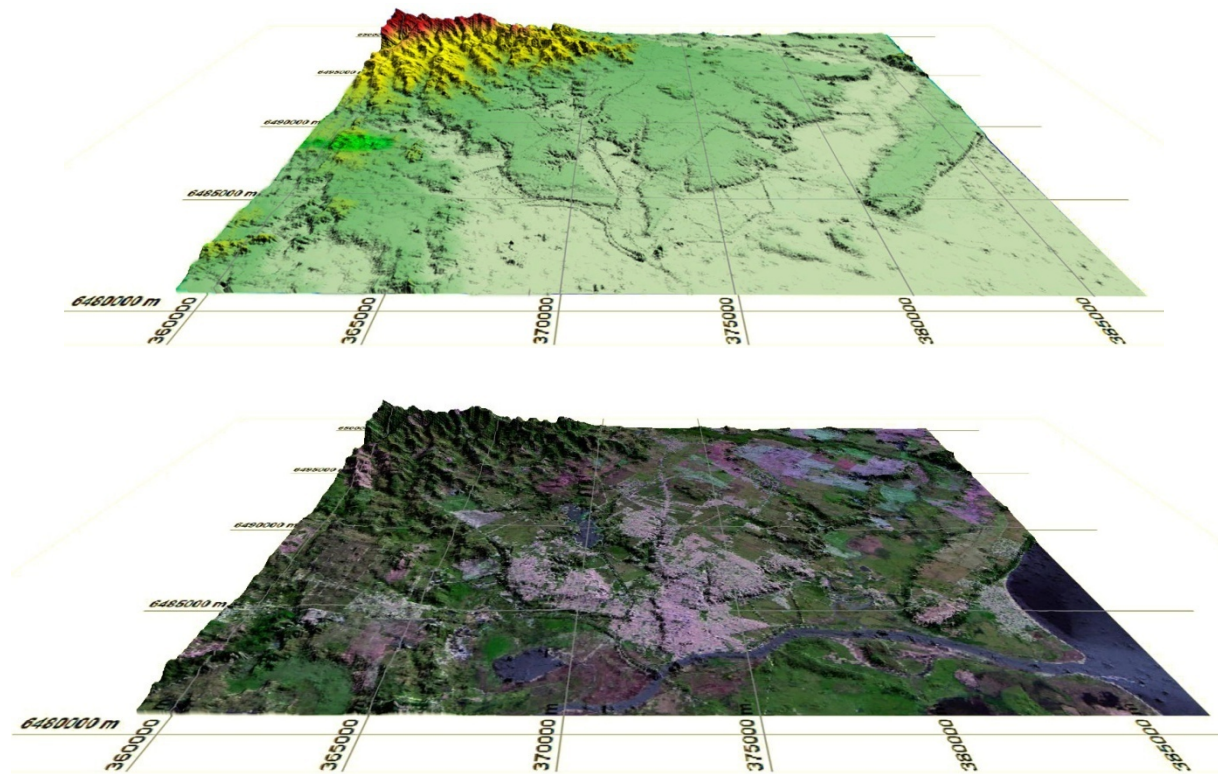


Figura 6.33 – Visualização tridimensional do do MNT: pura (superior) e com imagem de satélite sobreposta (inferior). Exagero vertical de 10 vezes.

Com a finalidade de evidenciar ainda mais as diferenças de relevo da zona urbana foi feito um recorte no MNT, utilizando-se o polígono representativo do perímetro urbano como área de interesse. Para tanto foi utilizada a função *Extract by Mask* das ferramentas do *Spatial Analyst* na caixa de ferramentas (*ArcToolbox*) do ArcGis. O recorte possibilitou associar a matiz de cores a um espectro menor de variação de relevo, pois a amplitude do relevo da zona urbana é de apenas 38,50m, em contraposição aos 165,50m da área anterior (retângulo envolvente). A Figura 6.34 mostra o resultado do recorte e da composição colorida da imagem

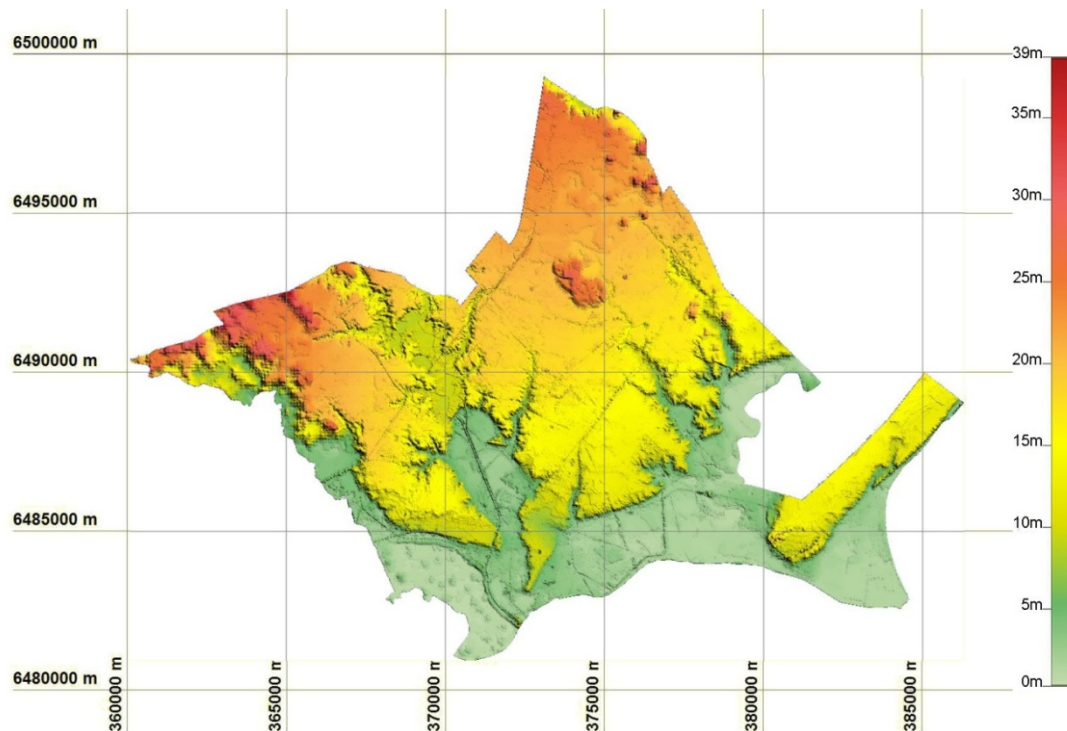


Figura 6.34 – Composição colorida (RGB) do MNT recortado para o perímetro urbano de Pelotas.

### 6.6.3 Mapa de Declividades e Isodeclividade

Segundo Câmara e Felgueiras (2003) declividade é a inclinação do terreno em relação ao plano horizontal, e a declividade de um ponto pertencente a uma superfície gerada através de um MNT pode ser definida como o ângulo formado por um plano horizontal tangente a essa superfície, neste ponto, e o plano horizontal.

Em geral, o valor da declividade para cada célula de uma grade regular de um MNT é calculada a partir da comparação da sua altitude com a altitude das quatro células vizinhas mais próximas. Para tanto, a declividade (representada em percentuais ou angulo) é determinada nas direções x e y, sendo adotado o maior valor, denominado gradiente ou declividade propriamente dita (BORROUGH, 1986 apud VALENTE, 1995).

A declividade urbana de Pelotas foi calculada no ArcGis a partir do MNT recortado para o perímetro urbano.

Com o mesmo objetivo de determinar as isodeclividades visando à análise da ocupação urbana, Valente (1995) determina três intervalos de classes:

a) 0% a 15% - intervalo de declividade considerado favorável a ocupação urbana



b) 15% a 30% - intervalo de declividade considerado restrito a ocupação urbana

c) > 30% - intervalo de declividade não permitida à ocupação urbana.

Ainda segundo o autor, dentro do primeiro intervalo as áreas com declividades entre 0% e 2% podem apresentar problemas relacionados à drenagem e a riscos de inundações. Entre 2% e 5% proporcionam uma minimização de custos das obras de infra-estrutura urbana e das edificações, sendo por isso ótimas a ocupação urbana, e entre 5% e 15% implicam condições progressivamente desfavoráveis à essa ocupação, além de representarem custos crescentes.

Para o intervalo de declividade de 15% a 30% são em geral necessárias soluções técnicas não convencionais para as obras de engenharia, como por exemplo, uso de fundações adequadas ou a construção de obras de contenção, análises de estabilidade dos solos e presença de solos sujeitos à erosão.

As declividades acima de 30% correspondem às áreas com restrição ao parcelamento urbano conforme a Lei Federal 6499/99, salvo atendidas exigências específicas das autoridades competentes.

A *Layer* de declividades foi gerada no ArcGis através do MNT usando a função *slope* do *Spatial Analyst*. Após a operação foi gerado um raster com pixel de 15 m no formato GeoTiff.

O histograma (Figura 6.35) do raster mostra que a grande maioria de suas 841.546 células representa pequenas declividades. Sendo a declividade média 1,84% e o desvio padrão da média 2,09%, 99,73% das declividades urbanas estão entre 0% e 8,11%, ou seja, está dentro do intervalo de declividade considerado favorável a ocupação urbana.

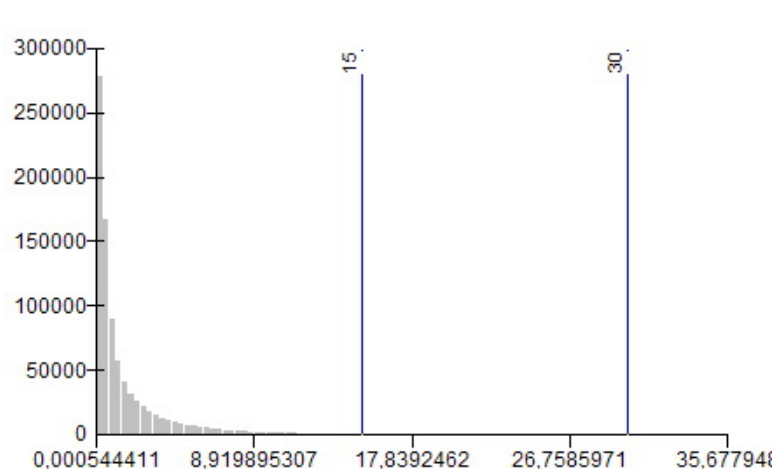


Figura 6.35 – Histograma da imagem (raster) das declividades da zona urbana de Pelotas.

Desta forma, os intervalos de declividades considerados restrito a ocupação (15% a 30%) e os de ocupação não permitida (maior que 30%), são pouco significativos no contexto urbano de Pelotas, e por conseqüência, pode-se dar maior ênfase ao intervalo de 0% a 15%, subdividindo-o nos três intervalos acima descrito, e além desse, utilizar apenas um intervalo (>15%) (Figura 6.36).

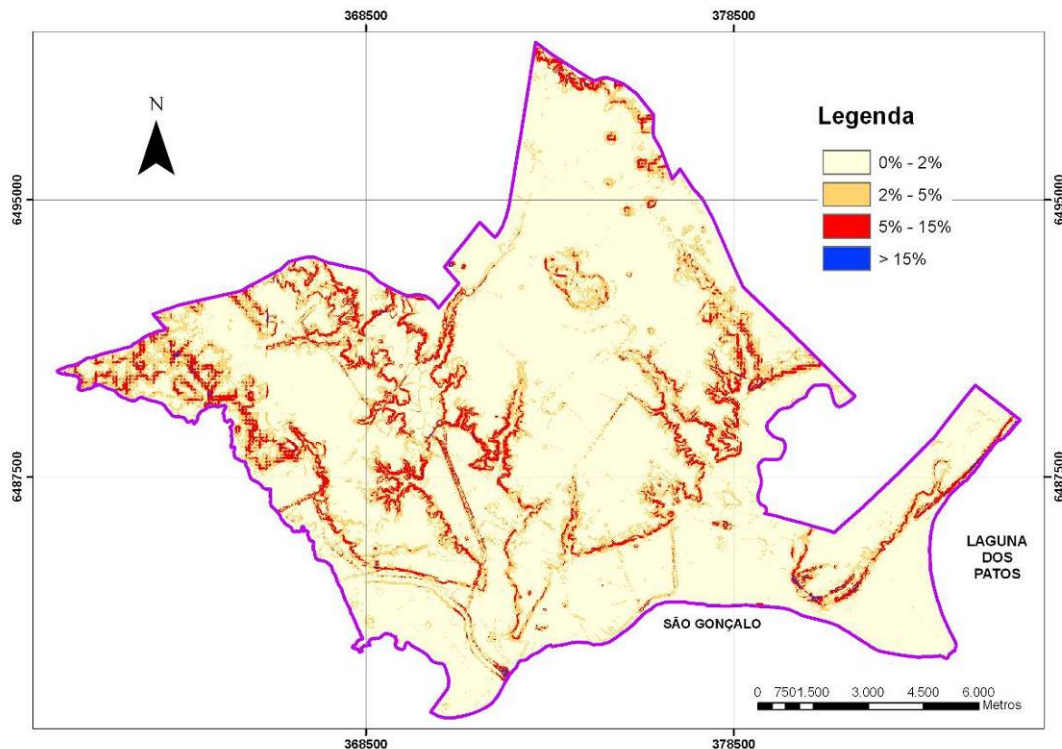


Figura 6.36 – Classes de declividades estabelecidas para a zona urbana de Pelotas.

#### 6.6.4 Mapa de Zonas Alagadiças

Para este trabalho, as zonas alagadiças foram divididas em zonas de banhados e zonas sujeitas a alagamentos por decorrência de fortes chuvas, sendo que as primeiras estão contidas nas últimas.

Para mapeamento das zonas de banhados foi utilizada uma imagem multiespectral do satélite SPOT 5 de 17 de março de 2003 (órbita 709-413).

Contando com dois instrumentos HRG (High-Resolution Geometric), o satélite SPOT 5 gera imagens no modo pancromático (banda P) com 5 ou 2.5 metros de resolução espacial. Da mesma forma que no SPOT 4, o HRG imageia igualmente em modo multiespectral em 4

bandas, porém, com resolução espacial de 10 metros nos intervalos do *Green* (B1), *Red* (B2), *Near Infrared* (B3) e 20 metros na banda *shortwave Infrared* (SPOT IMAGE, 2003).

A imagem SPOT utilizada já se encontrava pré-processada com correção atmosférica e geométrica e realce de contraste. E sobre ela foi feita uma classificação supervisionada no software ERDAS, seguindo as seguintes etapas:

- i) Recorte da imagem: após a definição da área de interesse (retângulo envolvente do perímetro urbano), foi criada uma AOI (*area of interest*) correspondente ao perímetro urbano;
- ii) Definição das classes: através da análise visual de uma composição 4(*red*),1(*green*),3(*blue*) da imagem multiespectral, foram definidas 12 classes temáticas: águas, mancha urbana, campos tipo1, campos tipo 2, banhados, vegetação, areias, plantações tipo 1, plantações tipo 2, solo exposto, vegetação de banhado;
- iii) Criação das assinaturas espectrais: após definidas as classes temáticas, diversas amostras de treinamento de cada uma delas foram localizadas na imagem composta. Amostras são áreas delimitadas sobre a imagem que correspondem aos locais do terreno representativos de cada classe. Como auxílio à identificação e localização das amostras foi utilizada imagens de alta resolução do satélite QuickBird. As assinaturas espectrais foram criadas através do editor de assinaturas (*Signature Editor*) do ERDAS. (Figura 6.37).

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	V
1	> mancha urbana	Yellow	1.000	0.843	0.000	
2	águas	Blue	0.000	0.000	1.000	
3	banhados	Light Blue	0.358	0.762	0.712	
4	campos	Light Green	0.831	0.838	0.522	
5	vegetação	Dark Green	0.000	0.392	0.000	
6	areias	White	1.000	1.000	1.000	
7	campos2	Light Green	0.692	0.897	0.103	
8	plantações	Bright Green	0.000	1.000	0.000	
9	solo exposto	Orange	1.000	0.647	0.000	
10	vegetação de banhado	Light Green	0.526	0.914	0.605	
11	plantações 2	Light Green	0.257	0.859	0.141	

Figura 6.37 – Assinaturas espectrais criadas para classificação da imagem dos satélite SPOT 5.

iv) Avaliação da separabilidade das assinaturas: a separabilidade das assinaturas espectrais foi avaliada através do método de divergência transformada (*Transformed Divergence*) do ERDAS que cria uma matriz de separabilidade. Do total, 95% dos valores de separabilidade das classes resultaram acima de 1700 e o valor de separabilidade das classes representativas dos banhados em relação às demais, acima de 1900, valores considerados respectivamente razoável e bom por Quartaroli e Batistela (2006);

v) Classificação: Para classificação da imagem no ERDAS com base nas assinaturas espectrais, foi utilizado o método paramétrico da Máxima Verossimilhança, o qual considera que a nuvem de pontos que forma a amostra de treinamento é normalmente distribuída. Sendo assim, a distribuição do padrão de resposta da classe pode ser completamente descrita pelo vetor de médias e pela matriz de covariância, e o método calcula a probabilidade de um certo pixel da imagem pertencer a cada uma das classes definidas (QUARTAROLI e BATISTELA, 2006).

O resultado da classificação da imagem Spot 5 pode ser visto na Figura 6.38. Como o objetivo principal era o mapeamento das áreas de banhado não houve uma preocupação maior quanto a diferenciação visual entre as demais classes temáticas.

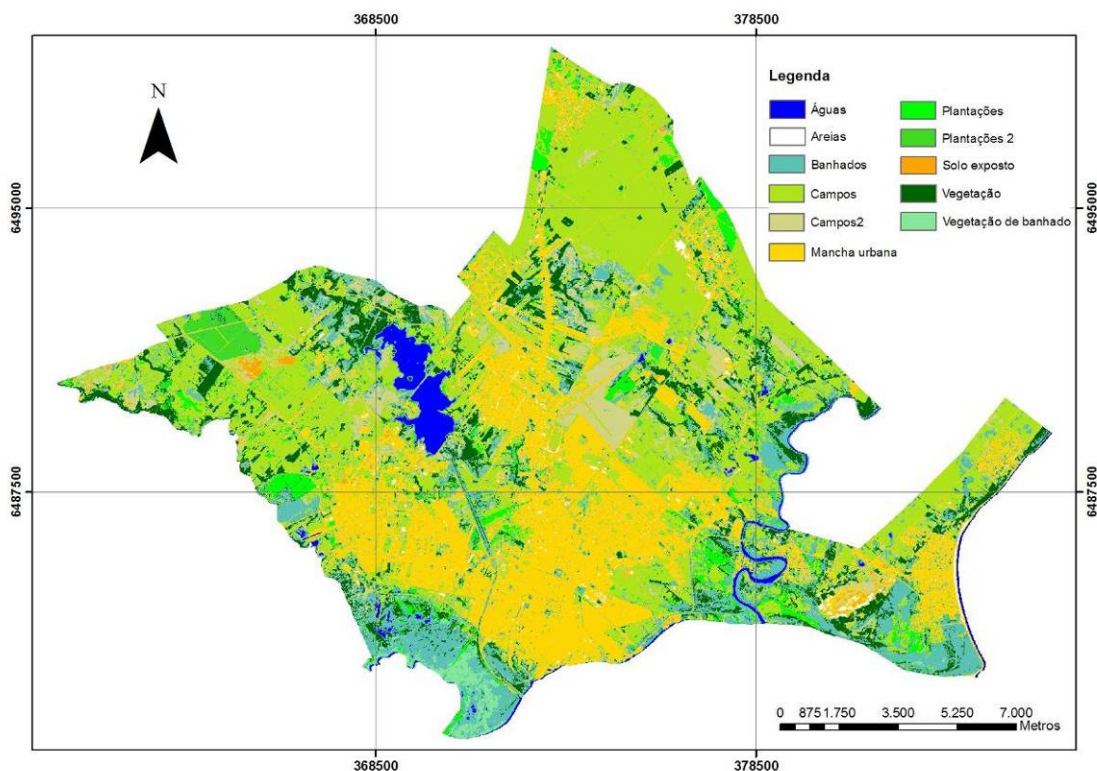


Figura 6.38 – Resultado da classificação supervisionada da imagem do satélite SPOT 5.

Para delimitação e mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na cidade de Pelotas foi feita uma simulação digital através do MNT a qual foi cruzada com o mapeamento realizado pela prefeitura das áreas atingidas pela enchente de 2004.

Seguindo o trabalho e a metodologia de Santos da Silva (2006), que indica que a cota de 5m “representa o nível de inundação da Planície da Lagoa Mirim, o que significa que o Canal São Gonçalo que interliga as Lagoas dos Patos e Mirim extravasará e atingirá as áreas urbanas com cotas inferiores a 5m”, foi realizada uma simulação das áreas que seriam cobertas pelas águas no caso de uma elevação gradual do nível d’água de 2 a 5m (Figura 6.39).

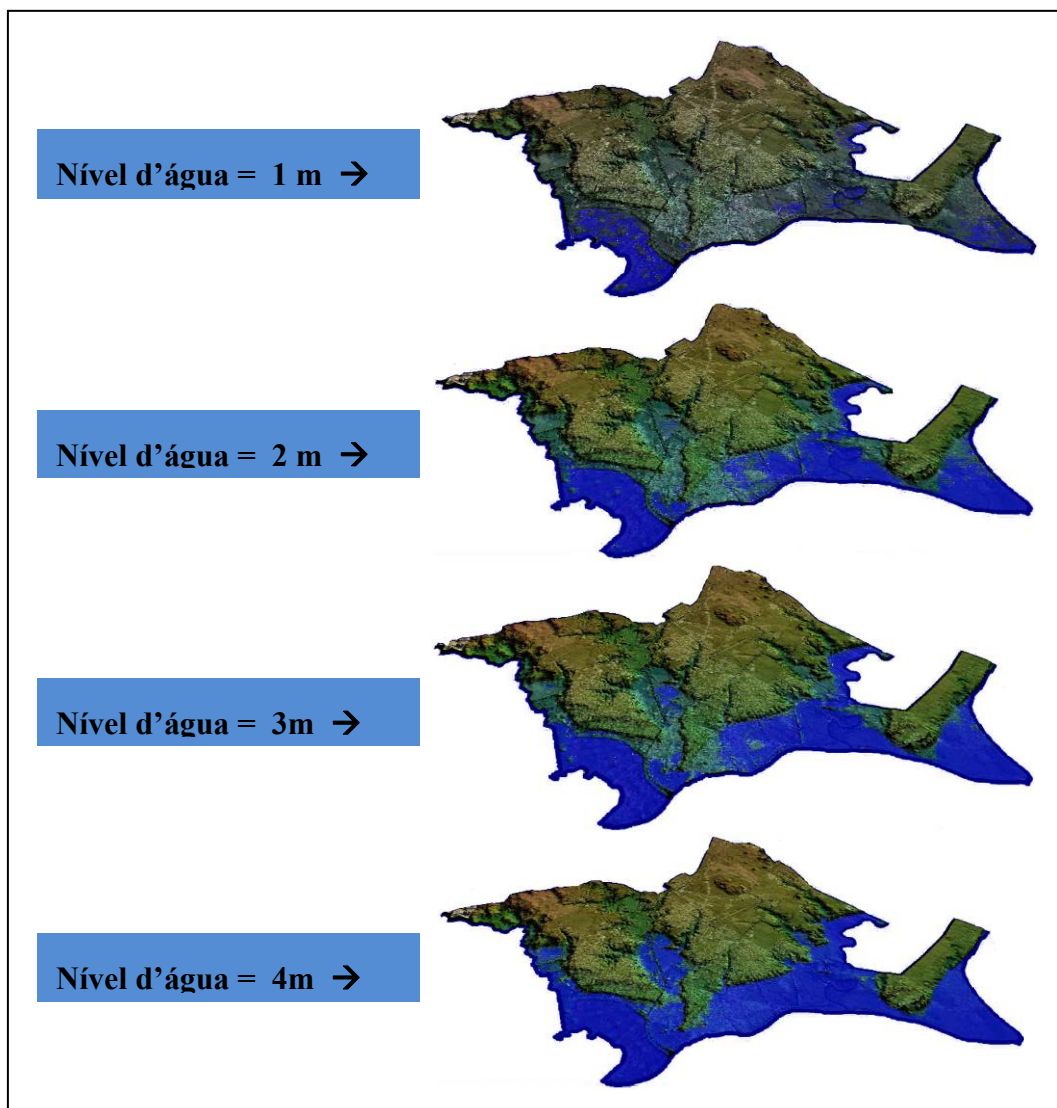


Figura 6.39 - Simulação de enchente a partir do MNT (exagero vertical de 7m). Nível d’água em relação a Canal São Gonçalo e a Laguna dos Patos (nível 0).



As áreas de cota altimétrica baixa (inferior aos 5m), que correspondem a Zona Inundável, conforme a classificação geomorfológica de Sombroek (1969 apud CUNHA e SILVEIRA, 1996), já são fortemente atingidas a partir dos 2 metros de nível d’água, e praticamente inundadas com o nível em 4 metros.

Mesmo que algumas dessas áreas (como mostra a Figura 6.40) estejam protegidas pelo conjunto de medidas que formam o Sistema de Drenagem e Proteção Contra as Enchentes de Pelotas, este sistema é sujeito a falhas, como aconteceu na enchente de 2004 quando boa parte das áreas protegidas foram alagadas.

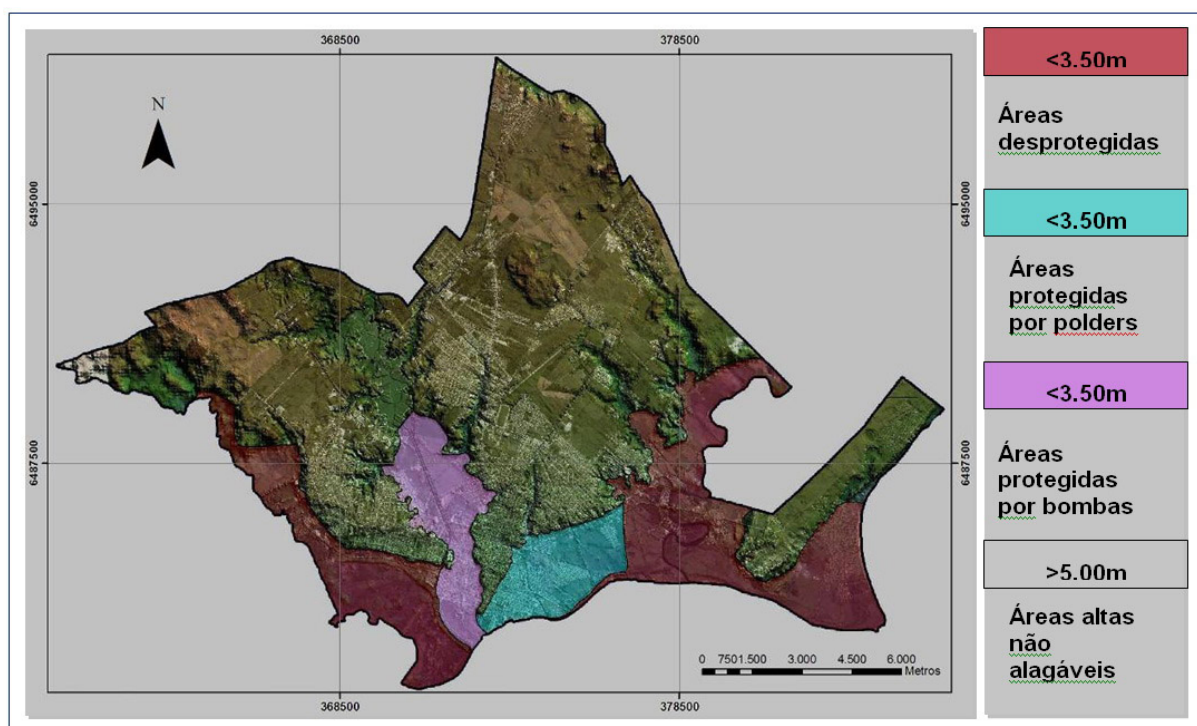


Figura 6.40 - Áreas urbanas sujeitas à inundação e sistema de proteção contra as cheias da cidade de Pelotas.

Conforme o decreto municipal 4629/04 das 15:00 h do dia 06 de maio de 2004 até as 09:00 h do dia 7 de maio de 2004 ocorreu precipitação pluviométrica que totalizou 216,8 mm, e cujo acúmulo repentino de água trouxe as seguintes conseqüências:

- a) Rompimento da lateral de uma das barreiras de contenção da Barragem Santa Bárbara, na área urbana, inundando a Casa de Bombas da Estação de Tratamento, comprometendo o abastecimento de água potável, que foi suspenso;

b) Canal Santa Bárbara não comportou o volume de água, resultando em inundações na área urbana compreendida por sua bacia, danificando parte do sistema viário e resultando, em 300 (trezentas) pessoas desabrigadas, 800 (oitocentas) pessoas desalojadas, 1.500 (mil e quinhentas) residências atingidas, totalizando 8.000 (oito) mil pessoas afetadas (PMPel, 2004).

A Figura 6.41 mostra as áreas da cidade inundadas em 2004, boa parte delas em local protegido pelo sistema de proteção contra cheias, o que mostra além da fragilidade do sistema, a inadequação da ocupação urbanas em áreas alagáveis, que expõe permanentemente a população residente as conseqüências da falha das medidas de proteção.

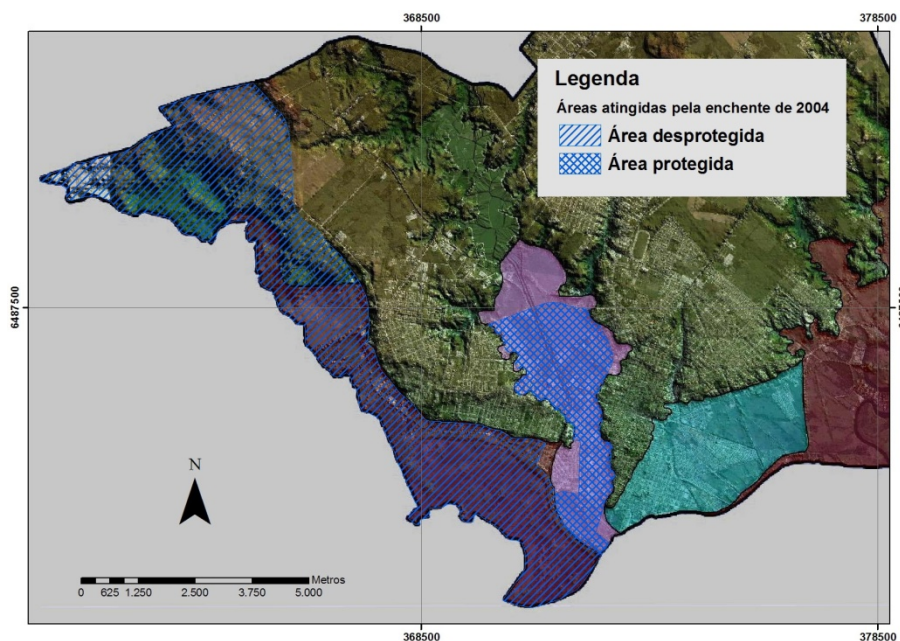


Figura 6.41 - Áreas urbanas atingidas inundadas por ocasião da enchente de 2004.

## 6.7 EDIÇÃO E FORMATAÇÃO DE DADOS

Para o cruzamento dos mapas pedológico e geológico/geomorfológico em ambiente SIG, visando à estimativa de unidades geotécnicas, é necessário que os mesmos possuam algumas características comuns, a saber: mesmo formato, compatibilidade de escala, mesmo sistema projetivo, mesmo posicionamento geográfico, e limites das classes, definidas por uma mesma característica fisiográfica, coincidentes.

Os mapas também devem ser analisados quanto ao seu conteúdo e seu fim. Em determinados casos, visando criação de mapas geotécnicos, pode ser aconselhável, ou até mesmo necessário, algumas operações, tais como: generalizações taxonômicas e redefinição de limites de classes.

Desta forma, os mapas pedológico e geológico/geomorfológico passaram pelas seguintes etapas de edição e formatação: (i) vetorização; (ii) georreferenciamento; (iii) retificação e refinamento de limites; (iv) redefinição de limites; e (v) generalização taxonômica.

Conforme citado anteriormente o estudo e mapeamento da pedologia tem por base o trabalho realizado por Cunha e Silveira (1996), o qual, por sua vez, foi baseado no trabalho de Sombroek (1969 apud CUNHA e SILVEIRA, 1996), e que resultou no mapa de solos elaborado por Cunha (1996). Já a geologia e geomorfologia foram analisadas e mapeadas a partir do trabalho de Marth et al. (2008), intitulado Mapa Geológico-Geomorfológico do Município de Pelotas e do trabalho de Tagliani (2002), este último baseado no mapa original do CECO-UFRGS (CALDASSO et al., 2000; RODRIGUES et al., 2000 apud TAGLIANI, 2002).

### **6.7.1 Vetorização**

Somente o mapa geológico/geomorfológico foi vetorizado, pois o mapa fonte da pedologia já se encontrava em formato vetorial. Para tanto, foi gerada uma imagem a partir do arquivo PDF, a qual foi importada no AutoCad, referenciada sobre a base cartográfica da PMPel, e posteriormente vetorizada.

### **6.7.2 Georreferenciamento**

O georreferenciamento dos mapas foi realizado quando da vetorização do mapa geológico (com base em imagem previamente georreferenciada). Os demais dados utilizados já se encontravam previamente georreferenciados.



### 6.7.3 Retificação e refinamento de limites

As feições geológicas, assim como os solos, têm estreita relação com o relevo. Através de um MNT em boa escala, e de dados derivados (tal como o mapa de relevo), é possível melhorar em muito os dados referentes à geomorfologia de uma determinada região e, por consequência, ajustar e refinar a cartografia da geologia e dos solos. Além disto, a associação com imagens de satélite e/ou fotografias aéreas possibilitam comparar e analisar os dados altimétricos, ressaltando os aspectos texturais e ambientais.

Neto (2003) afirma que as formas dos relevos têm debaixo de si os solos, portanto Geomorfologia e Pedologia mantêm estreitas relações, assim como ambas mantêm com a Geologia, que está debaixo. Para Daniels et al., (1971 apud TERAMOTO et al., 1999), os estudos das relações entre solos, geologia e superfícies geomórficas são importantes para a compreensão da ocorrência dos solos na paisagem, permitindo a predição dessa distribuição (DANIELS et al., 1971 apud TERAMOTO et. al, 1999), e por isso constituem-se em importantes ferramentas para atividades de mapeamento dos solos.

Sombroek (1969 apud CUNHA e SILVEIRA, 1996) em seu trabalho de caracterização dos solos do Município de Pelotas, usou como unidade descritiva o conjunto de solos que ocorrem em cada unidade geomorfológica ou fisiográfica, correlacionando diretamente solos, geomorfologia ou fisiografia.

Horn Filho et al. (2004) correlacionam morfologia e geologia na avaliação geomorfológica-geológica da planície costeira adjacente à ensada dos Currais em Santa Catarina.

Cunha e Silveira (1996) apontam que o solo, no seu conceito moderno, tem como forma de expressão o aspecto tridimensional, admitindo-se, de certa forma, a multiplicidade de variações que podem ocorrer nas combinações das variáveis responsáveis pela sua formação (clima, rocha, tempo, organismos e relevo). Com isso, somente o fator relevo, dada a sua variabilidade, quase que elimina a possibilidade de ocorrer em uma determinada superfície um solo com características constantes.

A sobreposição simples do mapa de relevo gerado através do MNT da zona urbana (descrito no item 6.6.2) com a representação vetorial das classes de solos (gerados apartir do Mapa de Solos de Pelotas elaborado por Cunha e Silveira (1996)), mostra claramente essas relações (Figura 6.42).

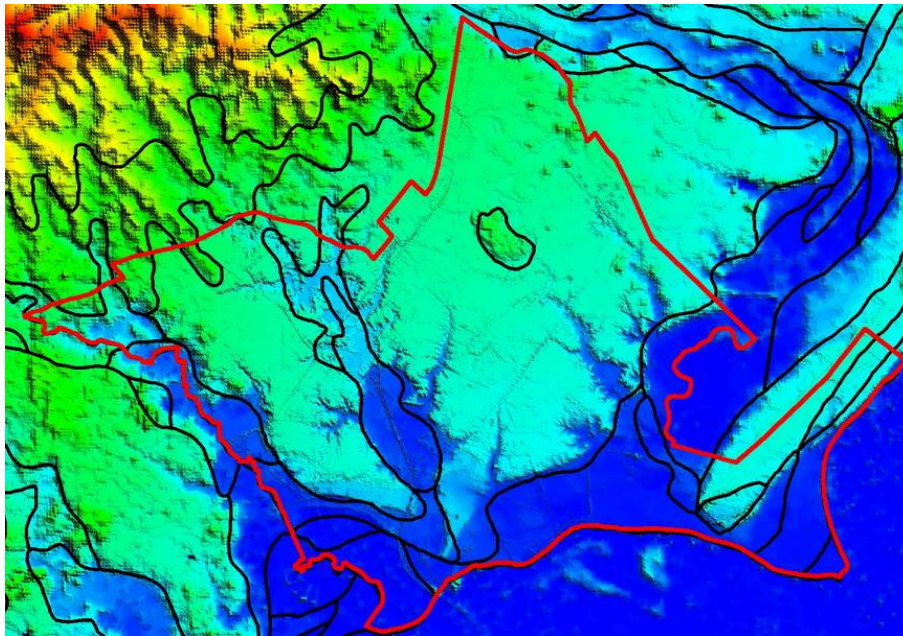


Figura 6.42 - Cruzamento dos limites originais das classes de solo com o relevo

Para auxiliar a interpretação dos dados referentes ao relevo, permitindo um melhor ajuste e refinamento dos limites entre as classes, foi utilizada composição RGB de imagem do satélite QuickBird associada ao relevo através do software Global Mapper (Figura 6.43), e imagens Aerofotogramétricas.

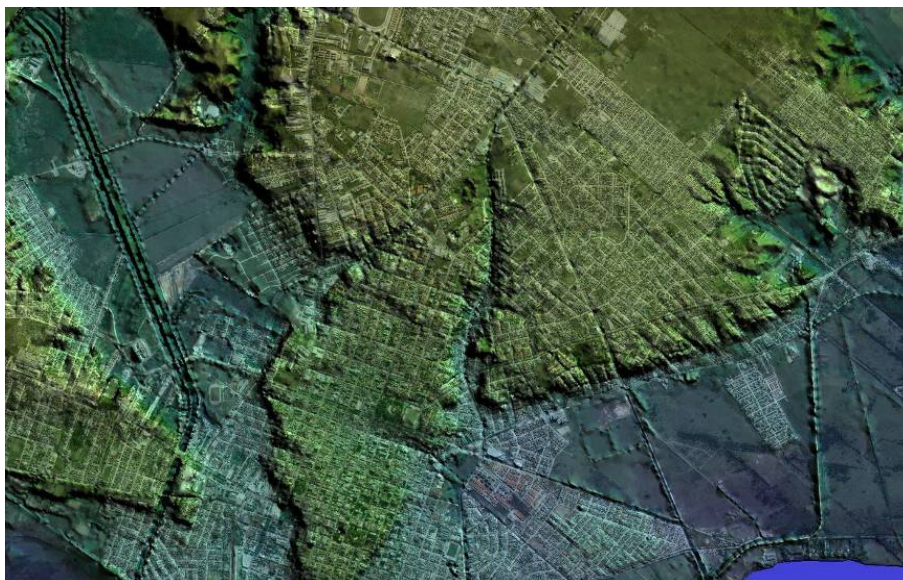


Figura 6.43 - Cruzamento do MNT com imagem de satélite QuickBird.

O ajuste e refinamento cartográfico dos limites classes foi realizado no *software* AutoCad Raster Design e posteriormente importado no ArcGis. A Figura 6.44 apresenta os limites já ajustados e sobrepostos ao mapa de relevo.

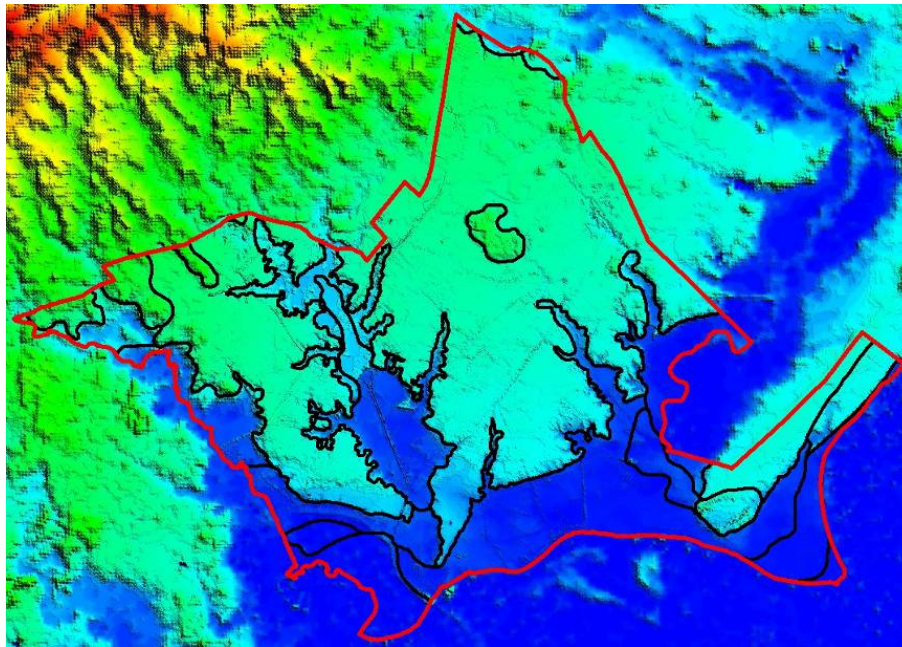


Figura 6.44 - Limites das classes de solo, ajustados, refinados, e sobrepostos ao mapa de relevo, com delimitação da zona urbana.

O mesmo processo foi também empregado para o ajuste dos limites das classes geológicas e geomorfológicas.

Outra operação cartográfica realizada foi o ajuste dos limites das classes pedológicas e geológicas que são determinados por uma mesma característica fisiográfica, p.ex., a mudança de unidade de relevo. Para o cruzamento dos mapas, é fundamental que esses limites sejam, geométrica e espacialmente, coincidentes, sem o que, ao se realizar a operação de intersecção de polígonos, será criado inúmeros pequenos polígonos que não representam nenhuma associação de classes, e sim erros cartográficos.

Para que determinados limites de classes de diferentes temas sejam coincidentes é necessário que as polilinhas que os definem possuam vértices em mesmo número e em mesma posição espacial. Esta operação foi realizada em AutoCad, através da copia dos limites da pedologia e sua transposição para a geologia (Figura 6.45).



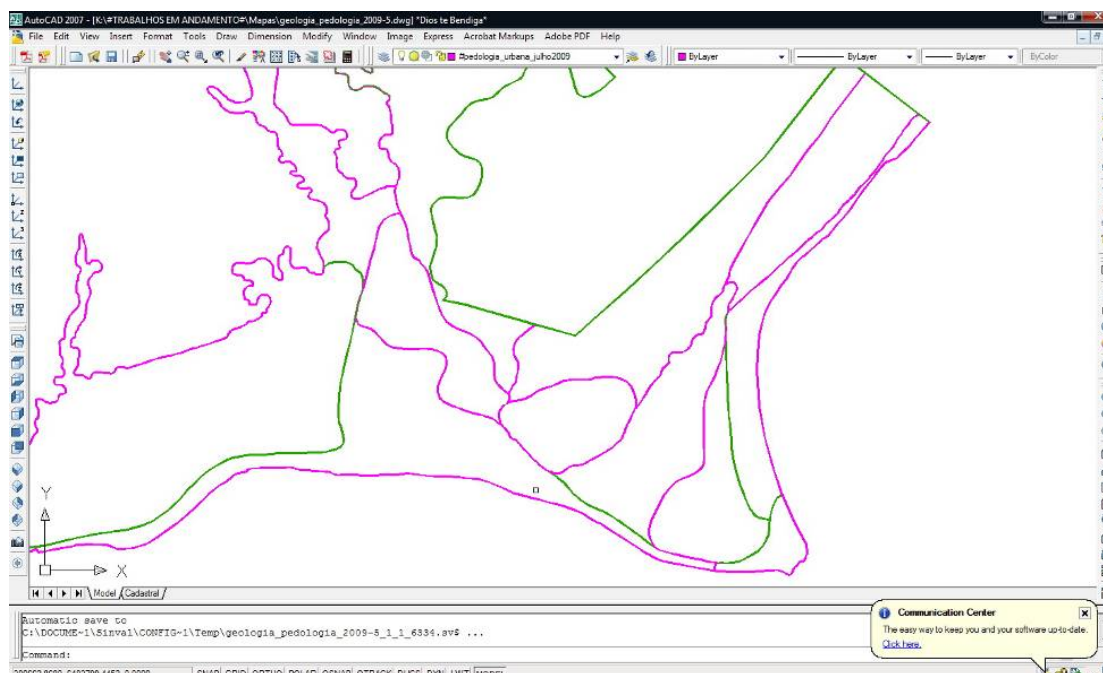


Figura 6.45 - Captura de tela do AutoCad: ajuste de limites de classes (na cor magenta, à frente, estão representados os limites da pedologia, e na cor verde, ao fundo, os da geologia).

### 6.7.4 Generalizações Taxonômicas

A interpretação dos dados pedológicos, tomando como referência a geologia e a geomorfologia, permitiu que fossem realizadas generalizações no mapa pedológico, através do agrupamento de unidades cuja diferenciação taxonômica não apresenta relevante significado geotécnico.

Desta forma, realizadas as seguintes associações de solos:

- HGe1 (Glei Húmico com Solo Orgânico e Solo Aluvial) + HGe2 (Glei Húmico);
- HGs (Glei Húmico e Glei Pouco Húmico Solódicos com Solonetz e Solonchak) + PLe1 (Planossolo como Podzólico Vermelho-Amarelo Planossólico);
- PLe3 (Planossolo com Solonetz e Glei Pouco Húmico ) + PLe4 (Planossolo com Solonetz e Glei Pouco Húmico ) + PLe5 (Planossolo com Solonetz e Glei Pouco Húmico).

A Figura 6.46 apresenta as unidades de solo antes e depois das generalizações taxonômicas realizadas.

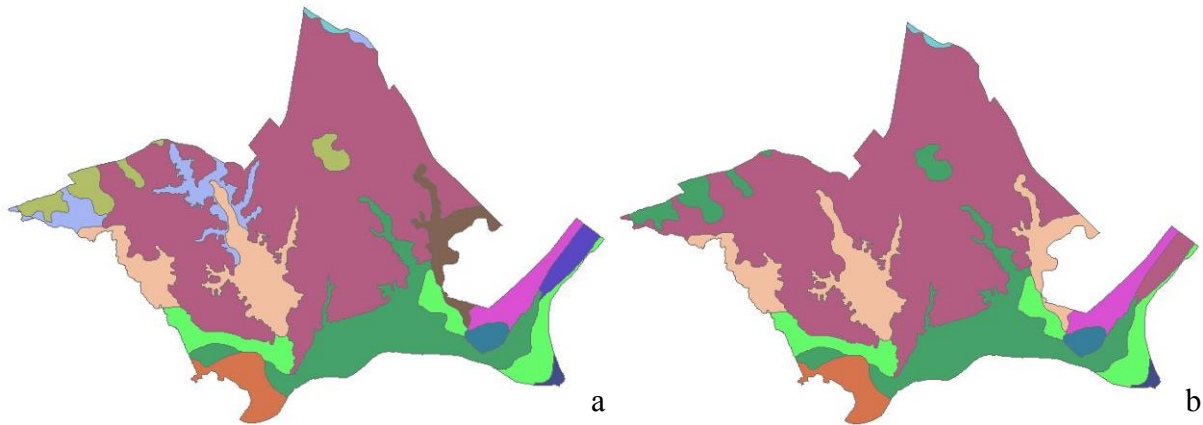


Figura 6.46 – a) Pedologia antes das generalizações taxonômicas (esquerda); b) Pedologia depois das generalizações taxonômicas (direita).

### 6.7.5 Redefinição de Limites

Após a retificação e refinamento dos limites das classes, e das generalizações taxonômicas efetuadas, o mapa pedológico e o mapa geológico/geomorfológico foram sobrepostos no SIG. Esta operação revelou incoerências nos limites de algumas classes de ambos os mapas. Como já foi citado, geomorfologia e pedologia mantêm estreita relação, assim como as que ambas mantêm com a geologia, que está por baixo. Sendo assim, a falta de correspondência entre pedologia, geomorfologia e geologia, em determinados locais, indicou a necessidade de se redefinir os limites das classes.

A definição dos novos limites teve por base o referido cruzamento, a análise de imagem de satélite, o mapa de relevo, o conhecimento sobre os locais, e a análise de outros dois mapas geológico/geomorfológicos: o mapa elaborado por Tagliani (2002) e o a Carta Geológica do Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (CALDASSO, 2000).

A Figura 6.47 mostra os locais e as alterações realizadas nos limites de classes do mapa pedológico e geomorfológico.

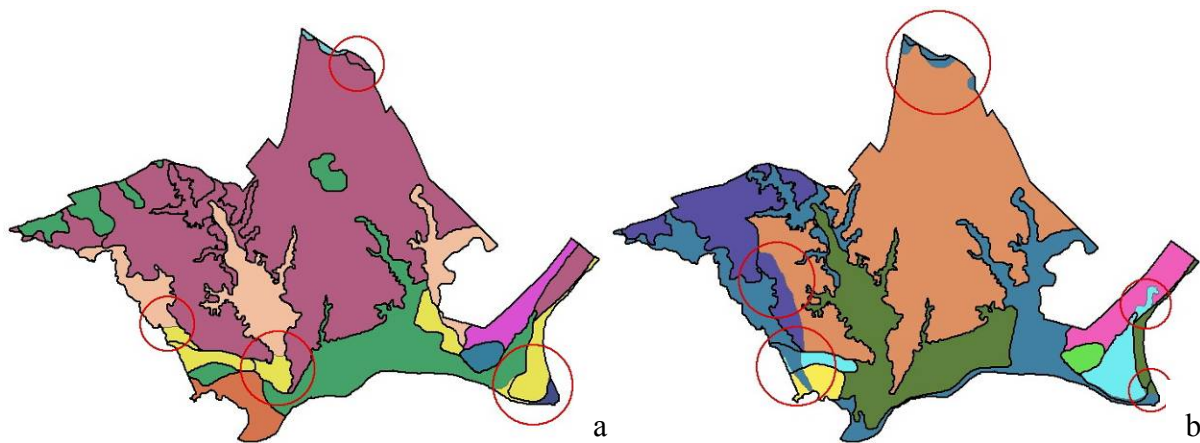


Figura 6.47 – a) alteração dos limites das classes pedológicas (esquerda); b) alteração dos limites das classes geológicas/geomorfológicas (direita). Os limites coloridos representam as classes antes da alteração e, sobrepostos a estes, os limites após a redefinição. Os círculos vermelhos indicam os locais que sofreram mudanças.

## 6.8 CRIAÇÃO DO MAPA DE ESTIMATIVAS DE UNIDADES GEOTÉCNICAS

Para criação do Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas, foi utilizada a metodologia desenvolvida pelo LAMGEO/UFRGS-UFSC, e já descrita no Capítulo 3. Segundo Burkert Bastos et al. (2005), a aplicação da metodologia está sujeita às peculiaridades do meio físico das áreas de estudo. No caso particular da zona urbana de Pelotas, situada na planície costeira do extremo sul do Brasil, são justamente as características dessa planície que condicionam a metodologia.

Com variações topográficas pequenas, a planície apresenta geologia exclusivamente sedimentar, onde as condições para o desenvolvimento de solos mais evoluídos são desfavoráveis, e a relação entre o substrato geológico, solos e morfologia dos terrenos, é muito próxima (BURKERT BASTOS et al., 2005).

O Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas foi gerado através do cruzamento no ArcGis da geologia e da pedologia da área urbana do município, já devidamente ajustadas conforme as etapas anteriores.

### 6.8.1 Geologia Urbana de Pelotas

O Mapa Geológico da zona urbana de Pelotas, editado a partir de Marth et al. (2008), apresenta oito classes geológicas/geomorfológicas, conforme Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Classes geológicas/geomorfológicas presentes no mapa editado a partir de Marth et. al (2008).

<b>SIGLA*</b>	<b>GEOCRONOLOGIA</b>	<b>SISTEMA LAGUNA/BARREIRA</b>	<b>FÁCIES SEDIMENTARES</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>cv</b>	QUATERNÁRIO / PLEISTOCENO		DEPÓSITOS COLÚVIO-ALUVIAIS	15,22	7,90
<b>eo2</b>	QUATERNÁRIO / PLEISTOCENO	II	DEPÓSITOS EÓLICOS	1,85	0,95
<b>pl2</b>	QUATERNÁRIO / PLEISTOCENO	II	DEPÓSITO DE PLANÍCIE LAGUNAR 2	93,26	48,40
<b>pl3</b>	QUATERNÁRIO / PLEISTOCENO	III	DEPÓSITO DE PLANÍCIE LAGUNAR 3	7,89	4,10
<b>pl4</b>	QUATERNÁRIO / HOLOCENO	IV	DEPÓSITO DE PLANÍCIE LAGUNAR 4	29,47	15,29
<b>pe4</b>	QUATERNÁRIO / HOLOCENO	IV	DEPÓSITOS PRAIAIS EÓLICOS	7,62	3,95
<b>al4</b>	QUATERNÁRIO / HOLOCENO	IV	DEPÓSITOS ALUVIAIS	34,40	17,85
<b>tf4</b>	QUATERNÁRIO / HOLOCENO	IV	TURFAS	2,94	1,53

\* siglas utilizadas na identificação das unidades geotécnicas

A seguir é feita uma descrição das principais características das unidades geológicas/geomorfológicas mapeadas.

Villwock *et al.* (1996) agrupam os depósitos sedimentares da planície costeira em Sistemas Depositionais. Os autores identificam quatro Sistemas Laguna/Barreira e um Sistema de Leques Aluviais como responsáveis pelo desenvolvimento e propagação da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Figura 6.48). Os três primeiros sistemas do tipo Laguna/Barreira marcam episódios de variação do nível relativo do mar durante o Pleistoceno, enquanto o último desenvolveu-se no Holoceno (BARBOZA et al., 2008)

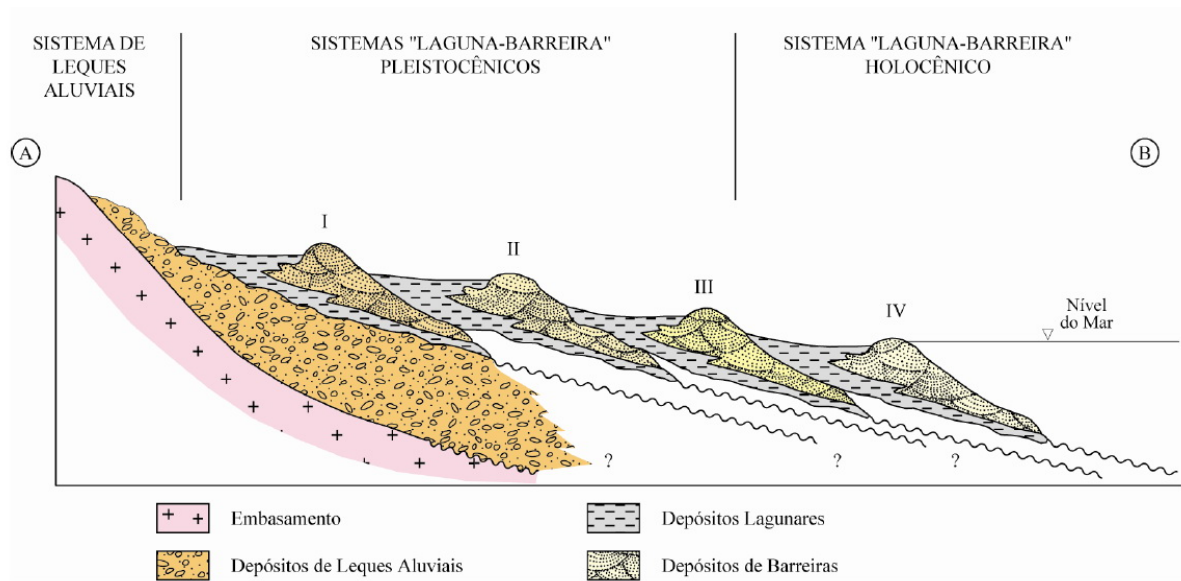


Figura 6.48 – Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. (modificado de Tomazelli & Villwock, 2000). Fonte: Barboza *et. al*, 2008.

Os **Depósitos Colúvio-Aluviais (cv)** formam terraços em rampa aluvial, de baixa declividade, em sentido noroeste-sudeste, marcando a transição do Escudo Cristalino para a Planície Lagunar 2 e para os Depósitos Aluviais. Compõem uma superfície plana, e levemente inclinada. O depósito é constituído, do ponto de vista sedimentar, de areia média a muito grossa, grânulos eventualmente finos (siltes e argila), mal selecionados e grãos imaturos, pouco retrabalhados, típicos da área fonte. Ao serem lixiviados pela ação pluvial e fluvial, ficam expostos na superfície do terreno, grãos de quartzo e feldspato, produtos do intemperismo do depósito coluvial, e granitos do embasamento cristalino (HORN FILHO *et al.*, 2004).

Os **Depósitos Eólicos (eo2)** são encontrados a leste da zona urbana de Pelotas, na Região Administrativa do Laranjal. Remanescentes de depósitos eólicos de dunas litorâneas estão associados ao desenvolvimento da Barreira II, do Pleistoceno médio, e são formados por areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, cores castanho-avermelhadas, bem arredondadas, com raras laminações plano-paralelas ou cruzadas de alto ângulo (TAGLIANI, 2000).

O **Depósito de Planície Lagunar 2 (pl2)** ocupa quase 50% do território urbano de Pelotas. Sua formação se deu a partir dos depósitos sedimentares originários, principalmente, do



segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico, que corresponde ao primeiro estágio na evolução do Complexo de Barreiras Múltiplas, cujo desenvolvimento e individualização causaram o isolamento da extensa planície hoje ocupada pelo sistema Lagunar Patos-Mirim (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

Os sedimentos acumulados no Sistema Lagunar II são compostos, principalmente, por areias finas, siltico-argilosas, pobremente selecionadas e de coloração creme, laminação plano-paralela incipiente, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas.

O **Depósito de Planície Lagunar 3 (pl3)** ocupa a parte nordeste da Região Administrativa do Laranjal, estando separado da Laguna dos Patos por uma estreita faixa da Planície Lagunar 4. Está correlacionado ao Sistema Depositional Laguna-Barreira III, que se formou a partir do terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico. As fácies nele acumuladas possuem as mesmas características dos sedimentos do Depósito de Planície Lagunar 2.

O **Depósito de Planície Lagunar 4 (pl4)** se distribui por todas as Regiões Administrativas urbanas, formando as planícies de inundação dos canais São Gonçalo e Santa Bárbara e de parte da Laguna dos Patos. Está relacionado ao mais recente sistema deposicional do tipo laguna-barreira, que se desenvolveu no Holoceno. Os sedimentos que formaram a Planície Lagunar 4 também possuem as mesmas características dos sedimentos que formaram a Planície Lagunar 2.

Na zona urbana de Pelotas o sistema Lagunar IV engloba um grupo complexo de fácies acumuladas em ambientes desenvolvidos no espaço de retrobarreira formado pela Barreira IV. Segundo Barboza et al. (2008), esse espaço foi ocupado, no pico transgressivo holocênico, por grandes corpos lagunares que, acompanhando a posterior progradação da barreira, evoluíram para um complexo de ambientes deposicionais que incluem lagos e lagunas, sistemas aluviais, e sistemas paludais (pântanos, banhados e turfeiras).

Os **Depósitos Praiais Eólicos (pe4)** ocorrem na Região Administrativa do Laranjal e do Fragata, de formação holocênica recente, representam os depósitos atuais da Praia do Laranjal, e da Lagoa do Fragata. Compõem-se de areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas.

Os **Depósitos Aluviais (al4)** compõem os aluviões do Canal São Gonçalo, Arroio Pelotas, Arroio Fragata e Arroio Santa Bárbara. De idade holocênica estes depósitos consistem em áreas planas, com declividades inferiores a 2%, e com sedimentos decorrentes da erosão e

deposição fluvial, constituído por areias e material mais grossos, intercalados com lentes sílico-argilosas com vestígios de material orgânico.

As **Turfas (tf4)** são encontradas a sudoeste da zona urbana, na Região Administrativa do Fragata, na divisa com o município do Capão do Leão. As Turfas são resultantes do atrofiamiento e da decomposição, em variados grau, de restos vegetais acumuladas em condições de umidade excessiva. Em geral, apresentam decomposição mais acentuada conforme aumenta a profundidade, sendo mais fibrosas na superfície e bem decompostas nas camadas mais profundas.

A Figura 6.49 apresenta o mapa de unidades geológicas

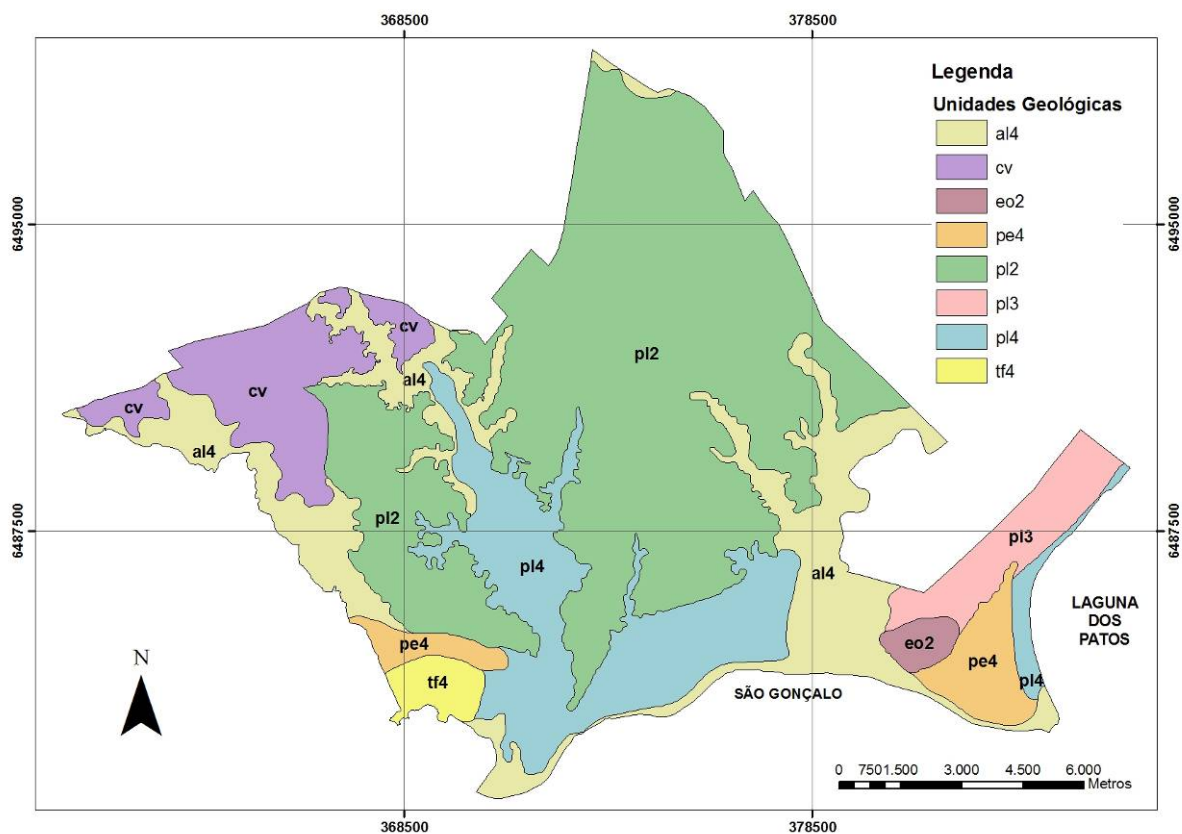


Figura 6.49 – Mapa de Unidades Geológicas.

### 6.8.2 Pedologia da Área Urbana de Pelotas

O mapa pedológico (editado a partir de Cunha e Silveira,1996), após as generalizações taxonômicas e as redefinições de limites cartográficos, apresenta nove classes de solos.

Desconsiderando, por não possuírem grande significância sobre o ponto de vista da engenharia (DAVISON e MILITITSKY, 1994), os atributos relativos ao caráter geoquímico dos solos, como eutrófico, distrófico, solódico e planossólico, presentes em Cunha e Silveira (1996), as classes resultantes, com suas respectivas siglas são apresentadas na Tabela 6.4.

As classes de solos seguem a nomenclatura definida pelo sistema de classificação pedológica vigente à época do supracitado levantamento (CAMARGO et al., 1987). Nas descrições que seguem são feitas correlações ao novo SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos), segundo Embrapa (2006), e referências às classes mapeadas por Brasil (1973) no conhecido Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul, revitalizado a partir da publicação de Streck et al (2008).

Tabela 6.4 – Unidades de solos mapeadas na zona urbana do município de Pelotas, para fins geotécnicos

<b>SIGLA</b>	<b>SOLO DOMINANTE</b>	<b>OCORRÊNCIAS SUBDOMINANTES</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>A</b>	SOLO ALUVIAL	GLEI POUCO HÚMICO	0.56	0.29
<b>AQ</b>	AREIAS QUARTZOSAS		1.82	0.95
<b>HG</b>	GLEI HÚMICO	SOLO ORGÂNICO e SOLO ALUVIAL INDISCRIMINADOS	24.73	12.84
<b>HO</b>	SOLO ORGÂNICO SALINO e GLEI HÚMICO (complexo de solos)	GLEI INDISCRIMINADO	5.53	2.87
<b>HP</b>	PODZOL HIDROMÓRFICO	GLEI HÚMICO INDISCRIMINADO	8.94	4.64
<b>PL</b>	PLANOSSOLO	SOLONETZ e GLEI POUCO HÚMICO INDISCRIMINADO	113.92	59.13
<b>PV</b>	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO	GLEI HÚMICO INDISCRIMINADO	5.04	2.61
<b>SK</b>	SOLONCHAK	SOLOS HIDROMÓRFICOS INDISCRIMINADOS	0.57	0.30
<b>HG-PL</b>	GLEI HÚMICO e GLEI POUCO HÚMICO (complexo de solos)	SOLONETZ e SOLONCHAK INDISCRIMINADOS	31.52	16.53
	PLANOSSOLO	PODZOL VERMELHO-AMARELO INDISCRIMINADO		

A seguir são descritas as principais características das classes taxonômicas de solos de cada unidade mapeada.

Os **Solos Aluviais (A)** são solos minerais pouco desenvolvidos, apresentando camada superficial (A) moderada, sobre camadas de textura variável, proveniente da deposição de

sedimentos diversos na planície de inundação dos cursos d'água. Os freqüentes acréscimos durante as inundações restringem o desenvolvimento pedogenético dos perfis. Ocupam áreas planas, com aproveitamento limitado pela má drenagem e risco de inundação.

São encontrados ao norte da zona urbana de Pelotas, junto ao arroio Pelotas, na Região Administrativa das Três Vendas. São solos imperfeitamente drenados, caracterizados por ter sedimentos estratificados no perfil, com pedregosidade (seixos), predominância de areias nas camadas, variação nas cores e conteúdo de matéria orgânica sem relação com a formação dos solos. A fração areia é variável e, freqüentemente, existe elevado teor no conteúdo de cascalhos.

Nas partes baixas do relevo aparece associado aos Solos Aluviais o Gleí Pouco Húmico, que apresenta silte fino ou argila na camada superficial e subsuperficial, mas também areia e subsolo cascalhento. No SiBCS são correlacionados aos Neossolos Flúvicos.

Os **Solos Orgânicos (HO)** são hidromórficos (formados em condições de excesso de umidade) pouco evoluídos, essencialmente orgânicos, com horizontes turfosos.

Em Pelotas, são encontrados na parte mais ao sul da zona urbana, junto a Lagoa do Fragata, na Região Administrativa de mesmo nome. São formados por um complexo de solos. O Solo Orgânico Salino é profundo e muito mal drenado, sua camada superior (O), de 30 a 60 cm, consiste de turfas bruno escuro. A camada subsuperficial (A), possui textura argilosa, preta, é muito húmica, e não muito bem consolidada, podendo ser levemente salina. O subsolo consiste de matéria mineral de textura variável, havendo, freqüentemente, variáveis graus de consolidação, possui cores cinzentas, e reação moderadamente alcalina. A atividade das argilas é muito alta. O substrato é profundo, geralmente abaixo de 2m de profundidade, e consiste de areia fina, que pode estar alternada com camadas de argilas consolidadas. Os outros solos que compõem o complexo, solos gleis, possuem, no local, características semelhantes ao primeiro, podendo ocorrer com ou sem uma camada de turfas rasas. Em alguns locais, a presença de sulfetos, confere o característico cheiro de ovo podre ao solo, definindo o caráter tiomórfico aos perfis. São correlacionados aos solos classificados como Organossolos Háplicos no SiBCS. Um perfil típico e uma paisagem de ocorrência são ilustrados na Figura 6.50 (STRECK et al., 2008)



Figura 6.50– Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Organossolo Háplico. Fonte: Streck et al. (2008).

O **Podzol Hidromórfico (HP)** compreende solos minerais hidromórficos, com horizonte B precedido de horizonte E ou, raramente, em sequência ao horizonte A. A quase totalidade desses solos é de textura arenosa, acidez elevada, baixa fertilidade natural, baixos teores de bases trocáveis, elevada permeabilidade e ressecamento rápido. O diferencial desta classe de solo é a concentração mais elevada de matéria orgânica em subsuperfície, característico do processo pedogenético chamado podzolização.

É encontrado nas Regiões Administrativas do Laranjal, Areal, Fragata e Centro. É um solo profundo, de moderadamente a mal drenado, possuindo uma camada superior (A), com espessura aproximada de 40 cm, textura franco-arenosa ou arenosa, estrutura granular pobre, forte acidez e baixo conteúdo de matéria orgânica. A transição para a camada inferior, de aproximadamente 50cm, arenosa, estrutura de grãos soltos e acidez média, é gradual. O subsolo consiste em areia gleizada, com variável e profundo teor de argila consolidada.

Nas partes baixas do relevo (depressões) aparece associado ao Gleí Húmico, solo muito mal drenado e que possui uma camada superior arenosa húmica, sobre areia fortemente gleizada. Possui pH alto e variações de raso a profundo. Nos locais aonde os sedimentos são franco ou argilosos, também são fortemente gleizados e com similar pH.

No SiBCS, estes solos são pertencentes a classe dos Espodosolos no primeiro nível categórico.

Os **Planossolos (PL)** são solos hidromórficos, com horizonte B textural, verificando mudanças textural abrupta entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. O horizonte eluvial é de textura mais arenosa, com transição abrupta para o horizonte mais argiloso, o qual tem feições associadas ao excesso de umidade (cor cinzenta e mosqueados).

Os Planossolos originam-se por processos de eluviação-iluviação (translocação de argilas) e gleização (redução de óxido de ferro). A seqüência de horizontes é A, E, Bt, Cg. Devido ao alto grau de argila dispersa o horizonte B apresenta elevado grau de adensamento, baixa permeabilidade e estrutura com aspecto maciço. São típicos de várzeas planas em condições de excesso d'água.

São encontrados em 62,5% da zona urbana de Pelotas, nas regiões administrativas do Centro, Fragata, Areal, Três Vendas e Barragem. Possuem uma camada superficial (A) de textura média (franco-arenoso) ou franca, e estrutura fraca (maciça), com transição abrupta para a camada subsuperficial (B), que possui textura argilosa ou franca, e estrutura fraca. A atividade da argila é alta. São, em geral, moderadamente ou mal drenados.

Quando estão sobre os Depósitos Colúvios Aluviais, aparecem associados ao Podzólico Vermelho-Amarelo Planossólico, que é um solo de moderadamente a mal drenado e profundo. E quando sobre Depósitos Aluviais ou Depósitos de Planície Lagunar, se associam ao Solonetz e ao Gleí Pouco Húmico indiscriminado, que aparece nas depressões do mesorrelevo.

O SiBCS mantém como Planossolos o nome da classe de solo correspondente. A classe Pelotas, mapeada em Brasil (1973) e classificada taxonomicamente como Planossolo Háplico Eutrófico solódico pelo SiBCS apresenta perfil e paisagem de ocorrência ilustrada na Figura 6.51, de Streck et al (2008)

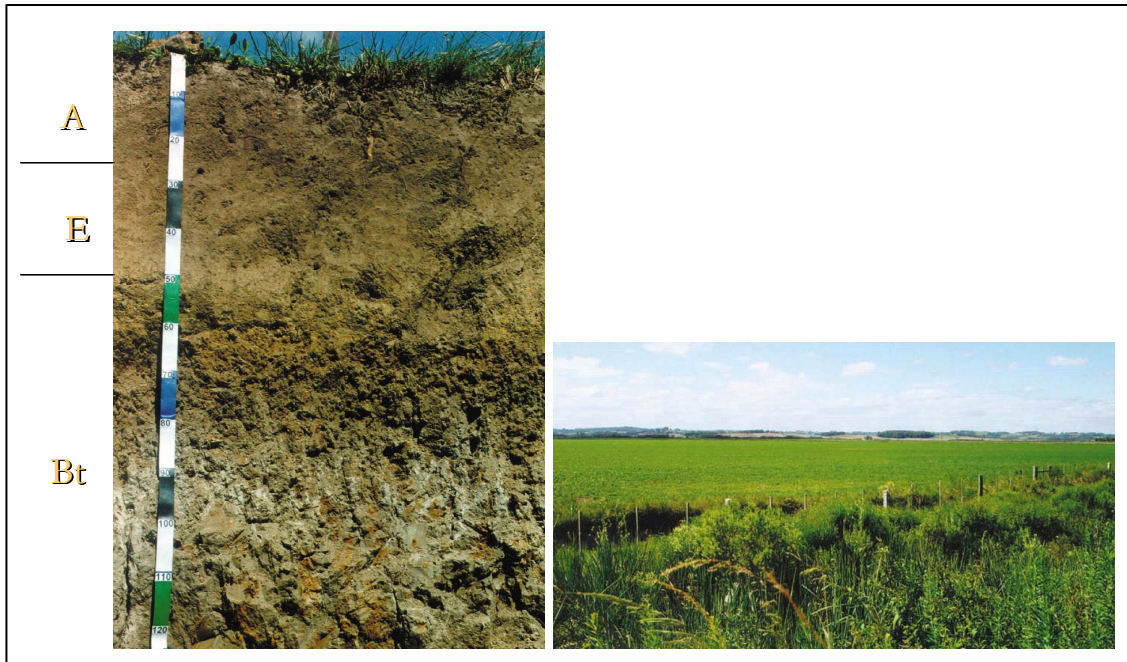


Figura 6.51 - Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Planossolos da unidade Pelotas.  
Fonte: Streck et al. (2008).

O **Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)** constitui solos não hidromórficos, com acentuado gradiente textural B/A em função do intenso processo de eluviação-iluviação, com acentuada diferença de cor e textura entre os horizontes, moderadamente profundos a profundos com cores vermelha a amarelas no horizonte B. A sequência de horizontes é A, B, C, geralmente com transições claras ou abruptas. Apresenta argila de atividade alta ou baixa, dependendo da intensidade do intemperismo.

Na zona urbana de Pelotas, são encontrados na Região Administrativa do Laranjal e se apresentam profundos com drenagem moderada a imperfeita, camada superficial (A) arenosa e de estrutura pobre (granular fraca a grãos soltos). A transição é gradual a abrupta para a camada subsuperficial (B), que possui textura franca (franco-argilo-arenoso) e estrutura fraca (blocos angulares, fraca a moderada). Possuem argilas com atividade alta e baixa. Associados ao Podzólico Vermelho-Amarelo, são encontrados nas depressões e pequenas lagoas (olhos d'água) solos Glei Húmico Planossólico indiscriminado.

Pelo SiBCS são correlacionados aos Argissolos Vermelho-Amarelos. A Figura 6.52 apresenta o perfil e paisagem de ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico, pertencente a unidade de mapeamento Tuia (de Brasil, 1973), segundo Streck et al. (2008)





Figura 6.52 – Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Argissolos Vermelho-Amarelos da unidade Tuia .  
Fonte: Streck et al. (2008).

O **Solonchak (SK)** é um solo com horizonte sálico (com concentração de sais solúveis em água) e pouca diferenciação entre os horizontes A e C. Correspondem a solos salinos e apresentam eflorescência (crostas de sais) brancas na superfície durante épocas secas.

Na zona urbana de Pelotas, são encontrados na localidade conhecida como Pontal da Barra, na Região Administrativa do Laranjal. São solos muito mal drenados, que apresentam uma camada orgânica (O) de material turfoso, com aproximadamente 20cm de espessura. A camada seguinte, mineral argilosa, apresenta cor cinzento-escuro, muito húmica, consolidada e extremamente salina.

Pelo novo SiBCS, são estes solos correlacionados a Gleissolos sálicos ou Organossolos Tiomórficos Sápricos salinos ou sálicos pertencentes a unidade Taim, segundo Brasil (1973)

O **Glei Húmico (HG)** é um solo hidromórfico com horizonte glei dentro de 60cm a partir da superfície, onde o processos de gleização (redução de óxidos de ferro) é fortemente atuante. A seqüência de horizontes é A, Cg, sem gradiente textural, o que, principalmente, distingue os Gleis dos Planossolos. De modo geral, apresenta textura argilosa, argila de atividade alta, excessiva má drenagem e baixa permeabilidade. O horizonte glei tem cores cinzentas com ou sem mosqueados e o horizonte A é mais escuro. É um solo que ocorrem em áreas baixas e planas e nas porções deprimidas do relevo.

Em Pelotas é encontrado em 11,46% da zona urbana, em quase todas as Regiões Administrativas. É, geralmente, um solo profundo e mal drenado. A camada superficial (A) é siltosa ou argilosa e apresenta boa estrutura, nas áreas em que o material de origem é sedimentos argilosos aluviais, e com textura variável (areia a franco-argilo-siltoso) e estrutura igualmente variável, nas áreas onde o material de origem é sedimentos arenosos aluviais. Possui transição de gradual a abrupta para o subsolo (C), que também possui textura e estrutura variável.

Associados ao Gleí Húmico são encontrados, em boa parte das áreas, Solos Orgânicos, muito mal drenados, com camada superior orgânica (O), de 30 cm, com turfas ( $MO > 18\%$ ). Possuem sedimentos argilosos consolidados e a mesma sequência de horizontes do Gleí Húmico, com argila de cor preta sobre argila da cor cinzenta. Em alguns locais o subsolo é arenoso, caracterizando solos aluviais.

No SiBCS, o Gleí Húmico presente na área de estudo correlaciona-se ao Gleissolo Háptico Tb Eutrófico típico, identificado como unidade Banhado em Brasil (1973). A Figura 6.53 apresenta um perfil típico da unidade Banhado apresentado em Streck et al.(2008).



Figura 6.53 – Perfil e paisagem de ocorrência típicos de Gleissolos Hápticos da unidade Banhado.  
Fonte: Streck et al. (2008).

As **Areias Quartzosas (AQ)** constituem solos pouco desenvolvidos, profundos, originados de sedimentos arenosos inconsolidados. Tem seqüência de horizontes A, C com menos de 15% de argila.

São encontradas na Região Administrativa do Laranjal, sendo excessivamente drenados e constituindo-se de areias soltas. Formam um relevo enrugado, que continuamente muda de forma pela ação do vento.

A associação **Glei Húmico-Planossolos (HG-PL)** é encontrada em 16,36% da zona urbana de Pelotas, ocorrendo em todas as sete Regiões Administrativas, com grande predominância (75,52%) na Planície do São Gonçalo, onde são encontrados o Glei Húmico e o Glei Pouco Húmico Solódicos. Segundo Cunha e Silveira (1996), poucos dados de campo têm sido reunidos nessa planície. Indicações das texturas sugerem que, ao sul predominam silte e argila e no norte texturas grosseiras. Em ambos os casos os sedimentos são consolidados e mostram estratificação. Parece haver uma alta salinidade, com o sal, no verão seco, alcançando a superfície e formando uma crosta branca, mas as percentagens de sódio são menores do que 15% em alguns locais (CUNHA e SILVEIRA,1996).

Os Planossolos são encontrados em zonas de maior cota altimétrica, a leste, junto ao limite urbano e a norte no centro da Planície Alta (zonas de Lombadas). A camada superior (A) possui textura média, estrutura fraca (maciça), acidez forte, e conteúdo satisfatório de matéria orgânica. A transição para camada subsuperficial (B) é abrupta, e esta possui textura argilosa, estrutura fraca. A atividade das argilas é alta e o subsolo (C) possui textura argilosa a média. Em ambos locais, podem estar associados ao Podzólico Vermelho-Amarelo.

A Figura 6.54 mostra o Mapa Pedológico da zona urbana de Pelotas, após as generalizações e redefinições de limites, e na Figura 6.55 as Classes Pedológicas aparecem sobrepostas à imagem de satélite da zona urbana de Pelotas. Um quadro com o resumo das principais propriedades das classes descritas é apresentado na Tabela 6.5.

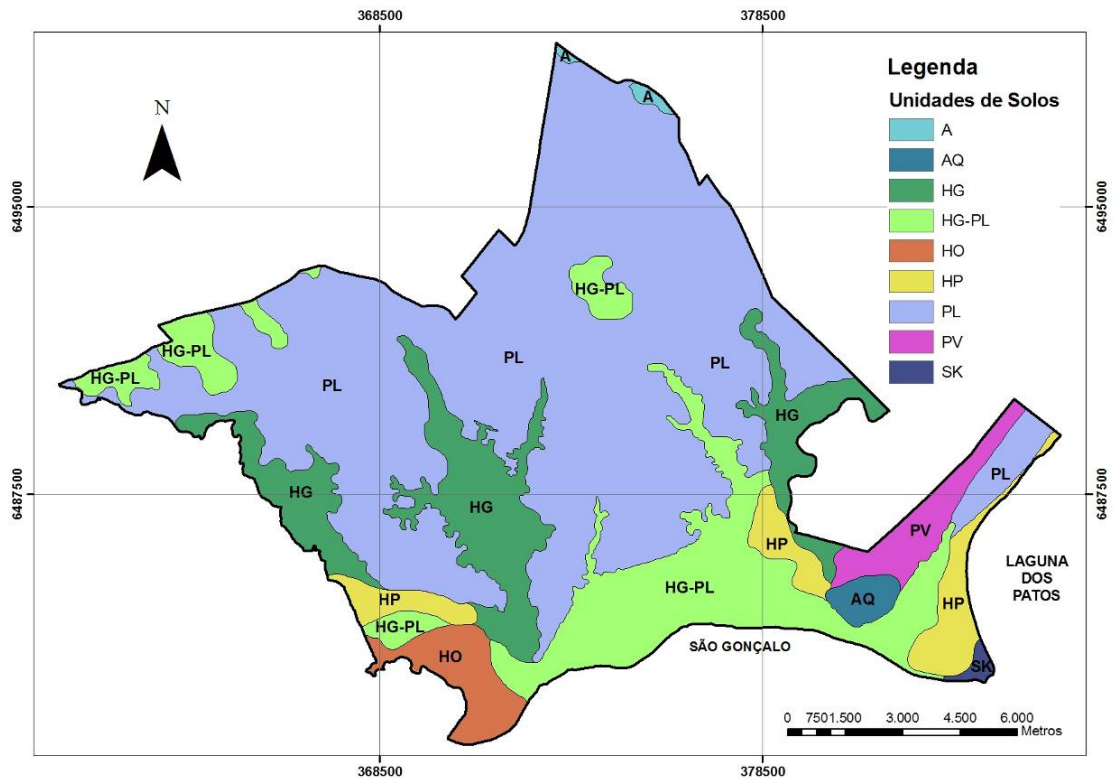


Figura 6.54 – Mapa Pedológico após as generalizações taxonômicas e as redefinições de limites.

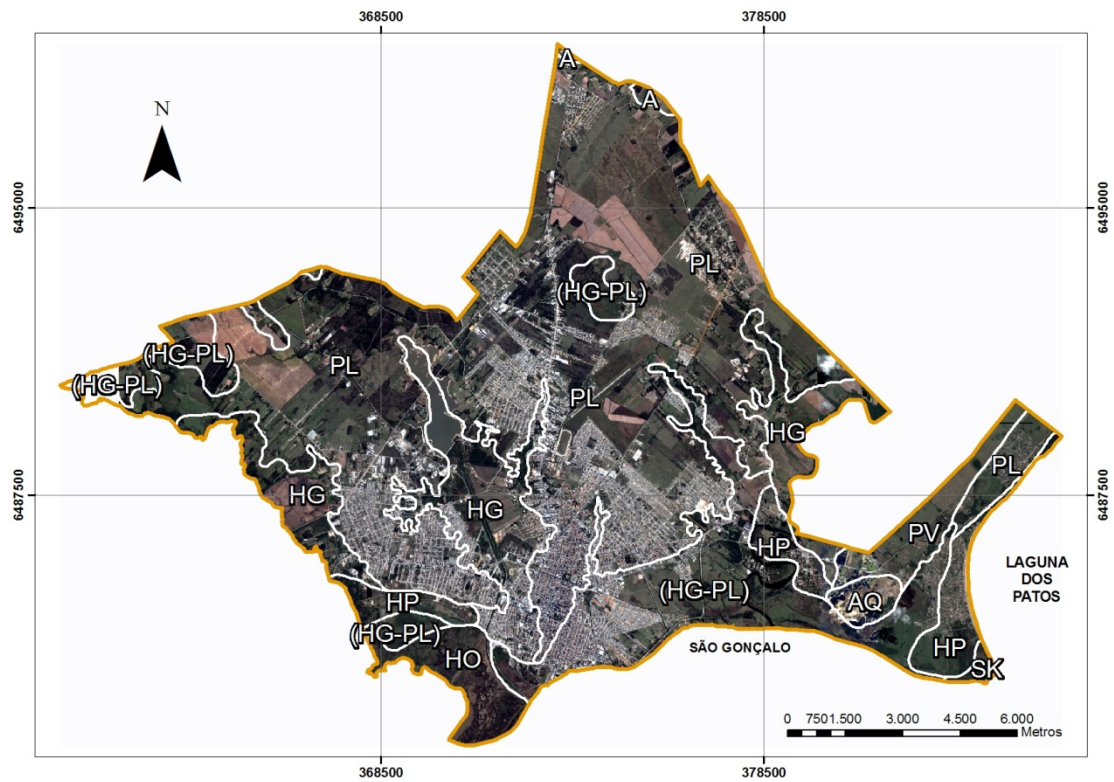


Figura 6.55 – Classes Pedológicas sobrepostas a imagem de satélite da zona urbana.



Tabela 6.5 – Classes de Solos da zona urbana de Pelotas com algumas de suas principais características.

CLASSE DE SOLO	SEQUÊNCIA DE HORIZ.	HIDROMORFISMO	CLASSE DE DRENAGEM	ATIVIDADE ARGILA	TEXTURA (HOR A/HOR B)	HORIZONTE DIAGNÓSTICO	CLASSE DE PROFUNDIDADE	SUBSTRATO(S) GEOLÓGICO(S) PRINCIPAL(is) (Zona Urbana de Pelotas)
<b>A</b>	A,C	Sim	Imperfeita	Alta e baixa	Indiscriminada	Proeminente	Profundos	Dep. Aluviais
<b>AQ</b>	A,C	Não	Excessivamente drenado	Baixa	Arenosa	Fraco	Profundos	Dep. Eólicos
<b>HG</b>	A,C	Sim	Mal drenado a muito mal drenado	Alta	Argilosa/arenosa	Proeminente	Profundo a muito profundo	Dep. Aluvial e Dep. de Planície Lagunar 4
<b>HO</b>	O,A,C	Sim	Muito mal drenado	Alta	Siltosa/argilosa	Orgânico	Profundo	Dep. Aluvial, Dep. de Planície Lagunar 4 e Turfas
<b>HP</b>	A,B,C	Sim	Moderadamente bem a mal drenado	Baixa	Arenosa	Fraco	Profundo	Dep. Praiais Eólicos
<b>PL</b>	A,B,C	Sim	Imperfeitamente drenado	Alta	Arenosa/argilosa	Moderado	Profundo	Dep. de Planície Lagunar 2
<b>PV</b>	A,B,C	Não	Moderadamente a imperfeitamente drenado	Alta e baixa	Arenosa/média	Fraco	Muito profundo	Dep. de Planície Lagunar 3
<b>SK</b>	O,A,C	Sim	Muito mal drenado	-	Arenosa	Proeminente	Profundo	Dep. Aluviais
<b>(HG-PL)</b>	A,C-A,B,C	Sim	Mal drenado	Alta	Média/argilosa	Proeminente	Profundo a muito profundo	Dep. de Planície Lagunar 4 e Dep. Aluviais

### 6.8.3 Cruzamento dos Mapas

Conforme Dias e Milititsky (1994) uma unidade geotécnica pode ser definida como uma região formada por perfis de solos cujos comportamentos geotécnicos frente ao uso e a ocupação do solo são similares.

Ainda segundo os autores supracitados, devido à grande variabilidade de perfis de solos existentes no Brasil, o uso exclusivo da geologia não é suficiente para estimativa de unidades geotécnicas. Também a pedologia tem suas limitações, entretanto, continuam os autores, a superposição destas duas ciências tem orientado a estimativa de comportamento geotécnico dos solos e facilitado o desenvolvimento de cartas temáticas específicas.

Pela metodologia utilizada, os horizontes superficiais A e B são classificados pela pedologia e os horizontes C e rocha alterada são caracterizados pela geologia.

Conforme já citado no Capítulo 3, a simbologia utilizada na estimativa das unidades geotécnicas é a seguinte: ABCxyz, sendo que as letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica do horizonte superficial (horizonte A e B) e as minúsculas identificam a geologia, caracterizando os horizontes C, RA e R.

Desta forma, os *layers* representativos da geologia e da pedologia foram cruzados no ArcGis através da ferramenta de análise espacial *intersect* disponível no ArcToolbox, tendo sido gerada uma nova *layer* contendo as unidades geotécnicas estimadas para a zona urbana de Pelotas.

A Figura 6.56 mostra o mapeamento das 23 Unidades Geotécnicas Estimadas, e a Tabela 6.6 a relação destas unidades, com a descrição das classes pedológicas e geológicas correspondentes, a área territorial urbana ocupada por cada unidade, e os percentuais dessas áreas.

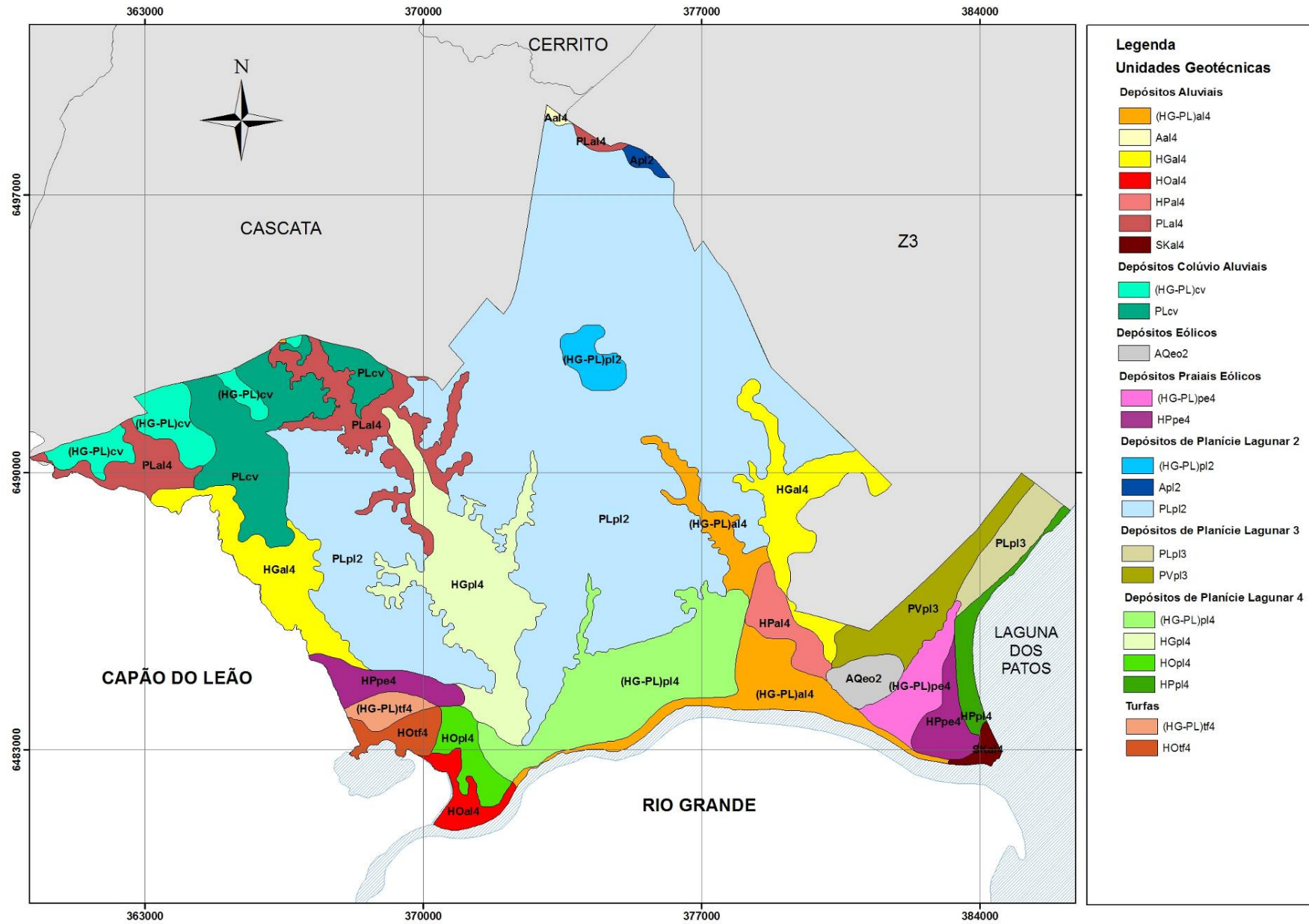


Figura 6.56 – Mapa de estimativa de unidades geotécnicas.



Tabela 6.6 – Unidades geotécnicas estimadas

UNIDADE	PEDOLOGIA	GEOLOGIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )	%
(HG-PL)al4	Glei Húmico e Glei Pouco Húmico (complexo de solos) com Planossolos	Depósitos Aluviais	8,18	4,25
Aal4	Solo Aluvial	Depósitos Aluviais	0,15	0,08
HGal4	Glei Húmico	Depósitos Aluviais	12,02	6,24
HOal4	Solo Orgânico Salino e Glei Húmico (complexo de solos)	Depósitos Aluviais	1,69	0,88
HPal4	Podzol Hidromórfico	Depósitos Aluviais	2,42	1,26
PLal4	Planossolo	Depósitos Aluviais	9,37	4,86
SKal4	Solonchak	Depósitos Aluviais	0,57	0,30
(HG-PL)cv	Glei Húmico e Glei Pouco Húmico com Planossolos	Depósitos Colúvio Aluviais	4,66	2,42
PLcv	Planossolo	Depósitos Colúvio Aluviais	10,56	5,48
AQeo2	Areias Quartzosas	Depósitos Eólicos	1,82	0,95
(HG-PL)pe4	Glei Húmico e Glei Pouco Húmico com Planossolos	Depósitos Praiais Eólicos	3,08	1,60
HPpe4	Podzol Hidromórfico	Depósitos Praiais Eólicos	4,55	2,36
(HG-PL)pl2	Glei Húmico e Glei Pouco Húmico com Planossolos	Depósito de Planície Lagunar 2	1,72	0,89
Apl2	Solo Aluvial	Depósito de Planície Lagunar 2	0,41	0,21
PLpl2	Planossolo	Depósito de Planície Lagunar 2	91,13	47,30
PLpl3	Planossolo	Depósito de Planície Lagunar 3	2,86	1,48
PVpl3	Podzólico Vermelho-Amarelo	Depósito de Planície Lagunar 3	5,04	2,62
(HG-PL)pl4	Glei Húmico e Glei Pouco Húmico com Planossolos	Depósito de Planície Lagunar 4	12,61	6,55
HGpl4	Glei Húmico	Depósito de Planície Lagunar 4	12,72	6,60
HOpl4	Solo Orgânico Salino e Glei Húmico (complexo de solos)	Depósito de Planície Lagunar 4	2,17	1,13
HPpl4	Podzol Hidromórfico	Depósito de Planície Lagunar 4	1,97	1,02
(HG-PL)tf4	Glei Húmico e Glei Pouco Húmico com Planossolos	Turfas	1,28	0,66
HOf4	Solo Orgânico Salino e Glei Húmico (complexo de solos)	Turfas	1,67	0,87

## Capítulo 7 - CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE GEOTÉCNICA DAS ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA

---

### 7.1 INTRODUÇÃO

Conforme a metodologia proposta, com o objetivo de otimizar esforços de mapeamento e análises geotécnicas, foi realizado um mapeamento prévio das áreas disponíveis e propícias a expansão urbana. Desta forma, foram identificados e mapeados 26 vazios urbanos. Alguns desses vazios formam áreas contíguas que foram subdivididas de forma a facilitar suas caracterizações. A Figura 7.1 mostra a distribuição espacial dos vazios urbanos e suas numerações.



Figura 7.1 - Vazios urbanos de Pelotas.

Sendo assim, a caracterização geotécnica das unidades estimadas será limitada em função dos vazios urbanos, sendo desconsideradas as demais áreas, quer seja porque já estão densamente ocupadas, ou porque possuem restrições físicas, ambientais ou legais a ocupação.

A caracterização e análise geotécnica, dentro dos objetivos do presente trabalho, está direcionada a expansão urbana, de forma a categorizar as áreas disponíveis quanto à adequação aos diferentes usos e ocupações do solo. Serão avaliados usos tipicamente urbanos, ou seja, não será objeto de análises usos agropecuários. No mapeamento dos vazios urbanos, descrito no capítulo 6, foram excluídas grande parte das áreas urbanas que ainda mantém um uso predominantemente rural. Mesmo assim, ainda restaram áreas mapeadas como vazios usadas para atividades rurais, mas que, com o crescimento da cidade ao longo do tempo, tendem a ter seu uso alterado pelo parcelamento fundiário e conseqüentes ocupações urbanas.

A Tabela 7.1 mostra o cruzamento dos vazios urbanos com as unidades geotécnicas, indicando a área (em hectare) das unidades presentes em cada vazio. A unidade hectare foi escolhida para uma melhor expressão em números significativos das áreas dos vazios.

Tabela 7.1 – Unidades geotécnicas presentes nos vazios urbanos, áreas em hectare.

Vazios	(HG-PL)al4 (ha)	Aal4 (ha)	HGal4 (ha)	HPal4 (ha)	PLal4 (ha)	SKal4 (ha)	PLev (ha)	(HG-PL)pe4 (ha)	HPpe4 (ha)	(HG-PL)pl2 (ha)	Apl2 (ha)	PLpl2 (ha)	PLpl3 (ha)	PVpl3 (ha)	(HG-PL)pl4 (ha)	HGpl4 (ha)	HPpl4 (ha)	Total (ha)
v1			141,51		14,22		272,93					428,83						857,49
v2			104,22		0,00				52,67			37,01				3,64		197,54
v3					6,74							141,27				91,05		239,07
v4												10,79				16,17		26,97
v5					32,21							147,59						179,80
v6					1,95							114,47				152,19		268,61
v7																102,57		102,57
v8												278,76						278,76
v9												207,23						207,23
v10		1,38			32,98						1,02	228,51						263,89
v11										162,19		639,26						801,45
v12															10,27			10,27
v13												15,83			0,89			16,72
v14												25,49						25,49
v15												31,09						31,09
v16	1,61														15,42			17,03
v17										6,58		298,78						305,36
v18	7,35											298,07						305,42
v19															238,31			238,31
v20	5,14			0,49								26,35			76,77			108,76
v21	11,00		31,02									392,61						434,63
v22	0,87			28,98														29,85
v23	10,99																	10,99
v24														175,35				175,35
v25						4,96		0,47	93,30								23,81	122,54
v26													35,44	138,04				173,48
Total	36,96	1,38	276,74	29,47	88,11	4,96	272,93	0,47	145,97	168,76	1,02	3321,96	35,44	313,40	341,66	365,63	23,81	5428,66

## 7.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS

A caracterização dos vazios urbanos e das unidades geotécnicas tem por base as descrições geológicas, geomorfológicas e pedológicas, os dados sistematizados no SIG, dentre eles as sondagens geotécnicas, e os levantamentos de campo realizados.

### 7.2.1 Levantamentos de Campo

Entre os meses de setembro e outubro de 2009 foram realizadas quatro saídas de campo, para observação e levantamento de dados dos 26 vazios urbanos. Foi feito um levantamento fotográfico com apoio de GPS para marcação das coordenadas dos pontos onde foram tomadas 117 fotografias, as quais foram posteriormente incorporadas ao SIG através de *hiperlinks* com os pontos tomados. Também foram observados, entre outros: as características físicas e ambientais dos vazios urbanos e unidades geotécnicas; os tipos de ocupações vizinhas ou próximas aos vazios; infra-estrutura existente no entorno; e soluções para fundações e pavimentações em obras locais.

### 7.2.2 Dados sistematizados no SIG

O SIG permitiu a sistematização, integração, visualização, cruzamento e análise dos diversos dados geográficos inventariados. Vários desses dados já foram objeto de análises e operações cartográficas e/ou espaciais em etapas anteriores do trabalho. Outros serão usados nas análises subsequentes.

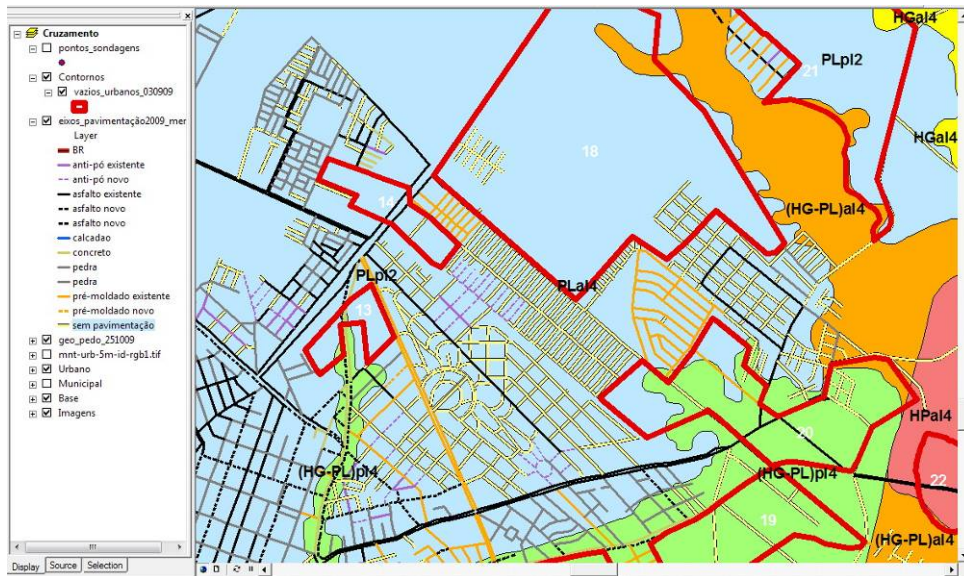
Organizados em *layers* e armazenados em um banco de dados com referência geográfica única, os dados podem ser operados de diversas formas, desde simples sobreposição, até cruzamentos com geração de dados derivados, e outras operações espaciais. As tabelas de atributos das geometrias contém, além de informações descritivas, dados numéricos sobre os quais podem ser aplicados operadores aritméticos e estatísticos, gerando novos valores interpretativos.

A Tabela 7.2 apresenta as *layers* utilizadas nas análises e caracterizações dos vazios urbanos. Já a Figura 7.2 e a Figura 7.3 mostram algumas sobreposições de *layers* realizadas no SIG.

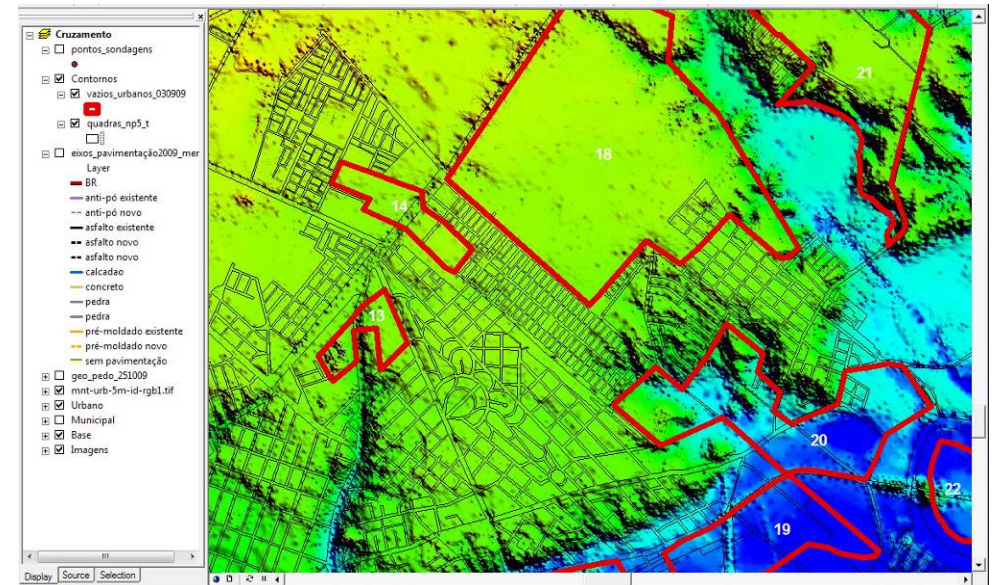
Tabela 7.2 – Layers (temas) do SIG utilizados nas análises geotécnicas.

TEMA	FEATURE DATASET	FEATURE CLASS	TABLE	RASTER
Altura das Edificações	LEGISLACAO_URBANA	altura_edificacoes_poligonos		
Banhados				uso_solo_classSPOT5.tif
Base Cartográfica Urbana	BASE_CARTOGRÁFICA	quadras		
Declividade				declividades.tif
Divisão territorial	DIVISAO_TERRITORIAL	macro_regioes		
Fotos	HIPERLINKS	pontos_fotos		diversos
Imagens de Satélite				quickbird_2006_det_rec.tif
Pavimentação	INFRA_ESTRUTURA	eixos_viarios		
Rede de Água	INFRA_ESTRUTURA	rede_agua		
Rede de Esgoto	INFRA_ESTRUTURA	rede_esgoto		
Relevo				MNT_RGB_urb_rec.tif
Sondagens SPT	DADOS_GEOTECNICOS	pontos_sondagens	SONDAGEM_CLASSIFICAÇÃO SONDAGEM_NSPT SONDAGEM_NIVEL_DAGUA	
Unidades Geotécnicas	DADOS_GEOTECNICOS	unidades_geotecnicas		
Usos Legais	LEGISLACAO_URBANA	AEIAN; AEIAC; AEIS altura_edificacoes_eixos altura_edificacoes_poligonos area_industrial area_transicao_industrial regiao_adm_laranjal zona_rurubana		
Vazios Urbanos	CRESCIMENTO_URBANO	vazios_urbanos vetores_crescimento		
Zonas Alagáveis				areas_alagaveis.tif





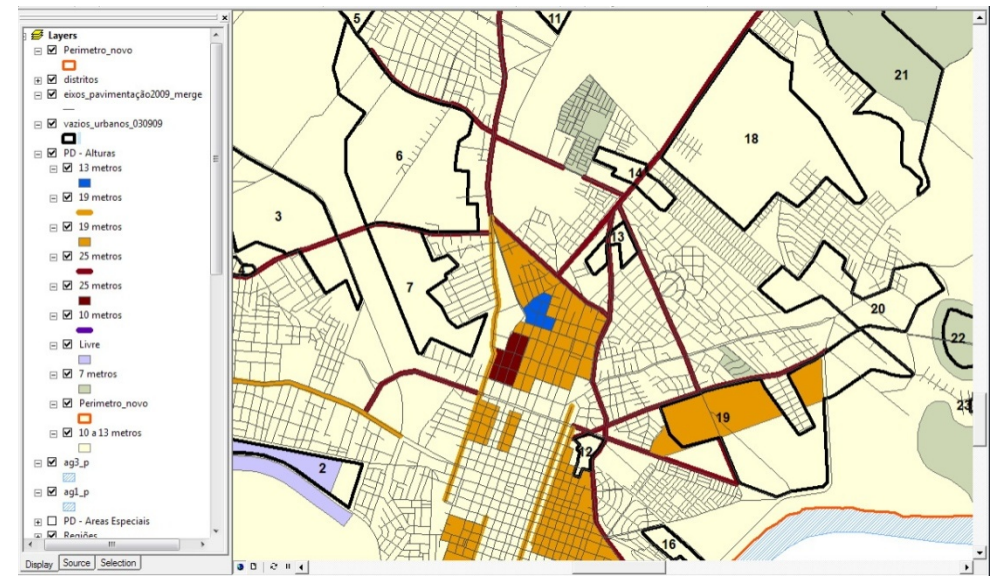
a



b



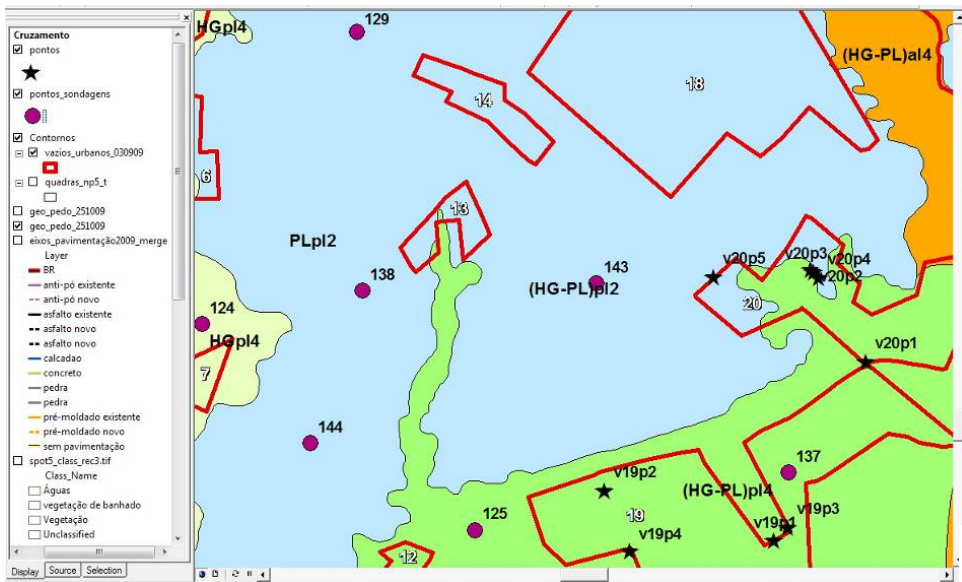
c



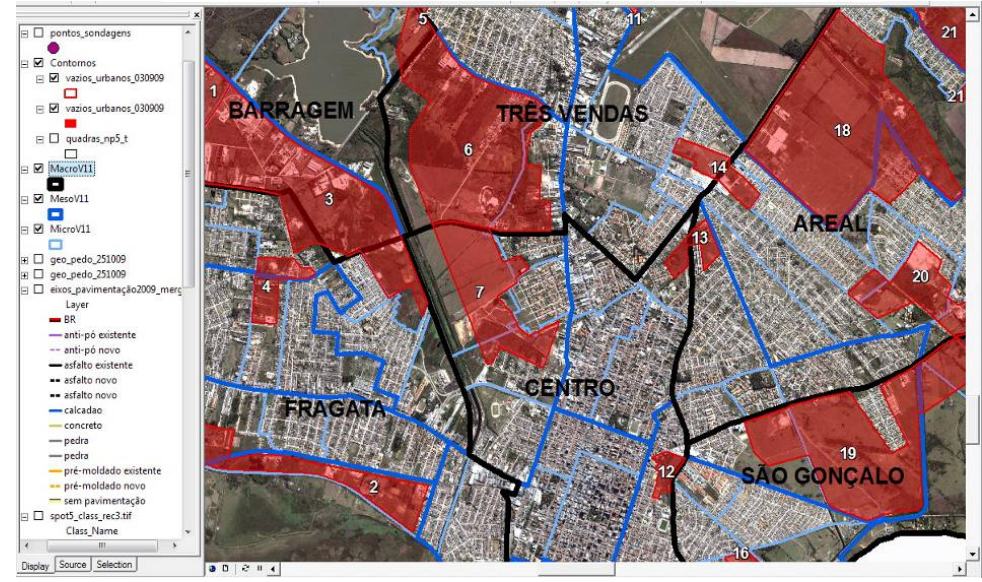
d

Figura 7.2 - Exemplos do cruzamentos de *layers* utilizados para caracterização e análises dos vazios urbanos: a) unidades geotécnicas, vazios urbanos e pavimentação; b) vazios urbanos, quadras, relevo; c) vazios urbanos, imagem de satélite, áreas úmidas; d) vazios urbanos, quadras, legislação urbanística.

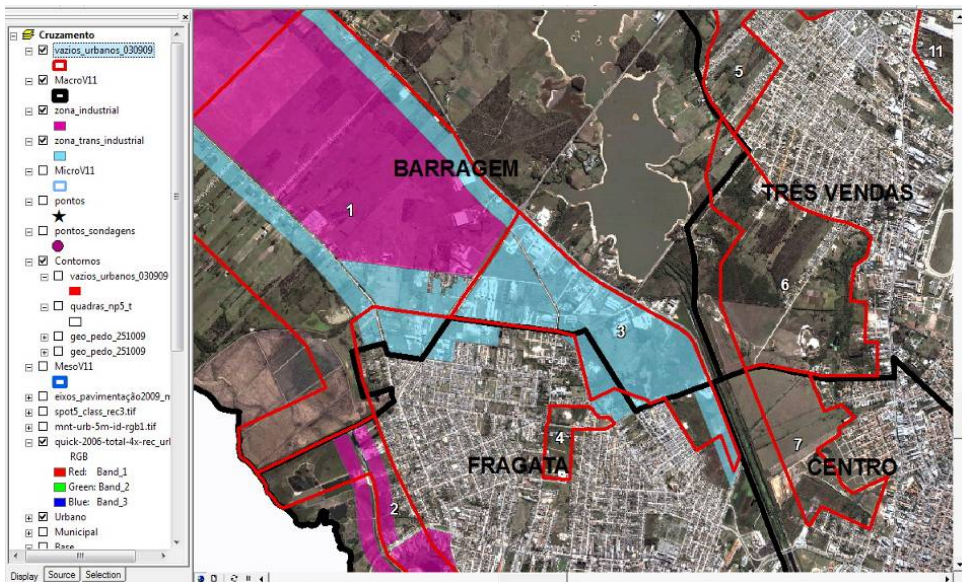




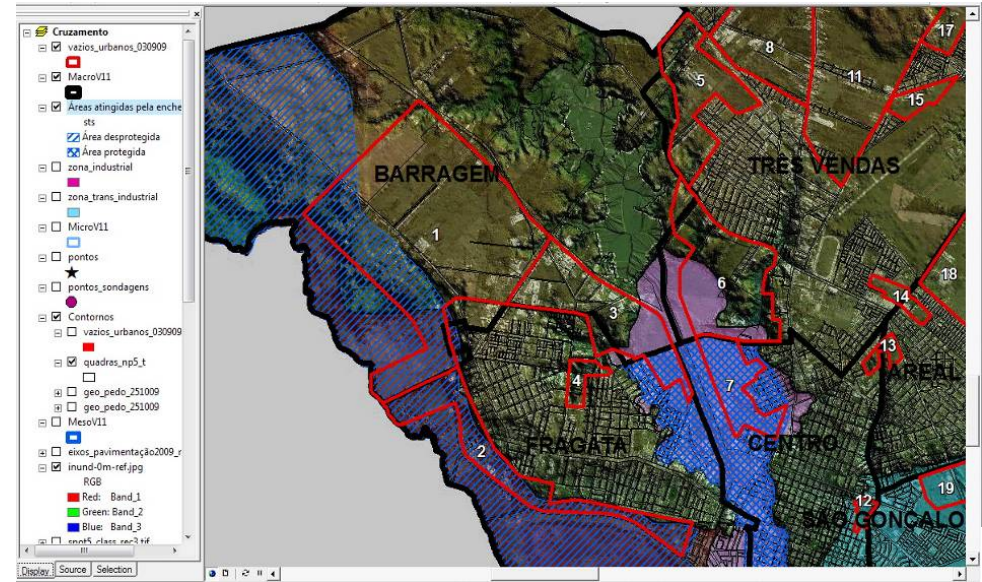
a



b



c



d

Figura 7.3 - Exemplos do cruzamentos de *layers* utilizados para caracterização e análises dos vazios urbanos: a) vazios urbanos e sondagens SPT; b) vazios urbanos, e divisões territoriais; c) vazios urbanos, imagem de satélite, áreas de especial interesse segundo o Plano Diretor; d) vazios urbanos, eixos viários, áreas susceptíveis a alagamentos.

## 7.3 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS

### 7.3.1 Introdução

Cada uma das unidades geotécnicas presentes nos vazios urbanos identificados em Pelotas são a seguir caracterizadas. Para tal, tem-se por base a análise de perfis de sondagens típicos e de descrições geológicas, geomorfológicas e pedológicas das unidades. Cabe destacar, que algumas unidades carecem de sondagens na sua área de ocorrência, visto que as investigações geotécnicas tendem a se concentrar em áreas de empreendimentos imobiliários residenciais e industriais de maior porte. Logo, estas últimas terão suas propriedades sumarizadas numa tabela ao final do item. Cabe resaltar que as propriedades geotécnicas inferidas para as unidades possuem um caráter geral, não dispensando a investigação geotécnica local para implantação de obras civis.

### 7.3.2 Unidade PLp12

**a) Definição:** Planossolos com substrato depósitos de planície lagunar 2

**b) Perfil de Sondagem Típico:** no perfil típico da unidade predominam estratos argilosos a argilo-arenosos cinza, marrom e/ou amarelados de consistência média a dura, com valores de  $N_{SPT}$  que podem superar 20 golpes. Lentes arenosas incluindo material granular grosseiro são freqüentes. Em maior profundidade, predomina estratos de areia média a grossa compacta e a presença de pedregulhos é comum. A Figura 7.4 mostra o perfil da sondagem 120.



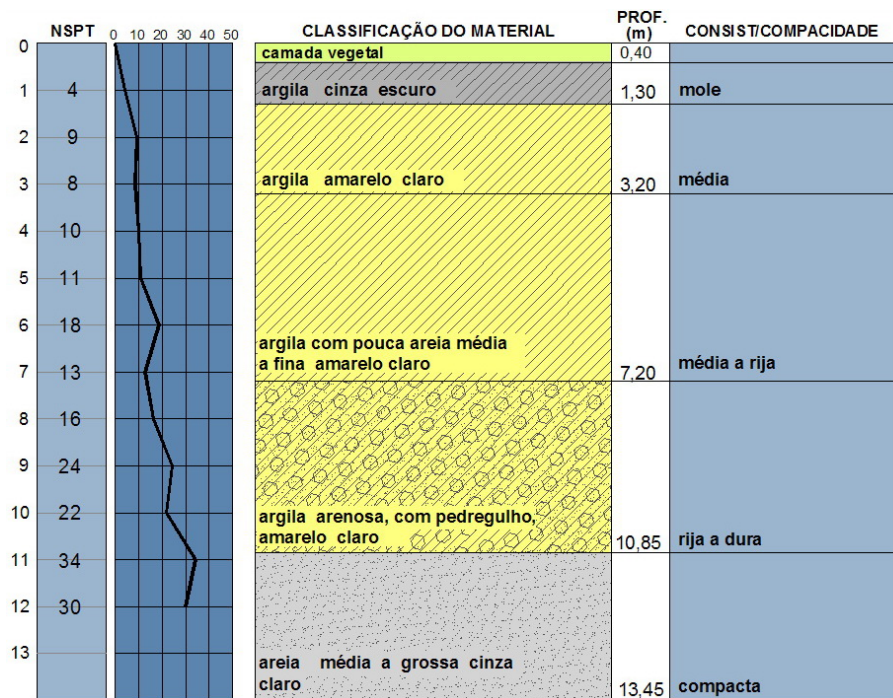


Figura 7.4 – Perfil típico da unidade PLp2, sondagem 120.

**c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:**

O subsolo da unidade, constituído por alternância de estratos de argila rija a dura e de areia média a grossa compacta, confere razoável capacidade de suporte por fundações superficiais (sapatas corridas de concreto ou por alvenaria de pedras) a obras de 1 ou 2 pavimentos. Edificações de maior porte demandam estacas (pré-moldadas cravadas, escavadas tipo Strauss ou ainda estacas-broca) de comprimento variável, mas geralmente até 15 m.

Os terrenos ocupam cotas relativamente elevadas, ficando livres de inundações, entretanto, a presença dos estratos argilosos restringe a capacidade de drenagem subsuperficial dos terrenos. Tal característica deve ser levada em conta em projetos de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário. A capacidade de infiltração de efluentes de esgotos domésticos a partir de sistemas por fossa e sumidouro pode ser comprometida nestes terrenos.

Outro aspecto a considerar, a partir da origem geológica dos solos da unidade, é a dispersividade do solo argiloso, isto é, a facilidade do mesmo em dispersar em água e propiciar processos erosivos superficiais e subsuperficiais. Logo, deve ser evitada a exposição dos terrenos subsuperficiais, sem a devida cobertura por solos do horizonte A e vegetação.

### 7.3.3 Unidade PLp13

**a) Definição:** Planossolos com substrato Depósitos de Planície Lagunar 3

**b) Perfil Típico:** no perfil típico da unidade predominam estratos de argila arenosa marrom de consistência média a dura, com valores de  $N_{SPT}$  entre 15 e 30 golpes, intercalados com camadas de areia argilosa e areia, compactas, com  $N_{SPT}$  entre 20 e 40 golpes, e de granulometria média. Em maior profundidade verifica-se a presença de pedregulhos. A Figura 7.5 mostra o perfil da sondagem 139.

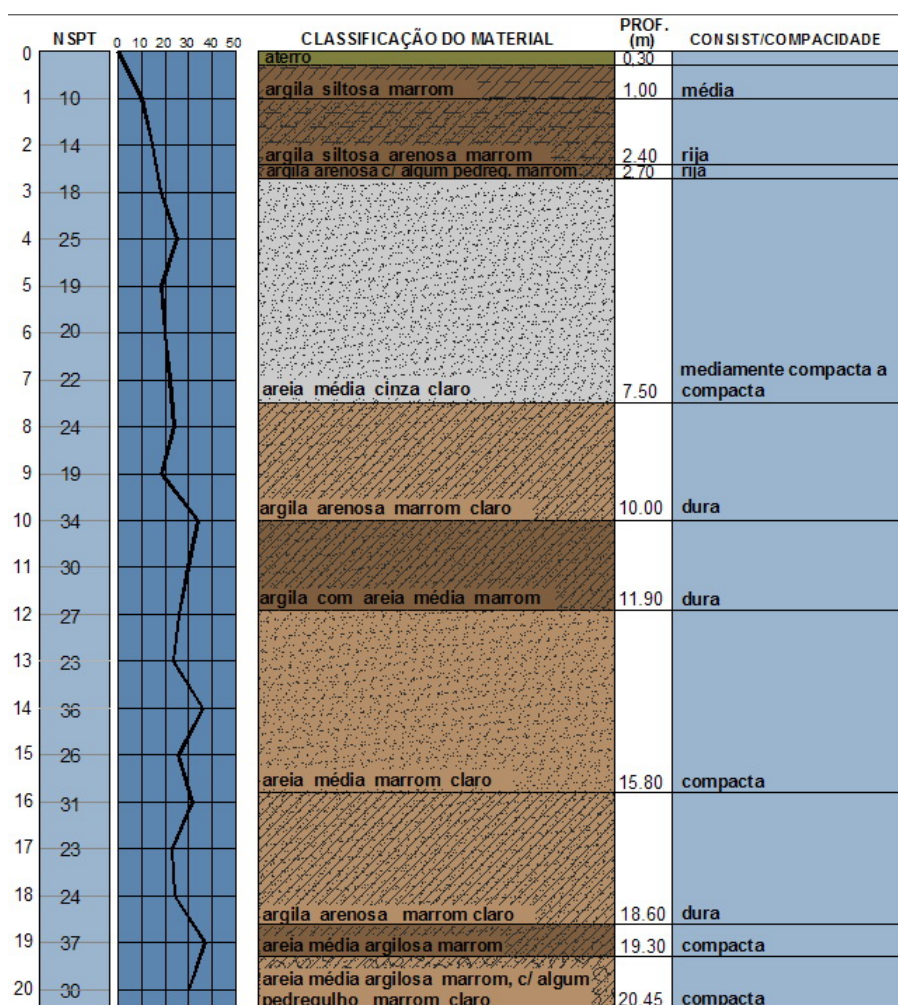


Figura 7.5 – Perfil típico da unidade PLp13, sondagem 139.

**c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:**

As propriedades geotécnicas dos terrenos assemelham-se àquelas da unidade PLp12. Valem as mesmas observações quanto a fundações, drenagem e erosão da unidade anterior. Como diferencial, ocorrem em um terraço lagunar de cota inferior, mas ainda livre de inundações.

### 7.3.4 Unidade PVpl3

**a) Definição:** Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato Depósitos de Planície Lagunar 3

**b) Perfil Típico:** o perfil típico de solo da unidade é formado por argila arenosa marrom claro de consistência mole a rija em subsuperfície (horizonte B), com  $N_{SPT}$  crescente de 5 a 15 golpes até cerca de 3 m, passando a argila com areia média marrom a amarelada, de consistência rija a dura, com valores de  $N_{SPT}$  igual ou maiores a 15 golpes. Em maior profundidade verifica-se a presença de pedregulhos. A Figura 7.6 apresenta o perfil da sondagem 133.



Figura 7.6 – Perfil típico da unidade PVpl3, sondagem 133.

### c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:

Os terrenos desta unidade são formados por perfis evoluídos, bem drenados e não inundados. A capacidade de suporte crescente com a profundidade viabiliza fundações superficiais para edificações de 1 a 2 pavimentos e estacas de pequena a média profundidade para obras maiores. Os solos, menos coesivos, são sujeitos a erosão superficial, sendo este aspecto a ser considerado em projetos de drenagem pluvial, assim como se deve prever a rápida recomposição vegetal dos terrenos decapeados por terraplenagens.

### 7.3.5 Unidade HGpl4

**a) Definição:** Solos Glei Húmico com substrato Depósitos de Planície Lagunar 4



**b) Perfil Típico:** no perfil típico da unidade destaca-se a presença de argila orgânica cinza escura de consistência mole a muito mole da superfície até significativas profundidades, podendo chegar a 15 m, com valores de  $N_{SPT}$  de 0 a 4 golpes. É comum alguns terrenos já apresentarem aterros em superfície. Estes aterros variam de solos de empréstimo, resíduos de construção civil ou mesmo lixo. Em maior profundidade, sucedem-se camadas de argila arenosa rija a dura e de areia argilosa medianamente compacta a muito compacta. A Figura 7.7 mostra o perfil da sondagem 123.

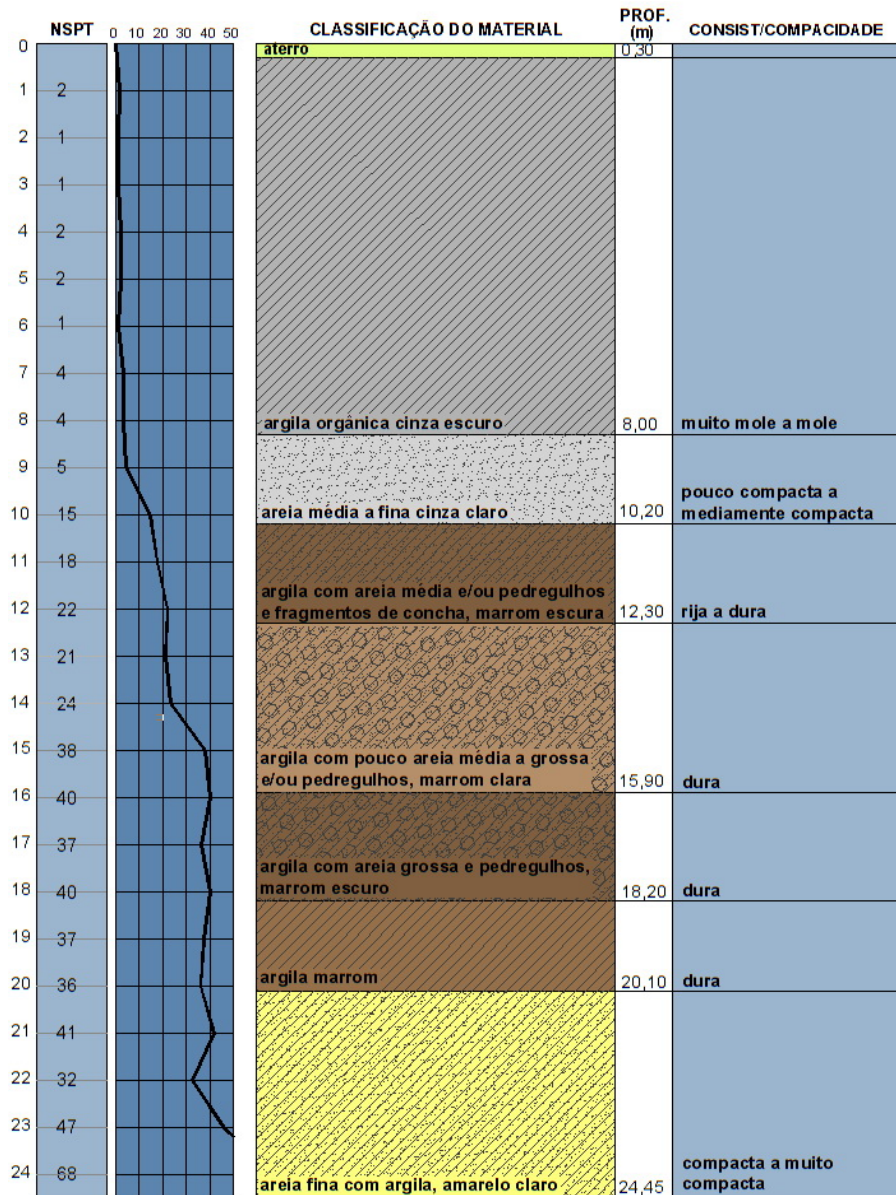


Figura 7.7 – Perfil típico da unidade HGp14. Sondagem 123.

**c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:**

O subsolo dos terrenos desta unidade mostram como característica marcante a presença de argila orgânica mole a muito mole desde a superfície até grandes profundidades. O fato restringe ao uso de estacas como solução de fundações para a maioria dos casos. Estacas pré-moldadas de concreto de até 20 m têm sido hoje a solução preferencial. Fundações superficiais ficam restritas a pequenas edificações de pavimento único.

Os terrenos são sujeitos a inundação e mal drenados, logo a ocupação dos mesmos deve imprescindir de criteriosos projetos de drenagem.

Aterros são necessários para elevação da cota dos lotes e vias. O suporte e as deformações dos terrenos devido a carga destes aterros, assim como das edificações e das cargas de serviço, devem ser considerados nos projetos geotécnicos.

**7.3.6 Unidade (HG+PL)p14**

**a) Definição:** Solos Glei Húmico e Planossolos com substrato Depósitos de Planície Lagunar 4

**b) Perfil Típico:** o perfil típico mostra presença de estratos arenosos fofos e argilosos de consistência muito mole a média, com  $N_{SPT}$  entre 0 e 10 golpes, próximos a superfície (até cerca de 8m), passando a camadas de areia medianamente compactas a muito compactas e/ou de argila arenosa rija a dura, com valores de  $N_{SPT}$  superiores a 15 golpes. A Figura 7.8 mostra o perfil da sondagem 146.



Figura 7.8 – Perfil da típico da unidade (HG+PL)p14. Sondagem 146.



**c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:**

Os terrenos apresentam propriedades similares àquelas descritas para a unidade anterior (HGpl4), entretanto, dado o meso-relevo, apresentam em cotas pouco mais elevadas os planossolos. O fato determina pouco melhores condições de drenagem em pontos isolados. Soluções por estacas são necessárias para obras de maior porte, buscando suporte em estratos profundos mais resistentes.

**7.3.7 Unidade HPpl4**

**a) Definição:** Podzóis Hidromórficos com substrato Depósitos de Planície Lagunar 4

**b) Perfil Típico:** os perfis de solo nesta unidade mostram grande variação. É comum a alternância de camadas de argila orgânica de consistência muito mole a média e de camadas de areia com argila orgânica de variada compactidade. Também é comum a presença de aterros nos terrenos da unidade. A Figura 7.9 mostra o perfil da sondagem 136.

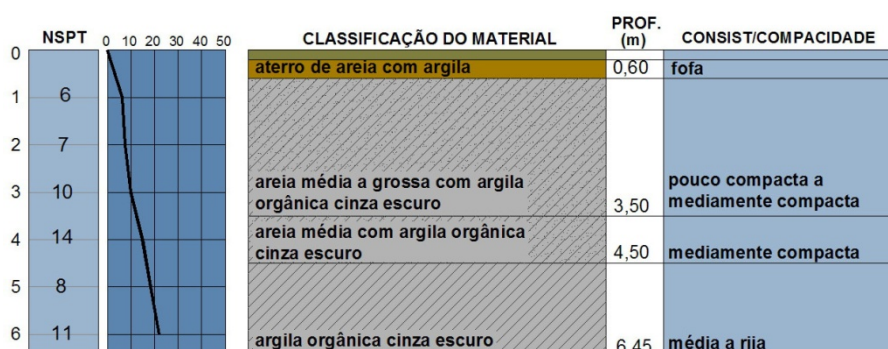


Figura 7.9 – Perfil típico da unidade HPpl4. Sondagem 136.

**c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:**

Os solos da unidade tendem a mostrar alternância de camadas arenosas e argilosas, exigindo investigações locais para definição de fundações próprias. São, em geral, terrenos mal drenados em cotas baixas, exigindo cuidados especiais quanto a drenagem pluvial em projetos de urbanização.

### 7.3.8 Unidade HGal4

**a) Definição:** Solos Glei Húmico com substrato Depósitos Aluviais

**b) Perfil Típico:** o perfil típico da unidade apresenta argila orgânica cinza escura, muito mole a mole, com  $N_{SPT}$  de 0 a 4 golpes, sucedida por camadas de areia de granulometria variada com compactidade crescente com a profundidade (de mediamente compactas a compactas) e  $N_{SPT} > 13$  golpes. A Figura 7.10 mostra o perfil da sondagem 141.

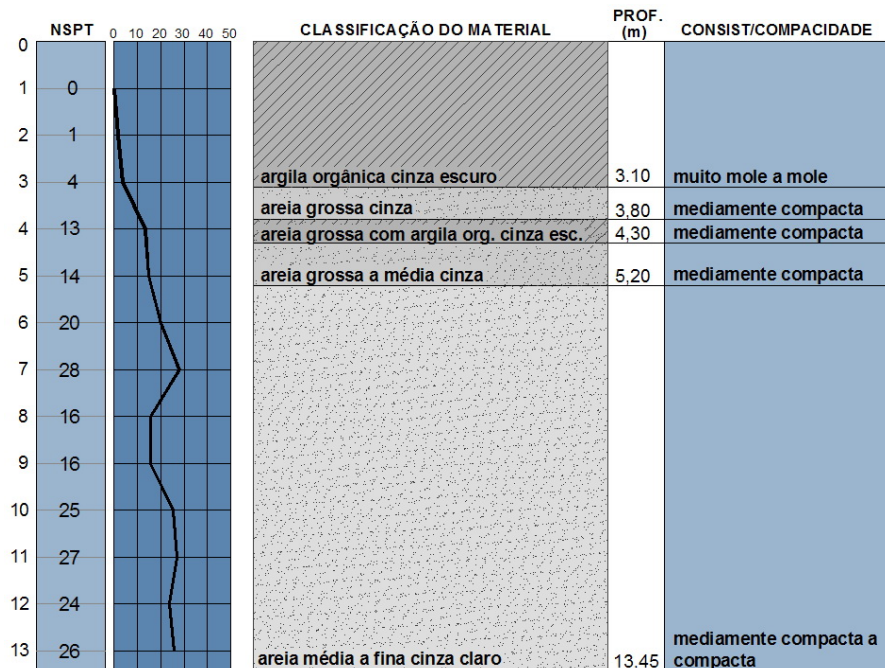


Figura 7.10 – Perfil típico da unidade HGal4. Sondagem 141.

#### c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:

A presença de argilas moles a muito mole em superfície é a característica determinante da unidade, indicando baixa capacidade de suporte, elevada deformabilidade e má drenagem na porção mais superficial do subsolo. Obras de médio e grande porte exigem fundações por estacas na busca das camadas arenosas mais resistentes.

A origem aluvial dos sedimentos de origem, decorrente da deposição recente pelos cursos de água, indica variabilidade na estratigrafia dos sedimentos. Logo, investigações geotécnicas locais são fortemente indicadas, visto a possibilidade de estratos moles também em profundidade.

### 7.3.9 Unidade (HG+PL)pe4

**a) Definição:** Solos Glei Húmico e Planossolos com substrato Depósitos Praiais Eólicos

**b) Perfil Típico:** o perfil típico da unidade mostra camadas de areia fina e areia fina argilosa fofas, amareladas a cinzentas, sucedidas por estratos de argila cinzenta de consistência média ( $N_{SPT} > 9$  golpes). A Figura 7.11 mostra o perfil da sondagem 116.

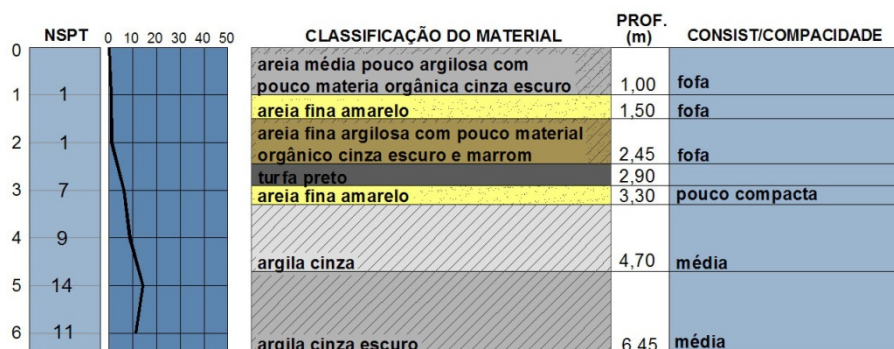


Figura 7.11 – Perfil típico da unidade (HG+PL)pe4. Sondagem 116.

**c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:**

O perfil de solo da unidade, com alternância de estratos arenosos e argilosos, indica a necessidade de investigação geotécnica local na definição da solução por fundações. De maneira geral, uma razoável capacidade de suporte só é atingida a partir de 5 m, logo, fundações por estacas são aquelas adequadas para obras que superem 1 pavimento.

Os terrenos são mal drenados, imprescindindo cuidados quanto à drenagem pluvial e aos projetos de esgotamento sanitário.

Aterros são comumente necessários na elevação das cotas dos lotes e vias quando de sua urbanização.

### 7.3.10 Unidade HPpe4

**a) Definição:** Podzóis Hidromórficos com substrato Depósitos Praiais Eólicos

**b) Perfil Típico:** o perfil típico mostra a presença de solo orgânico preto mole em superfície, sucedido por camadas de argila arenosa de consistência muito mole a mole ( $N_{SPT} < 3$  golpes) e na sequencia por camadas de argila e argila arenosa, rijas ( $N_{SPT} > 11$  golpes) e de camadas

de areia média a fina amareladas medianamente compactas a compactas ( $N_{SPT} > 13$  golpes). A Figura 7.12 mostra o perfil da sondagem 117.

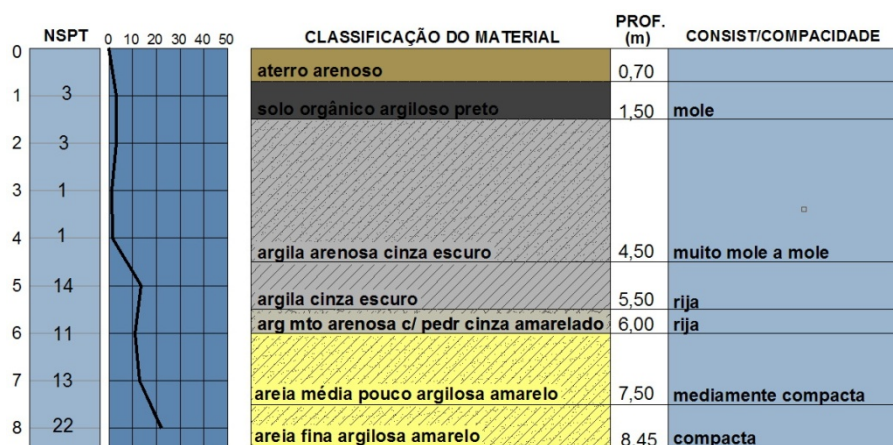


Figura 7.12 – Perfil típico da unidade HPpe4. Sondagem 117.

### c) Propriedades Geotécnicas Inferidas:

O perfil de solo da unidade apresenta características semelhantes às descritas para a unidade anterior. A alternância de estratos argilosos e arenosos de consistência/compacidade variada, a má drenagem do perfil e a baixa capacidade de suporte nas camadas mais superficiais são características comuns.

Uma característica diferencial, típica da pedogênese dos solos desta classe, é a presença de um horizonte subsuperficial orgânico de consistência mole.

### 7.3.11 Demais unidades geotécnicas presentes nos vazios urbanos

A Tabela 7.3 apresenta características geotécnicas inferidas a partir das descrições geológicas, geomorfológicas e pedológicas para as demais unidades geotécnicas presentes nos vazios urbanos. Para estas não se contou com apoio de sondagens para definição de perfil típico.

Tabela 7.3 – Características geotécnicas de outras unidades geotécnicas presentes nos vazios.

UNIDADE GEOTÉCNICA	QUANTO À DRENAGEM	QUANTO A FUNDAÇÕES	OUTROS ASPECTOS
<b>(HG+PL)al4</b> Solos Glei Húmico e Planossolos substrato Depósitos Aluviais	terrenos mal a imperfeitamente drenados com NA elevado (próximo a superfície)	perfis de solos mostrando alternância de estratos arenosos e argilosos de compactidade/consistência variáveis. Possível ocorrência de camadas de argila mole	
Aal4 Solos Aluviais substrato Depósitos Aluviais	terrenos inundáveis com contínua acumulação pelos cursos d'água adjacentes e NA próximo a superfície	perfis de solos mostrando alternância de estratos arenosos e argilosos de compactidade/consistência variáveis. Possível ocorrência de camadas de argila mole	
<b>HPal4</b> Podzóis Hidromórficos substrato Depósitos Aluviais	terrenos mal drenados com NA próximo a superfície.	perfis de solos mostrando alternância de estratos arenosos e argilosos de compactidade/consistência variáveis. Possível ocorrência de camadas de argila mole e presença de argila orgânica no horizonte subsuperficial	
<b>PLal4</b> Planossolos substrato Depósitos Aluviais	terrenos imperfeitamente drenados com horizonte subsuperficial de concentração de argila que restringe a drenagem superficial	perfis de solos mostrando alternância de estratos arenosos e argilosos de compactidade/consistência variáveis. Possível ocorrência de camadas de argila mole em profundidade	
<b>SKal4</b> Solonchak substrato Depósitos Aluviais	terrenos mal drenados com NA próximo a superfície.	perfis de solos mostrando alternância de estratos arenosos e argilosos de compactidade/consistência variáveis. Possível ocorrência de argila mole e orgânica no horizonte superficial	a pedogênese do perfil indica salinidade elevada dos horizontes superficiais. Tal característica pode resultar em maior potencial de oxidação de elementos construtivos metálicos em contato com o solo
<b>PLcv</b> Planossolos substrato Depósitos Colúviais	terrenos imperfeitamente drenados com NA próximo a superfície em períodos chuvosos	o subsolo mostra alternância de estratos argilosos de consistência rija a dura e arenosos grosseiros. Apresenta razoável capacidade de suporte próximo a superfície, viabilizando fundações superficiais para edificações de até 2 pavimentos.	
<b>(HG+PL)p12</b> Solos Glei Húmico e Planossolos substrato Depósitos de Planície Lagunar 2	terrenos mal a imperfeitamente drenados com NA próximo a superfície	o subsolo mostra alternância de estratos argilosos de consistência rija a dura e arenosos grosseiros. Apresenta razoável capacidade de suporte próximo a superfície, viabilizando fundações superficiais para edificações de até 2 pavimentos.	dispersividade do solo argiloso, facilitando processos erosivos superficiais e subsuperficiais
<b>Apl2</b> Solos Aluviais substrato Depósitos de Planície Lagunar 2	terrenos mal drenados e inundáveis, limístrofes entre os terraços lagunares e várzeas de inundações de curso d'água	o subsolo mostra alternância de estratos argilosos de consistência rija a dura e arenosos grosseiros. Apresenta razoável capacidade de suporte próximo a superfície, viabilizando fundações superficiais para edificações de até 2 pavimentos.	dispersividade do solo argiloso, facilitando processos erosivos superficiais e subsuperficiais

## 7.4. CARACTERIZAÇÃO DOS VAZIOS URBANOS

### 7.4.1 Introdução

A caracterização dos 26 vazios urbanos mapeados parte de suas localizações geográficas em relação às sete regiões administrativas que dividem a zona urbana de Pelotas. Para todos os vazios é apresentada uma figura que mostra de forma destacada as unidades geotécnicas a que pertencem os solos dos vazios (com seus percentuais), e que indica a localização e numeração dos pontos de sondagem que porventura existam na área do vazio. Ao lado aparece uma imagem de satélite onde se destaca o vazio analisado, e na qual estão indicados os pontos de tomada das fotografias realizadas nos levantamentos de campo, com uma notação do tipo  $V_nP_n$ , onde  $V_n$  é o número do vazio e  $P_n$  é o número do ponto.

Embora as caracterizações dos vazios variem em função de suas peculiaridades, a grande maioria deles é analisada em relação aos seguintes atributos: acessibilidade e centralidade<sup>10</sup>; infra-estrutura local; relevo; usos locais ou próximos; drenagem; solos; conexão ao sistema viário; e regime urbanístico.

### 7.4.2. Vazio 1

Situado a leste da zona urbana, o Vazio Urbano 1 (Figura 7.13) está compreendido na Região Administrativa Barragem, possuindo área territorial de 827,49 ha. Os solos desse vazio pertencem às unidades geotécnicas PLpl2 (50,01%), PLcv (31,83%), HGal4 (16,50%) e PLal4 (1,66%), descritas nos itens 7.3.2, 7.3.11, 7.3.8 e 7.3.11, respectivamente.

---

<sup>10</sup> Acessibilidade refere-se à possibilidade dos usuários do espaço urbano alcançarem determinados pontos ou locais dentro da malha urbana, e centralidade à concentração, em um ou mais localidades da cidade de equipamentos, atividades e serviços, que dão um maior dinamismo às relações econômicas e sociais.



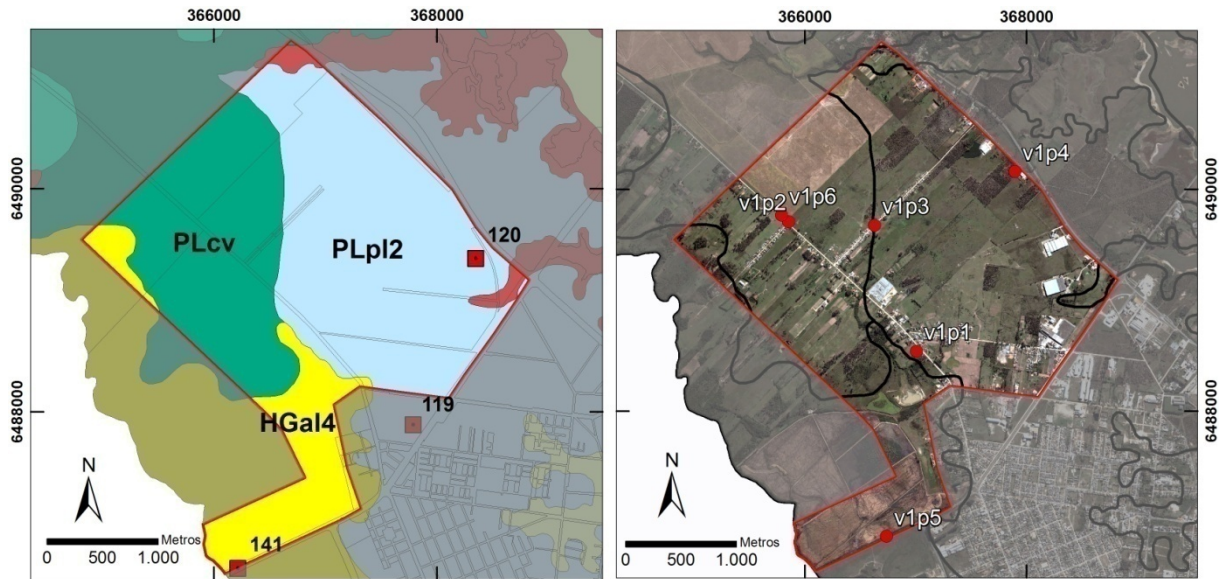


Figura 7.13 – Vazio urbano 1: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

O Vazio Urbano 1 possui uso misto: agrícola, industrial e residencial, espalhados. Está separado da ocupação urbana pela rodovia BR116, o que resulta em uma baixa acessibilidade. Vêm sendo sistematicamente ocupado em seu interior por loteamentos residências populares (Figura 7.14), como é o caso da Vila Governação, de urbanização precária. As ruas locais e as vias de acesso não possuem pavimentação. As indústrias se situam a margem ou próximas da BR116, que liga ao norte Pelotas à Porto Alegre e ao sul dá acesso ao Uruguai através da cidade de Jaguarão. Não há rede de esgoto no local, a mais próxima é a rede coletora de fossa séptica do extremo oeste da Região Administrativa do Fragata.

A parte do vazio que corresponde a unidade HGal4 (Figura 7.15) é formada por terrenos baixos, alagados boa parte do ano. Com uso atual agrícola, esses terrenos estão desprotegidos contra cheias e foram totalmente inundados por ocasião da enchente de 2004, constituindo áreas de risco para qualquer tipo de ocupação. A sondagem 141 indica a presença de solo mole orgânico superficial nessa área.

Dentro do vazio, o limite entre as unidades PLcv e PLpl2 é praticamente imperceptível pela observação visual, possuindo transição e variação de relevo tênue e gradual (Figura 7.16). A Figura 7.17 mostra um perfil da unidade PLcv.





Figura 7.14 – Loteamentos populares no interior do Vazio 1.



Figura 7.15 – Terrenos da unidade HGal4.



Figura 7.16 – Terrenos da unidade PLcv (em primeiro plano) e da unidade PLpl2 (ao fundo)



Figura 7.17 – Perfil da unidade PLcv no Vazio 1.

O 3º Plano Diretor de Pelotas (PD) estabelece Área Industrial e de Transição Industrial em boa parte do vazio (Figura 7.18), restringindo as áreas de ocupação residencial a parte sudoeste do vazio. A altura máxima das edificações fica limitada a 13 m nas áreas não industriais (incluindo a de Transição Industrial) e livre na Área Industrial. Logo, existe a possibilidade de implantação de edificações de grande porte sobre as unidades PLpl2 e PLcv do vazio.

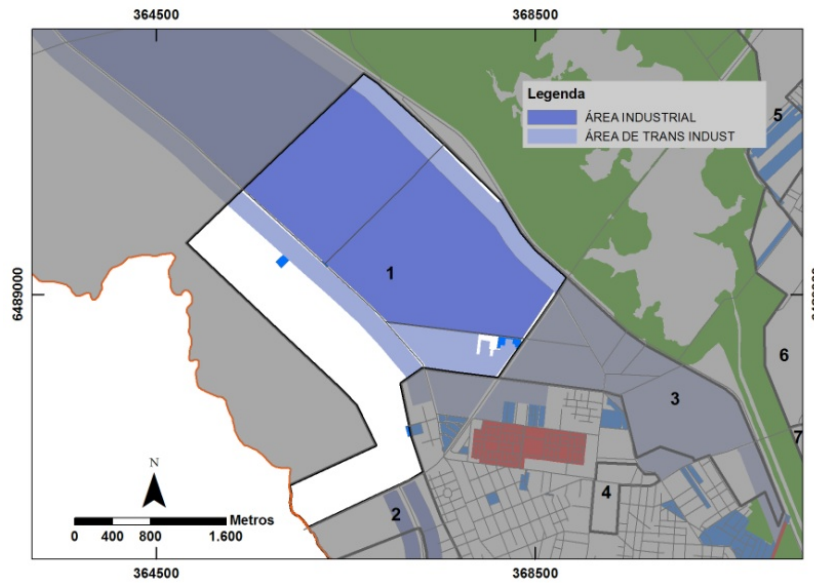


Figura 7.18 – Uso especial estabelecido pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde está inserido o Vazio Urbano 1.

### 7.4.3 Vazio 2

Situado na Região Administrativa do Fragata, próximo ao limite sudoeste da zona urbana, o Vazio Urbano 2 (Figura 7.19) possui área de 197,54 ha e apresentam solos das unidades geotécnicas HGal4 (52,76%), HPpe4 (26,66%), PLpl2 (18,74%) e HGpl4 (1,84%), descritas nos itens 7.3.8, 7.3.10, 7.3.2 e 7.3.5, respectivamente.

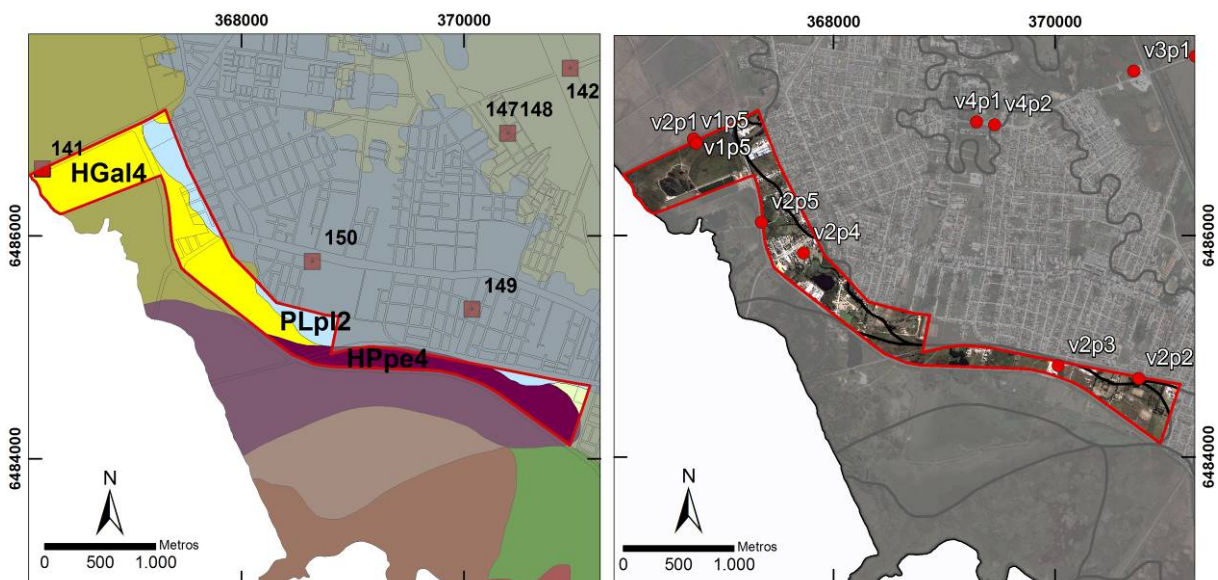


Figura 7.19– Vazio Urbano 2: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Com formato alongado no sentido sudeste/noroeste o vazio se encontra na borda da planície lagunar 2 (borda esta ocupada pela linha férrea Pelotas/Bagé), e a maior parte de sua área territorial é formada por terrenos baixos, com áreas inundadas das unidades HGal4 e HPpe4. A Figura 7.20 mostra os terrenos da unidade HPpe4 vistos a partir da unidade PLpl2, e a Figura 7.21 mostra um perfil do solo da unidade PLpl2 no desnível para a unidade HPpe4.



Figura 7.20– Terrenos da unidade HPpe4 (ao fundo) vistos a partir da unidade PLpl2. Ponto v2p2



Figura 7.21 - Perfil do solo da unidade PLpl2 no desnível para a unidade HPpe4. Ponto v2p3.

Situado em área de pequena cota altimétrica, desprotegida contra enchentes, o vazio é sistematicamente alagado por ocasião de precipitações pluviométricas de grande intensidade, e foi totalmente atingido pela enchente de 2004. Por conseguinte, sua ocupação é de risco, e deve ser precedida de medidas para solução dos problemas de drenagem das águas pluviais.

Embora localizado junto à ocupação urbana, com razoável centralidade, e ao lado de via pavimentada (av. Dom Pedro I), a parte sudeste do vazio tem acessibilidade dificultada pela estrada de ferro e pelo desnível entre as unidades PLpl2, HPpe4 e HGal4. A rede coletora de fossa séptica mais próxima fica em cota altimétrica superior, o que dificulta seu aproveitamento.

Por se desenvolver ao longo de uma via de ligação regional (BR 392), o 3º Plano Diretor de Pelotas define a quase totalidade do vazio urbano (antes considerado zona de preservação permanente natural) como área industrial (Figura 7.22), proibindo o uso residencial no local. Por conseguinte, a tendência é aumentar a ocupação do vazio por indústrias de médio e grande porte, com acesso pela BR 392.



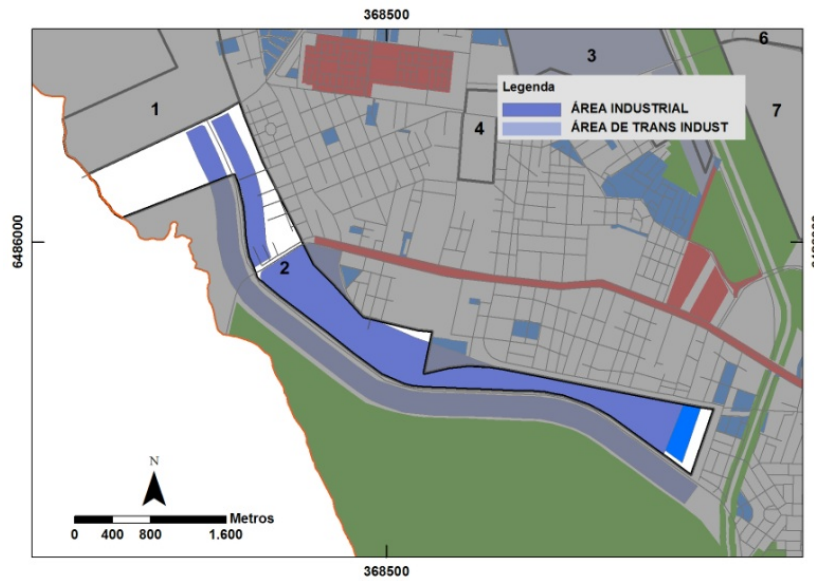


Figura 7.22 - Uso especial estabelecido pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde está inserido o Vazio Urbano 2.

Existe, portanto, a possibilidade de construção de edificações de grande porte (altura livre) sobre as unidades HGal4 e HPpe4, envolvendo aterros, fundações profundas e projetos especiais para esgotamento sanitário e drenagem pluvial.

A Figura 7.23 mostra a interface entre as unidades HGal4 e PLp12, e a Figura 7.24 mostra os terrenos baixos com vegetação nativa de banhado e uma indústria de grande porte já instalada no parte noroeste do vazio. A sondagem 141 indica no local a presença de solo mole orgânico superficial.



Figura 7.23 – Interface ente as unidades HGal4 e PLp12 no Vazio 2. Ponto v2p5.



Figura 7.24 – Terrenos baixos com vegetação nativa de banhado. Ao fundo indústria de grande porte implantada no vazio. Ponto v2p1.

### 7.4.4 Vazio 3

O Vazio Urbano 3 (Figura 7.25) situa-se na Região Administrativa Barragem, sendo limitado ao norte pela Av. Pres. João Goulart e a oeste pela BR 116. Com área de 239,07 ha, fazem parte de seus terrenos solos das unidades PLp12 (59,09%), HGp14 (38,09%) e PLa14 (2,82%), descritas nos itens 7.3.2, 7.3.5 e 7.3.11, respectivamente.

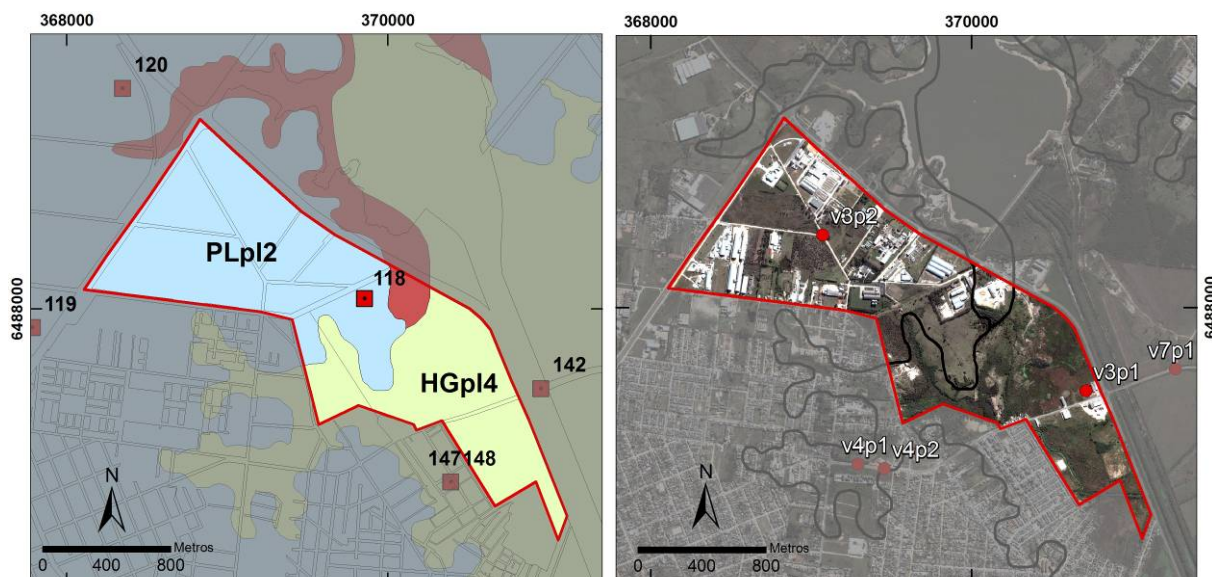


Figura 7.25 - Vazio Urbano 3: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

A porção sudeste do vazio encontra-se em áreas de baixas cotas altimétricas, formadas pela planície de inundação do Canal Santa Bárbara, e apresenta ocorrência de banhados (Figura 7.26). Embora protegida pelo Sistema de Drenagem e Proteção Contra Enchentes de Pelotas, através de canais de drenagens e bombas, a área apresenta risco de inundação pelo rompimento e transbordo do Canal Santa Bárbara, evento já ocorrido anteriormente, e que ocasionou alagamento de parte de seus terrenos. Desta forma, sua ocupação deve ser precedida de medidas de proteção contra alagamentos.

Já a porção noroeste (Figura 7.27), situada na planície lagunar 2, e por consequência em cota elevada, é ocupada predominantemente por indústrias e serviços esparsos, possuindo acesso ao seu interior através de vias não pavimentadas.



Figura 7.26 – Áreas baixas do Vazio 3. Unidade HGpl4. Ponto v3p1.



Figura 7.27 – Vias de acesso não pavimentadas ao interior da porção noroeste do Vazio 3. Unidade PLpl2. Ponto v3p2.

A quase totalidade do Vazio 3 está definida pelo 3º Plano Diretor como área de transição industrial, destinada à compatibilização de usos industriais de porte mínimo, pequeno e médio, com os demais usos, inclusive o residencial. Embora a altura máxima das edificações estejam limitadas a 13 m, a possível instalação de indústrias de diversos portes sobre as unidades PLpl2 e HGpl4 pode causar forte impacto sobre o meio físico. Pelas características descritas (item 7.3.5), a última unidade exige maiores investimentos em infra-estrutura (aterros, fundações, drenagem, etc) na implantação de tais empreendimentos.

#### 7.4.5 Vazio 4

Pequeno vazio urbano situado na parte norte da Região Administrativa Fragata (Figura 7.28). Com área territorial de 26,97 ha, é formado por terrenos das unidades HGpl4 (59,96%) e PLpl2 (40,01%), descritas nos itens 7.3.5 e 7.3.2, respectivamente.



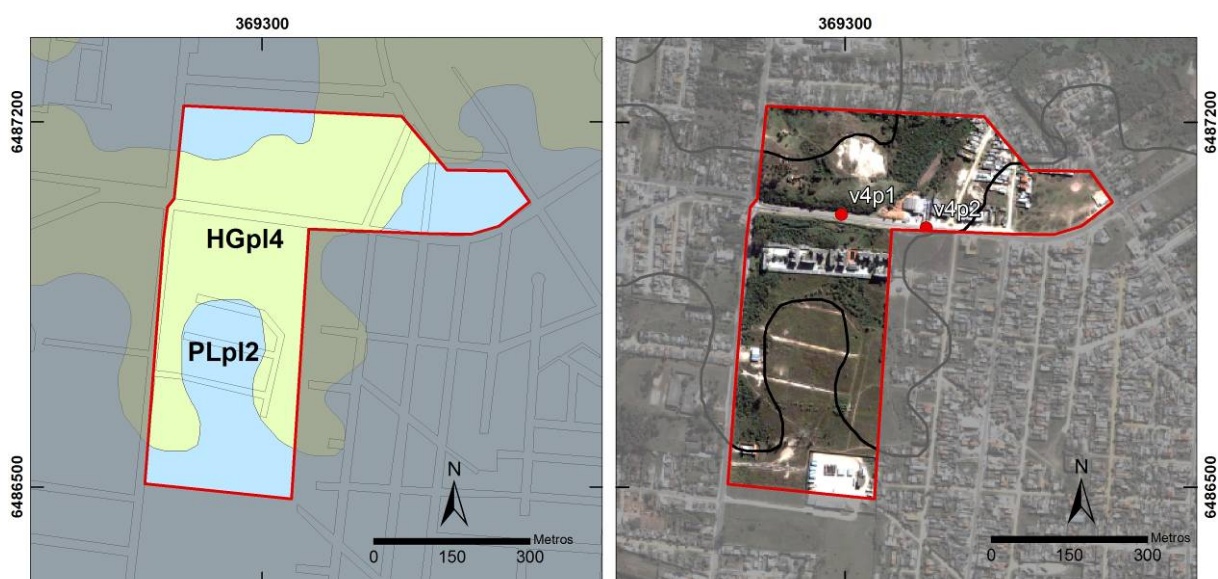


Figura 7.28 - Vazio Urbano 3: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Localizado no interior de uma zona residencial (caracterizada por residências de baixo e médio padrão), o vazio tem boa acessibilidade através das avenidas Pinheiro Machado (na face leste do vazio) e Theodoro Müller (que atravessa o vazio no sentido leste/oeste). A possibilidade de conexão ao sistema viário existente é igualmente boa.

Com bons níveis de infra-estrutura instalada (redes de água, rede coletora de fossa séptica e pavimentação) nas ruas que o cercam, o Vazio 4 é altamente adequado a expansão das ocupações vizinhas, existindo já em interior um condomínio residencial de apartamentos (Figura 7.29) e ruas abertas de um loteamento irregular paralisado.

Atenção especial deve ser dada a drenagem pluvial da unidade HGpl4, que por possuir uma cota altimétrica mais baixa recebe as águas das chuvas provenientes da unidade PLpl2 que a contorna. Já foi aberto no local um canal de drenagem (Figura 7.30) que encaminha essas águas para o Canal Santa Bárbara através da parte baixa do Vazio Urbano 3.

A erodibilidade do solo da unidade PLpl2, face a sua dispersibilidade, é visível em taludes expostos sem cobertura vegetal (Figuras 7.29 e 7.31).





Figura 7.29– Transição entre as unidades HGpl4 e PLpl2, com condomínio residencial existente, ao fundo. Processos erosivos no solo da unidade PLpl2. Ponto v4p2.



Figura 7.30 – Canal de drenagem existente no local. Ponto v4p1.

A Figura 7.31 mostra o perfil de solo da unidade PLpl2. Foi observado o uso de micro-estacas (estacas broca) em obra próxima ao local de tomada da fotografia (ponto v4p2). A Figura 7.32 apresenta a uma vista da unidade HGpl4 com a unidade PLpl2 ao fundo.



Figura 7.31 – Perfil do solo da unidade PLpl2. Processos erosivos no solo da unidade PLpl2. Ponto v4p2.



Figura 7.32 – Vista a partir da unidade HGpl4 com unidade PLpl2 ao fundo. Ponto v4p1.

O Plano Diretor não estabeleceu uso especial na área correspondente ao Vazio 4, ficando as altura entre 10 m e 13 m, conforme a largura da via e a testada do lote.

#### 7.4.6 Vazio 5

Situado na Região Administrativa Três Vendas, junto ao limite noroeste da zona urbana, o Vazio Urbano 5 (Figura 7.33) possui área territorial de 179,80 ha e é formado por solos das

unidades PLpl2 (82,09%) e PLal4 (17,91%), descritas nos itens 7.3.2 e 7.3.11, respectivamente.

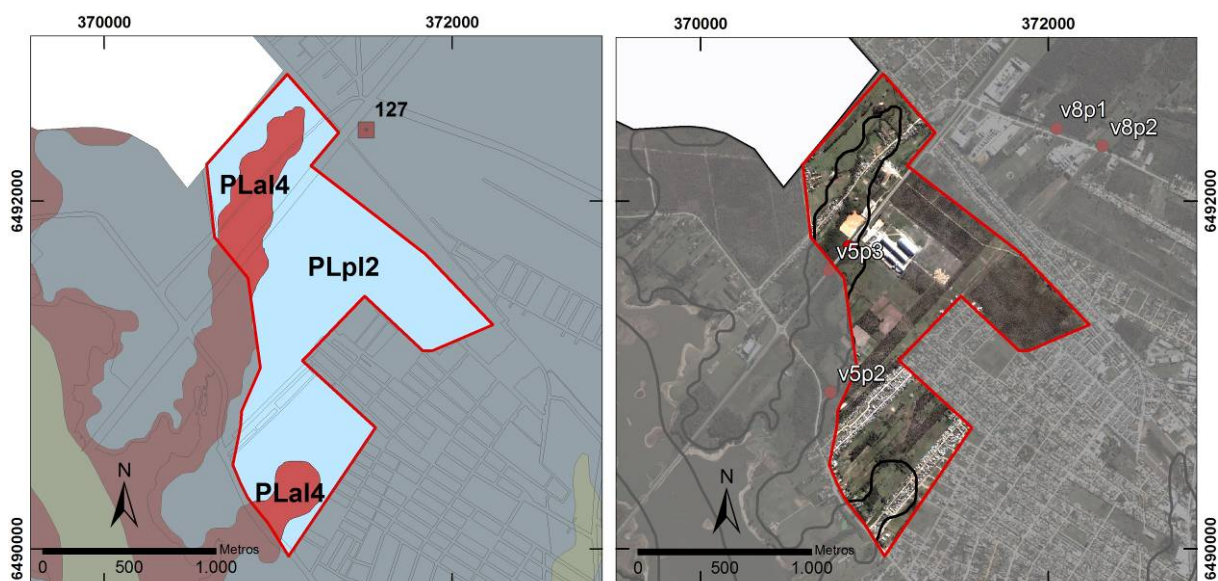


Figura 7.33 - Vazio Urbano 5: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

No Vazio 5 podem ser identificadas duas ocupações pré-existentes de caráter diverso: uma residencial, ao sul do vazio, formada por dois loteamentos de caráter popular e uma industrial, ao norte do vazio, segmentada pela BR 116.

Embora a existência de indústrias já instaladas no local, o Plano Diretor, devido a proximidade da barragem e da estação de tratamento de água do Santa Bárbara, não estabeleceu, nesse vazio, área industrial ou transição industrial. Portanto, sua ocupação fica restrita a residências, comércio e serviços. São aceitas indústrias, desde que de pequeno porte e dentro dos graus de impacto e incomodidade aceitáveis.

Outro fator restritivo à ocupação é a passagem de um dos afluentes do arroio Santa Bárbara, que desemboca diretamente na barragem, dotado de mata nativa sobre seus terrenos aluviais baixos (Figura 7.34).

A acessibilidade ao vazio é boa, assim como a possibilidade de conexão ao sistema viário circundante. Também há um bom nível de infra-estrutura no local, com rede coletora de fossa séptica chegando ao limite sudeste do vazio.

A Figura 7.35 mostra apresenta talude que indica a inclusão de argissolos na unidade PLpl2.





Figura 7.34 – Mata nativa acompanhando o afluente do Arroio Santa Bárbara (unidade PLal4). Ponto v5p3.



Figura 7.35 – Talude mostrando a inclusão de argissolos na unidade PLp12. Ponto v5p2.

### 7.4.7 - Vazio 6

O Vazio Urbano 6 (Figura 7.36) situa-se no sul da Região Administrativa Três Vendas, sendo limitado ao norte pela Avenida 25 de Julho, e ao sul pela Avenida Francisco Carúcio. Fazem parte desse vazio solos das unidades HGpl4 (56,66%), PLp12 (42,62%) e PLal4 (0,73%), descritas nos itens 7.3.5, 7.3.2 e 7.3.11, respectivamente..

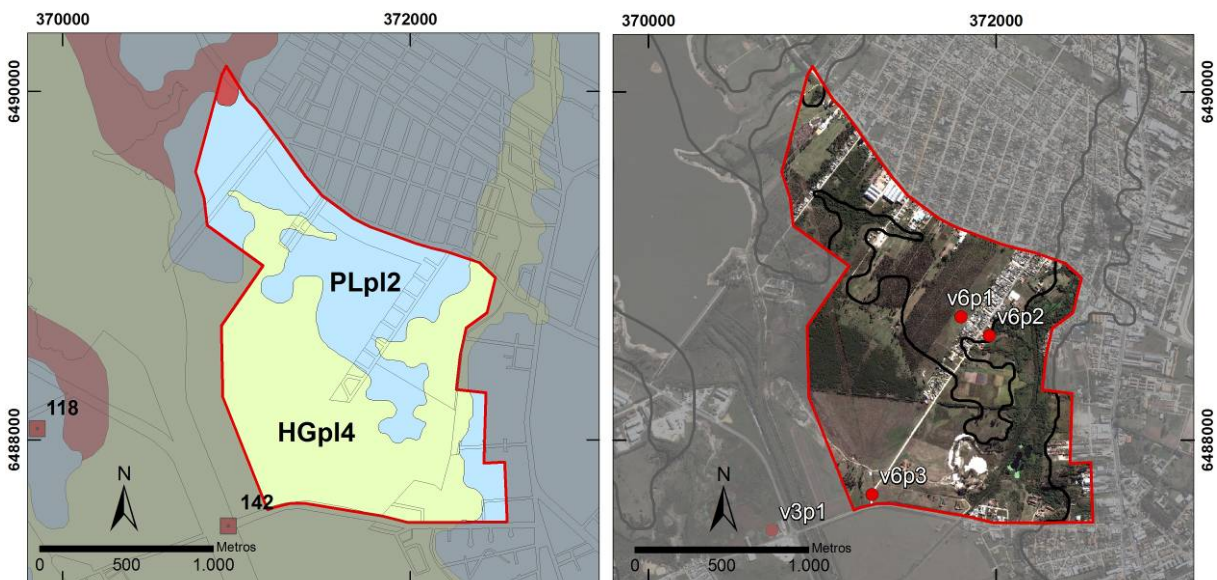


Figura 7.36 - Vazio Urbano 6: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

A maior parte desse vazio é formada por terrenos baixos da unidade HGpl4, sujeitos a inundação e alagamentos por ocasião de precipitações pluviométricas intensas, e, por conseqüência, não devem ser ocupados sem as devidas medidas de proteção. A Figura 7.37

mostra os terrenos baixos típicos da unidade HGpl2 e a Figura 7.38 a transição gradual entre essa unidade e a unidade PLpl2



Figura 7.37 – Terrenos baixos, típicos da unidade HGpl4. Ponto v6p3.



Figura 7.38 – Transição gradual entre as unidades HGpl4 e PLpl2 no Vazio 6. Ponto v6p3.

Na porção leste do vazio passa a Sanga das Três Vendas (Figura 7.39), que faz a drenagem do vazio e das regiões próximas, possuindo mata preservada. Além de algumas pequenas edificações e galpões de serviços pela Avenida 25 de julho, o vazio é ocupado por um loteamento residencial de baixo padrão (Vila Silveira) e, ao lado deste, está em construção um conjunto habitacional de casas térreas (Terra Nova) com 8,9 ha (Figura 7.40). O novo conjunto residencial utiliza fundações superficiais nas residências, pavimentação por unistein nas vias internas e possuirá sistema de tratamento de esgoto próprio.



Figura 7.39– Sanga das Três Vendas. Terrenos ocupados por atividade agrícola familiar. Ponto v6p2.



Figura 7.40– Fundos do conjunto habitacional Terra Nova. Ponto v6p1.

O Vazio Urbano 6 possui boa acessibilidade pela sua periferia através de duas avenidas asfaltadas (avenidas 25 de julho e Francisco Carúcio) e possibilidade de extensão, para seu interior, do sistema viário existente no local. Seu nível de centralidade é médio e, com os



devidos cuidados na ocupação da unidade HGpl4 (ver item 7.3.5), apresenta-se adequado a expansão das ocupações vizinhas. Há rede coletora de fossa séptica chegando até o limite norte do vazio.

Assim como o Vazio 5 não existe uso especial estabelecido pelo Plano Diretor para o Vazio 6, por consequência a altura máxima das edificações segue a regra geral (de 10m a 13m).

#### 7.4.8 - Vazio 7

Situado na Região Administrativa do Centro, o Vazio Urbano 7 (Figura 7.41) ocupa área de 102,7 ha, contígua ao Canal Santa Bárbara, sendo composto unicamente por solos da unidade HGpl4, descrita no item 7.3.5.

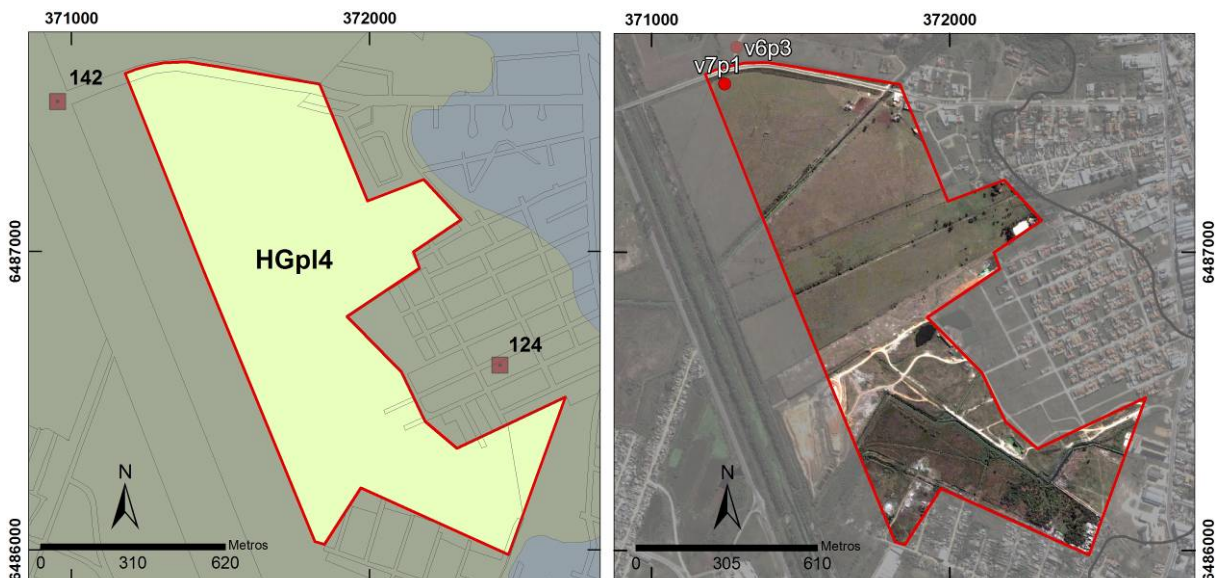


Figura 7.41 - Vazio Urbano 7: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

São terrenos baixos e planos, típicos da unidade HGpl4 (Figura 7.42), totalmente desocupados, que alagam em boa parte por ocasião de intensas precipitações pluviométricas. Embora estando em área protegida pelo Sistema de Drenagem e Proteção Contra Enchentes de Pelotas, ficaram totalmente submersos quando da enchente de 2004, ocasião em que houve rompimento do Canal Santa Bárbara e falha no sistema de bombas.

Logo, apesar de bem localizados, com boa acessibilidade e possibilidade de conexão a malha urbana existente, sem que haja medidas prévias de proteção contra os alagamentos, sua ocupação é de risco.



Figura 7.42 – Terrenos baixos, alagadiços, sem ocupação, típicos da unidade HGpl4. Ponto v7p1.

Também para a área correspondente ao Vazio 7 não foi estabelecido pelo Plano Diretor uso especial, seguindo-se a regra geral.

#### 7.4.9 Vazio 8

O Vazio Urbano 8 situa-se na Região Administrativa Três Vendas, próximo ao limite noroeste da zona urbana (Figura 7.43). Com 278,76 ha de área territorial esse vazio é totalmente composto por solos da unidade PLpl2, descrita no item 7.3.2.

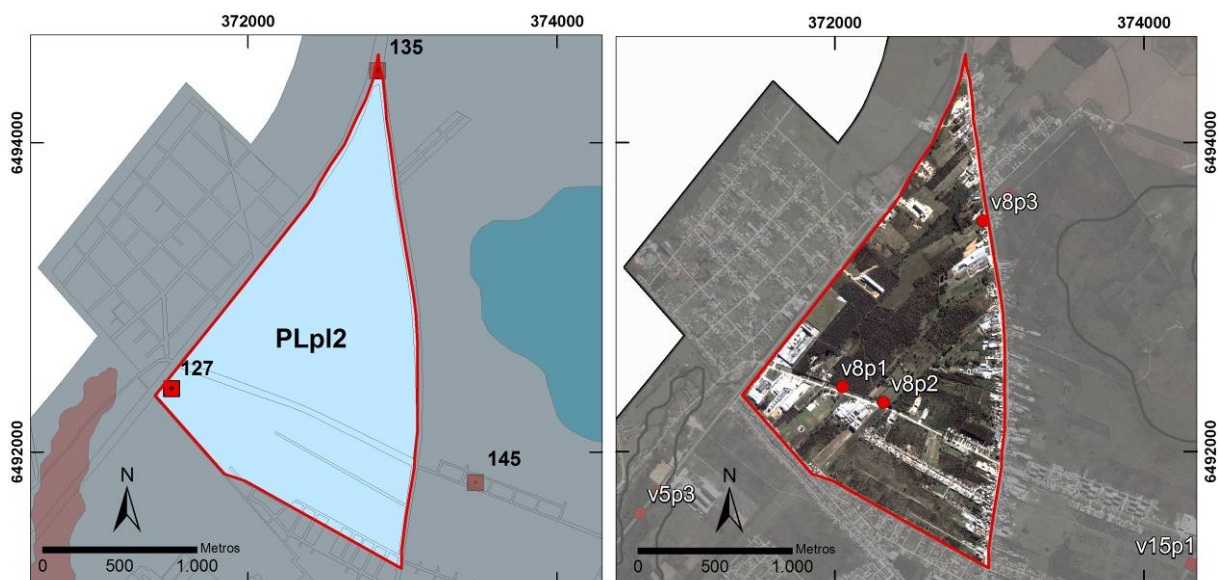


Figura 7.43 - Vazio Urbano 8: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Limitado a oeste pela BR 116 e a leste pela Avenida Fernando Osório, o Vazio 8 se caracteriza pela diversidade de usos que ocorrem em sua periferia. São indústrias com acesso



pela rodovia e avenida supracitadas, e pela Avenida Leopoldo Brod, comércios, serviços e residências concentradas na Avenida Fernando Osório, e um loteamento residencial com acesso por essa via. No interior do vazio, em seus terrenos planos, são encontradas diversas e extensas áreas com florestamento de eucaliptos (Figura 7.44) ou ocupadas por vegetação rasteira e resquícios de vegetação nativa (Figura 7.45).



Figura 7.44 – Florestamento de eucaliptos no interior do Vazio 8. Ponto v8p2.



Figura 7.45 - Terrenos típicos da unidade PLp12 no interior do Vazio 8. Foto tirada a partir da Avenida Fernando Osório. v8p3.

O 3º Plano Diretor de Pelotas define duas áreas industriais dentro do Vazio 8: a primeira formada por uma faixa linear com 500 m de profundidade que acompanha a BR 116; e a segunda formada por duas faixas lineares com 85 m de profundidade que acompanham os dois lados da Avenida Leopoldo Brod (Figura 7.46). Nestas áreas, a exemplo das demais, é incentivada a instalação de indústrias de porte mínimo a grande, e de diversos graus de impacto e incomodidade, e é proibida a ocupação residencial.

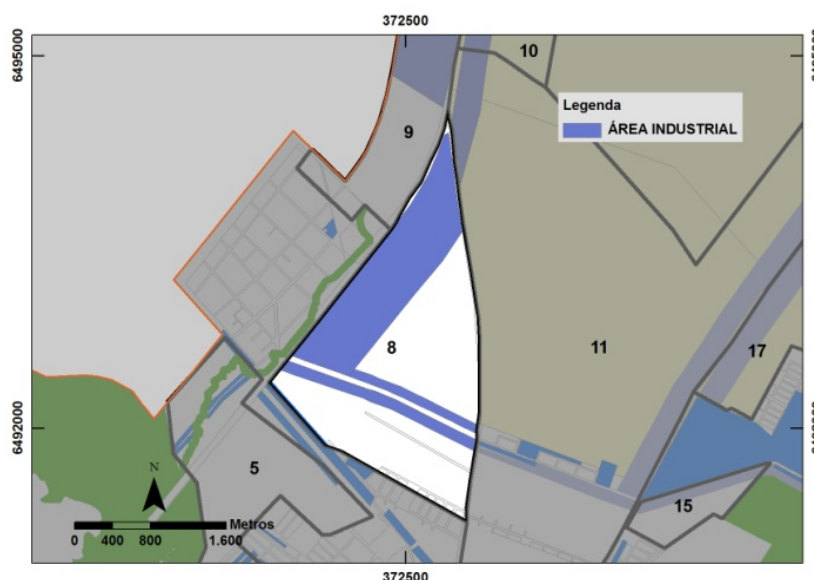


Figura 7.46 – Uso especial estabelecido pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde está inserido o Vazio Urbano 8.

A acessibilidade ao vazio é boa, assim como a infra-estrutura local, embora só exista rede coletora de fossa séptica em uma única via próxima ao vazio. Nos terrenos frontais para a Avenida Fernando Osório, até a profundidade de 100 m, é permitida a edificação de prédios de até 25 m de altura.

Os terrenos apresentam características geotécnicas que favorecem edificações de maior porte (ver item 7.3.2).

#### 7.4.10 Vazio 9

Situado na Região Administrativa Três Vendas, o Vazio Urbano 9 (Figura 7.47) ocupa uma faixa adjacente ao limite oeste da zona urbana, sendo delimitada a leste pela BR 116. Com 207,23 ha de área territorial, é totalmente formado por solos da unidade PLp12, descrita no item 7.3.2.

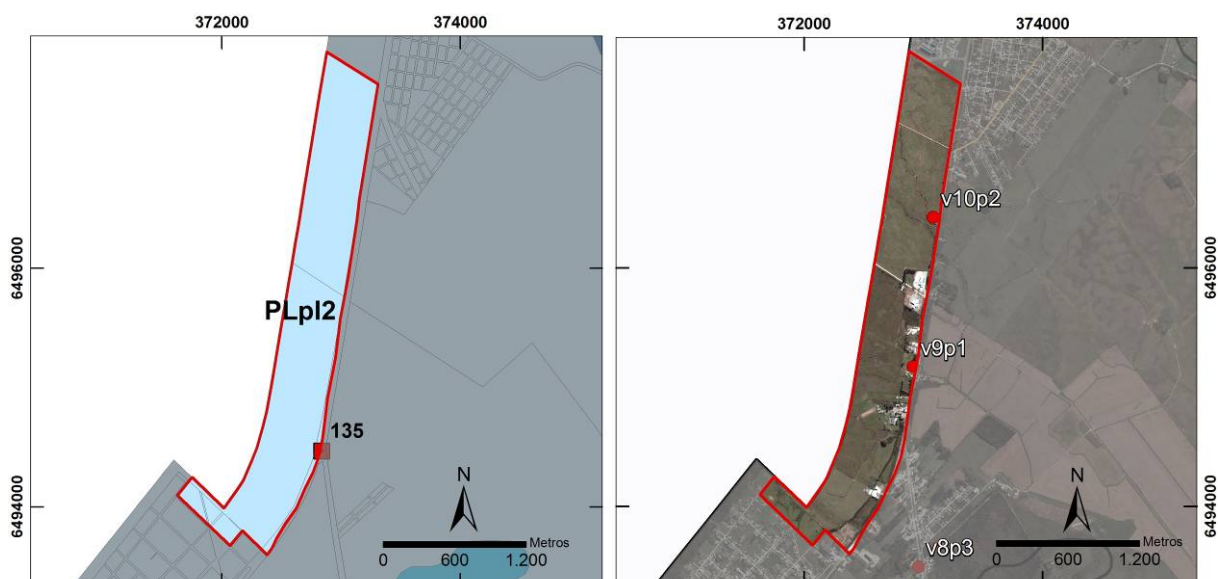


Figura 7.47 - Vazio Urbano 9: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Com algumas indústrias e serviços instalados ao longo da BR 116, o Vazio 9 forma uma faixa linear entre os loteamentos Sítio Floresta (ao sul) e Vila Princesa (ao norte). Com exceção de 60 ha ao sul, junto ao Sítio Floresta, onde passa um afluente do Arroio Santa Bárbara, o restante do vazio é definido pelo 3º Plano Diretor como área industrial, sendo por consequência proibida sua ocupação por residências, e estando sujeita a implatação de indústrias de grande porte.

A Figura 7.48 mostra os campos planos e sem uso, com geomorfologia típica da unidade PLpl2, que formam a quase totalidade do vazio.



Figura 7.48 – Campos sem usos do Vazio 9. Ponto v9p1.

A acessibilidade a área do vazio se dá quase totalmente pela rodovia BR 116. Não há nenhum tipo de rede de esgoto próxima ao local.

Os terrenos apresentam características geotécnicas que favorecem edificações industriais de maior porte (ver item 7.3.2).

#### 7.4.11 Vazio 10

Situado no extremo norte da zona urbana, na Região Administrativa Três Vendas, o Vazio Urbano 10 (Figura 7.49) possui 263,89 ha de área territorial e é formado por solo das unidades PLp12 (86,59%), PLal4 (12,50%), Aal4 (0,52%) e Apl2 (0,39%), descritas nos itens 7.3.2 e 7.3.11.

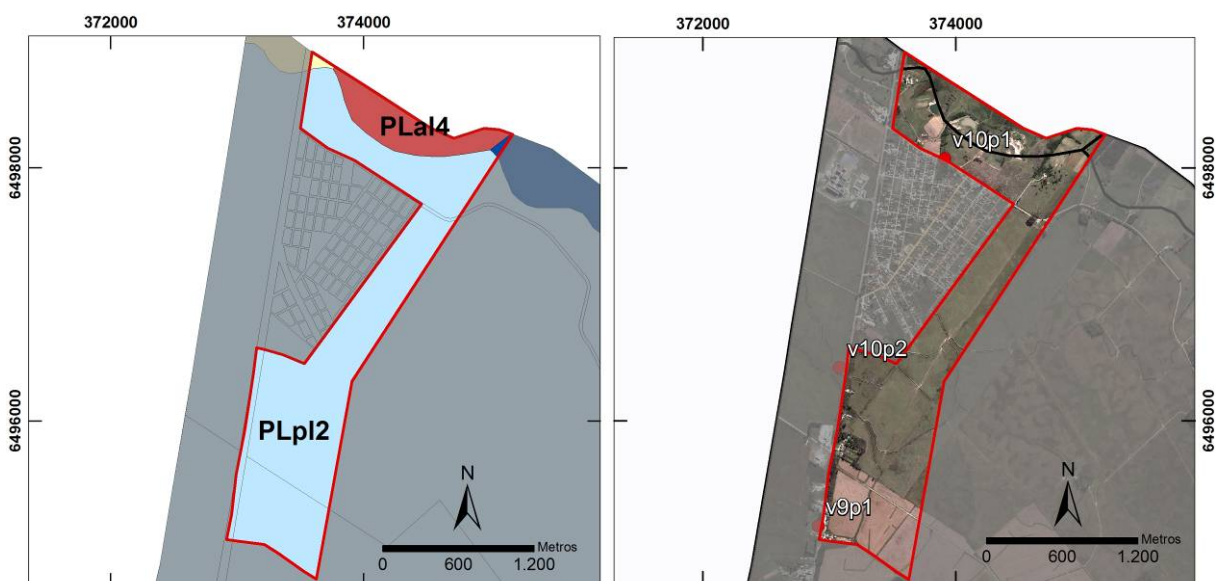


Figura 7.49 - Vazio Urbano 10: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Com características rurais na quase totalidade de sua área, o Vazio 10 compreende as áreas especiais Rururbana, Industrial e de Transição Industrial (Figura 7.50). Na Área Rururbana, além dos usos previstos, conforme os critérios de compatibilidade, impacto e incomodidade, também é permitido o desenvolvimento de atividades de caráter agrosilvopastoril de baixo e médio grau de impacto, em mínimo e pequeno portes, além das atividades de extração de areia e argila.

A implantação de indústrias de grande porte fica restrita a uma faixa de 200 m, marginal a BR 116. Para as demais áreas do vazio, somente são permitidas edificações de 10 a 13 m nas zonas sem regramento específico (a norte do vazio) e 7 m de altura na zona Rururbana, onde também são permitidas edificações residenciais.

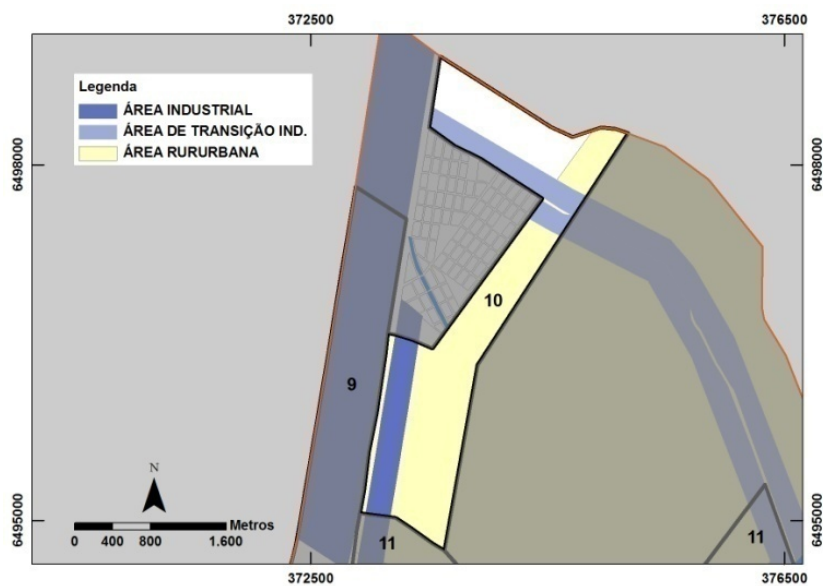


Figura 7.50 - Usos especiais estabelecidos pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde está inserido o Vazio Urbano 10.

A Figura 7.51 mostra a área marginal a BR 116 (unidade PLpl2), atualmente com uso rural, mas estabelecida como área destinada a instalação de indústrias de todos os portes. A Figura 7.52 apresenta a unidade PLpl2 no primeiro plano e a unidade PLal4 ao fundo, próxima a local onde vem sendo realizada a exploração de material colúvio aluvionar com saibro.

O vazio possui baixo nível de centralidade a sua acessibilidade se dá pela rodovia BR 116, prolongamento da Avenida Alfredo Theodoro Born (não pavimentada) e pelas ruas locais do loteamento Vila Princesa (não pavimentadas). Não há nenhum tipo de rede de esgoto próxima ao local.

Os solos da unidade PLpl2, dominantes no vazio, seguindo-se critérios geotécnicos, são aptos às edificações industriais e residenciais de médio e grande porte supra referidas (ver item 7.3.2).





Figura 7.51 – Área marginal a BR 116, unidade PLp2 do Vazio 10. Ponto v10p12.



Figura 7.52 – Unidade PLp2 no primeiro plano e unidade PLa4 ao fundo. Ponto v10p1.

### 7.4.12 Vazio 11

O Vazio Urbano 11 (Figura 7.53) situa-se bem no centro da Região Administrativa Três Vendas. Com área territorial de 801,45 ha é formado pelas unidades PLp2 (79,76%) e (HG-PL)p2 (20,24%).

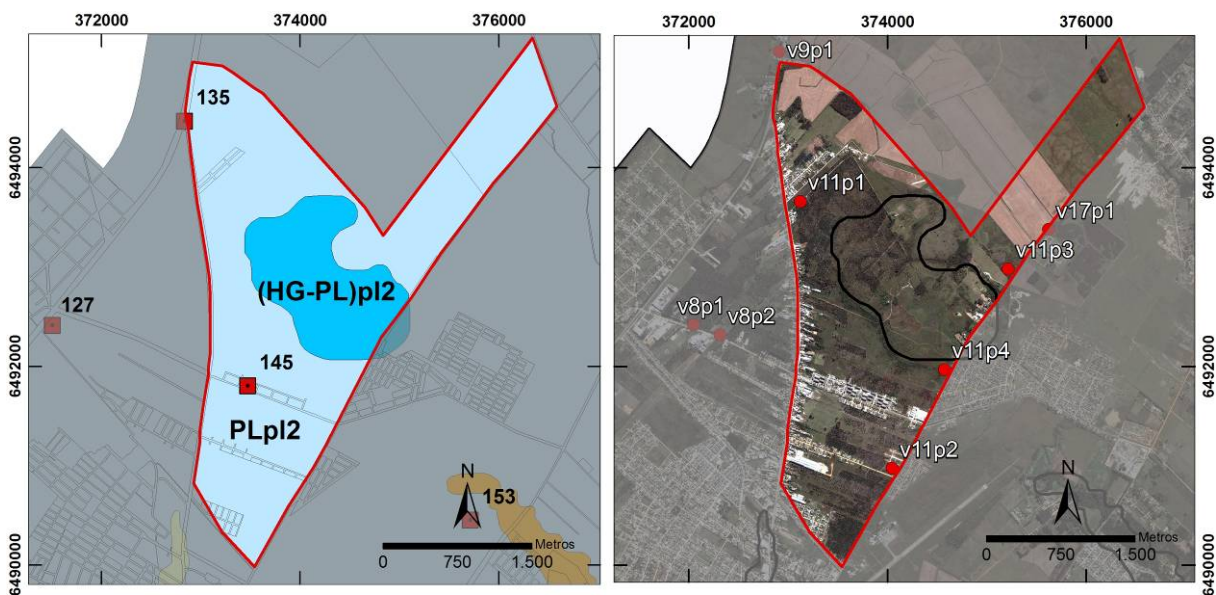


Figura 7.53 - Vazio Urbano 11: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Caracterizado por uma grande área, delimitada a oeste pela Avenida Fernando Osório e a leste pela Avenida Zeferino Costa, o Vazio 11 apresenta-se ocupado por diversas atividades ao longo da Avenida Fernando Osório e em outras duas vias transversais: a Avenida Leopoldo



Brod e a Rua Clio Fiori Druck. No entanto, seu interior e a faixa marginal à Avenida Zeferino Costa encontram-se praticamente livres de edificações.

A Figura 7.54 mostra área peri-urbana da unidade PLp12, nas imediações da Avenida Fernando Osório, marcada por terrenos planos com acúmulo de água em pontos isolados.

Seguindo o processo de expansão urbana, alguns loteamentos residenciais e conjuntos habitacionais foram implantados na área correspondente ao Vazio 11, como por exemplo: Loteamento Jardim de Alá, Loteamento Jardim do Prado, Vila Santa Rita de Cássia, Loteamento Eldorado, Conjunto Habitacional Cohab Pestano e Loteamento Novo Horizonte. Esse último, um loteamento de 72,30 ha, que por questões legais, não foi concluído, embora boa parte dos seus lotes tenha sido comercializada.

A Figura 7.55 mostra área com acesso pela Avenida Zeferino Costa, contígua ao Loteamento Novo Horizonte.



Figura 7.54 – Área contígua a Avenida Fernando Osório, unidade PLp12 no Vazio 11. Ponto v11p1.



Figura 7.55 – Área marginal à Avenida Zeferino Costa, unidade PLp12. Ponto v11p2

Apesar de 79,76% do Vazio 11 ser de áreas planas (com algum micro relevo) típicas da unidade PLp12, na parte central do vazio, onde está presente a unidade (HG-PL)p12, pode ser observado um relevo mais movimentado, com feições de maior cota altimétrica em relação ao resto do vazio, intercaladas com depressões onde os Solos Gleis são encontrados (Figura 7.56).

No extremo norte do vazio, são encontrados terrenos formados por campos limpos de uso tipicamente agrícola (Figura 7.57).



Figura 7.56 – Relevo da unidade (HG-PL)pl2, presente no Vazio 11. Ponto v11p4



Figura 7.57 – Terrenos de uso agrícola, no extremo norte do Vazio 11. Ponto v11p3.

O 3º Plano Diretor de Pelotas estabelece três áreas de especial interesse na região compreendida pelo Vazio 11: Rururbano, Industrial e Transição Industrial (Figura 7.58).

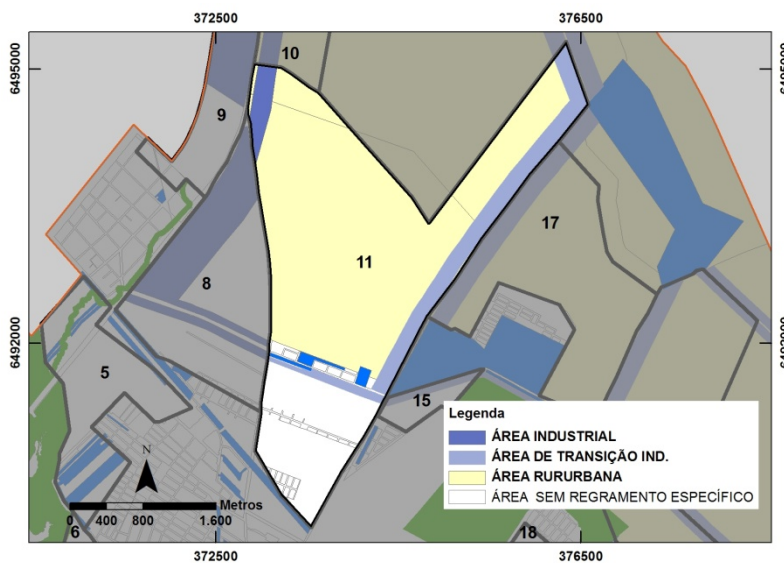


Figura 7.58 - Usos especiais estabelecidos pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde está inserido o Vazio Urbano 11

Os usos e alturas máximas das edificações, correspondentes a cada uma dessas áreas já foi comentado anteriormente. Cabe destacar que apesar de permitir o desenvolvimento de atividades de caráter agrosilvopastoril nas áreas Rururbanas, o Plano Diretor não proíbe em nenhum de seus dispositivos, o parcelamento do solo para fins residenciais, apenas limitando a altura das edificações ao máximo de 7m (dois pavimentos).

Sendo assim, embora a maior parte do Vazio 11 seja definida como Área Rurbana, a expansão urbana, quer seja sobre a forma de residências, comércio, serviços e até mesmo indústrias (tudo de acordo com o porte e grau de impacto e incomodidade), sobre essas áreas, é perfeitamente possível.

Mesmo situado a uma distância considerável do centro urbano, o fato de estar limitado no sentido longitudinal por duas avenidas, uma delas fazendo parte das vias principais do sistema de circulação (Avenida Fernando Osório), faz com que o vazio em questão tenha um bom nível de acessibilidade. Tal fator, associado à presença de infra-estrutura em boa parte de seu perímetro (com exceção a falta de rede de esgoto), estimula sua ocupação. Nos terrenos de frente para a Avenida Fernando Osório, até a profundidade de 100m, é permitida a edificação de prédios de até 25 m de altura.

Conforme, indicado para vazios próximos, os solos da unidade PLp12 e mesmo da unidade (HG-PL)p12, são compatíveis a ocupação supracitada prevista (ver item 7.3.2).

#### 7.4.13 Vazio 12

Pequeno vazio urbano situado no limite leste da Região Administrativa do Centro (Figura 7.59), com 10,27 ha de área territorial, é formado apenas por solos da unidade (HG-PL)p14, descrita no item 7.3.6.

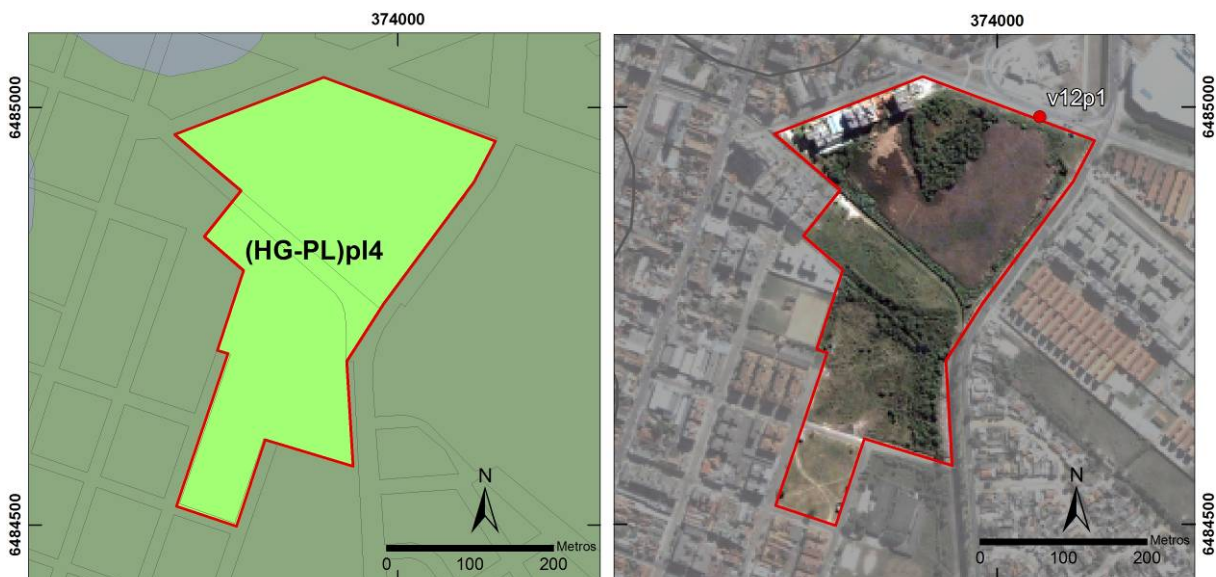


Figura 7.59 - Vazio Urbano 12: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

O Vazio 12 está compreendido na área central de Pelotas, com elevados níveis de acessibilidade e centralidade. Trata-se de terrenos desocupados em função da especulação imobiliária. Embora desempenhem um relevante papel ambiental, por se tratar (em parte) de área baixa, alagadiça, com vegetação típica de banhados, que funciona como um dreno natural das águas das chuvas, não foram considerados como Área Especial pelo Plano Diretor.

A Figura 7.60 e a Figura 7.61 mostram os terrenos alagadiços do Vazio 12, com vegetação típica, e as áreas urbanizadas do entorno (ponto V12p1).



Figura 7.60 – Terrenos alagadiços, com vegetação típica de banhado, presentes no Vazio 12. Ponto v12p1.



Figura 7.61 – Vazio 12 com áreas urbanizadas ao fundo. Ponto v12p1.

Devido a sua localização, valor imobiliário, e ao fato de estar, em boa parte, circundado por logradouros e área onde são permitidas alturas edificadas de 19m a 25m, a ocupação do vazio urbano por edifícios e/ou empreendimentos de grande porte e impacto, pode ser considerada provável. Há elevados níveis de infra-estrutura no local, com presença de rede coletora de esgoto.

Conforme apontado (ver item 7.3.6), os terrenos impõem de critérios mais rigorosos de projeto para fundações e drenagem, carecendo de volumes significativos de aterros para elevação das cotas de lotes e vias.

#### 7.4.14 Vazio 13

O Vazio Urbano 13 (Figura 7.62) está dividido entre as Regiões Administrativas do Centro e do Areal. Com área territorial de 16,72 ha, é formado por solos das unidades PLp12 (94,68%) e (HG-PL)p14 (5,32%), descritas nos itens 7.3.2 e 7.3.6.



A Avenida Presidente Juscelino K. de Oliveira, uma importante via estruturadora do sistema viário urbano da cidade, divide o vazio em duas partes com áreas territorial equivalentes. Inserido no tecido urbano, o vazio possui boa centralidade e ótima acessibilidade, com ampla possibilidade de conexão ao sistema viário local. À nordeste o vazio possui acesso por outra importante via, a Avenida São Francisco de Paula. Ambas avenidas permitem construções de até 25 m de altura. Para o restante do vazio é aplicável a regra geral, com construções de 10 a 13 m de altura.

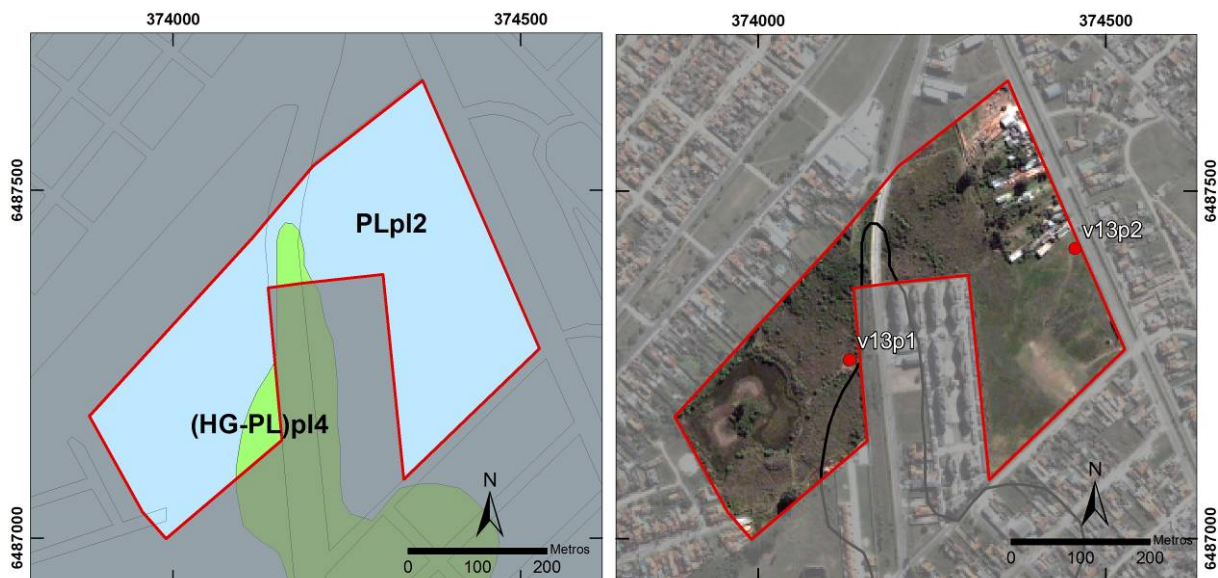


Figura 7.62 - Vazio Urbano 13: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

A Figura 7.63 mostra, a partir do ponto V13p1, a área do vazio contígua a Avenida Presidente Juscelino K. de Oliveira.

Já foi encaminhado à Prefeitura de Pelotas o projeto de um Shopping Center para o local (com acesso pela Avenida São Francisco de Paula), tendo havido movimento de terra no local (Figura 7.64), mas, decorridos mais de dois anos do pedido de aprovação, o empreendimento não se efetivou.

Em face de sua localização e do excelente nível de infra-estrutura presente no local, inclusive rede coletora de esgoto, a não ocupação desse vazio urbano deve-se principalmente a especulação imobiliária e, por conseqüência, existe a possibilidade de implantação de obras de médio a grande porte nas áreas marginais às avenidas São Francisco de Paula e Presidente Juscelino K. de Oliveira.

Os solos da unidade PLp12 apresentam propriedades geotécnicas compatíveis com a ocupação supracitada prevista (ver item 7.3.2).



Figura 7.63 – Área marginal a Avenida Presidente Juscelino K. de Oliveira no Vazio 13. Ponto v13p1.



Figura 7.64 – Movimento de terra para implantação de Shopping Center em área do Vazio 13. Ponto v13p2.

#### 7.4.15 Vazio 14

O Vazio Urbano 14 (Figura 7.65), a exemplo do Vazio 13, está situado na divisa de duas regiões administrativas: Três Vendas e Areal. Com 25,49 ha de área territorial é formado somente por solos da unidade PLp12, descrita no item 7.3.2.

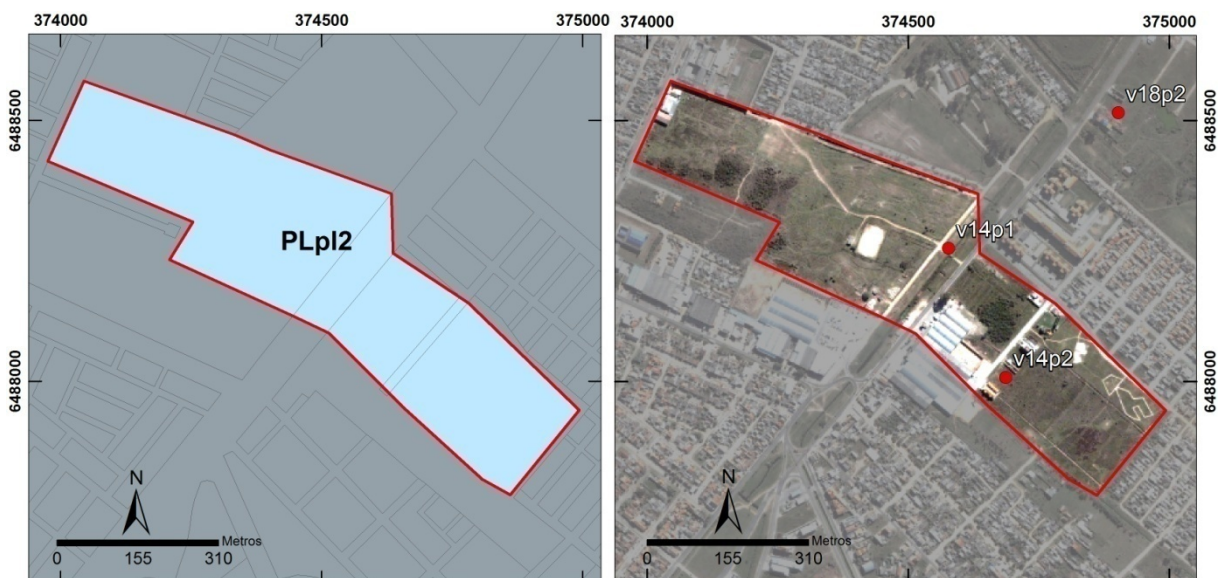


Figura 7.65 - Vazio Urbano 14: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).



Cercado por área urbanizada e com boa infra-estrutura, o Vazio 14 está na base de um grande vetor de crescimento da cidade, estruturado pela Avenida Ildefonso Simões Lopes. As possibilidades de conexão com a malha urbana circundante são amplas, e os usos próximos são mesclados por residências de médio e baixo padrão, serviços e comércios de grande porte, tais como hipermercado, depósitos hortifrutigranjeiros, comércio de materiais de construção, etc.

O vazio não faz parte de nenhuma área de especial interesse estabelecida pelo Plano Diretor, e sua regra de ocupação segue a geral: edificações de 10 a 13 m de altura e usos conforme a categoria das vias, porte e graus de impacto e incomodidade, com exceção da Avenida Ildefonso Simões Lopes (até a Avenida Leopoldo Brod), onde é permitido edificações de até 25 m de altura. Ambos padrões de ocupação são compatíveis aos solos da unidade Plp12.

A Figura 7.66 mostra a metade noroeste do vazio a partir do ponto v14p1 e a Figura 7.67 a parte mais a sudeste a partir do ponto v14p2.



Figura 7.66 – Metade noroeste do Vazio 14. Ponto v14p1.



Figura 7.67 – Parte do Vazio 14 situada a sudeste do mesmo, com loteamento popular ao fundo. Ponto v14p2.

#### 7.4.16 Vazio 15

Situado na Região Administrativa Três Vendas, o Vazio Urbano 15 (Figura 7.68) faz fronteira a oeste com o Vazio 11 e a norte com o loteamento popular Pestano. Com 31,09 ha de área territorial é composto por solos da unidade PLp12.

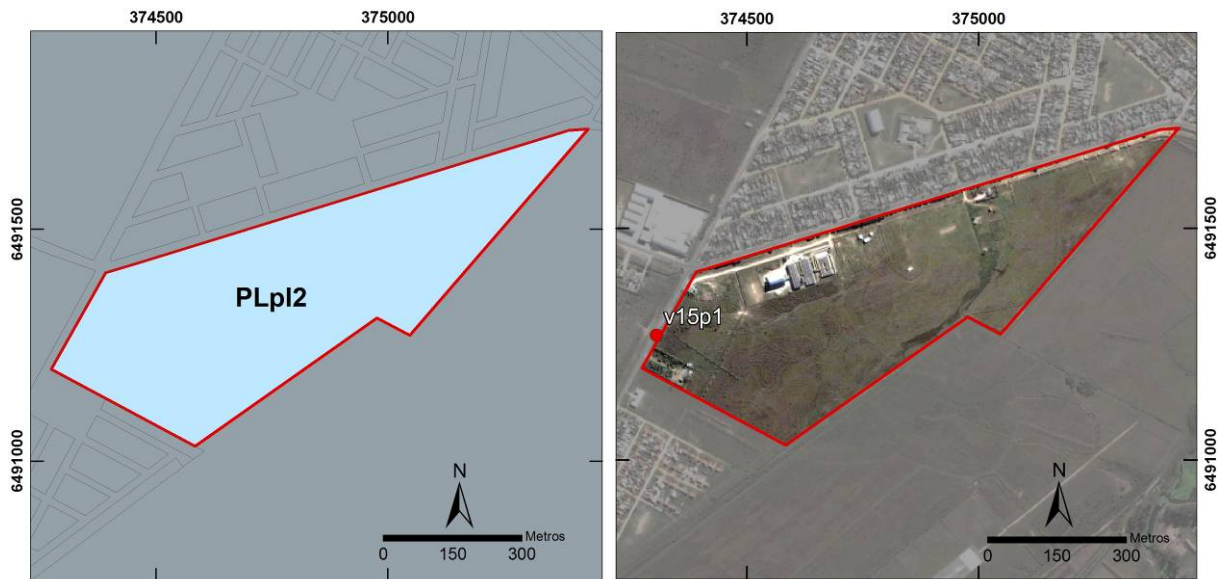


Figura 7.68 - Vazio Urbano 15: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Acessível pelas avenidas Zeferino Costa e Leopoldo Brod, ambas pavimentadas com asfalto, o Vazio 15 encontra-se próximo aos loteamentos populares Pestano, Getúlio Vargas e Municipários. Pequena parte de sua área é ocupada por uma escola municipal de médio a grande porte: Escola Francisco Carúcio.

Devido a sua localização e fácil acessibilidade, além das características favoráveis dos solos da unidade, o vazio urbano possui ótimas condições para implantação de loteamentos e/ou condomínios populares. Não há nenhum regramento específico para a área, valendo as regras gerais de uso e altura. A Figura 7.69 mostra os terrenos planos com vegetação arbustiva típicos do vazio.



Figura 7.69 – Terrenos planos com vegetação arbustiva do Vazio 15. Ponto v15p1.

### 7.4.17 Vazio 16

O Vazio Urbano 16 (Figura 7.70) situa-se na Região Administrativa São Gonçalo, próximo ao canal de mesmo nome. Trata-se de um pequeno vazio, com área territorial de 17,06 ha, formado por solos das unidades (HG-PL)pl4 (90,55%) e (HG-PL)al4 (9,45%), descritas nos itens 7.3.6 e 7.3.11, respectivamente.

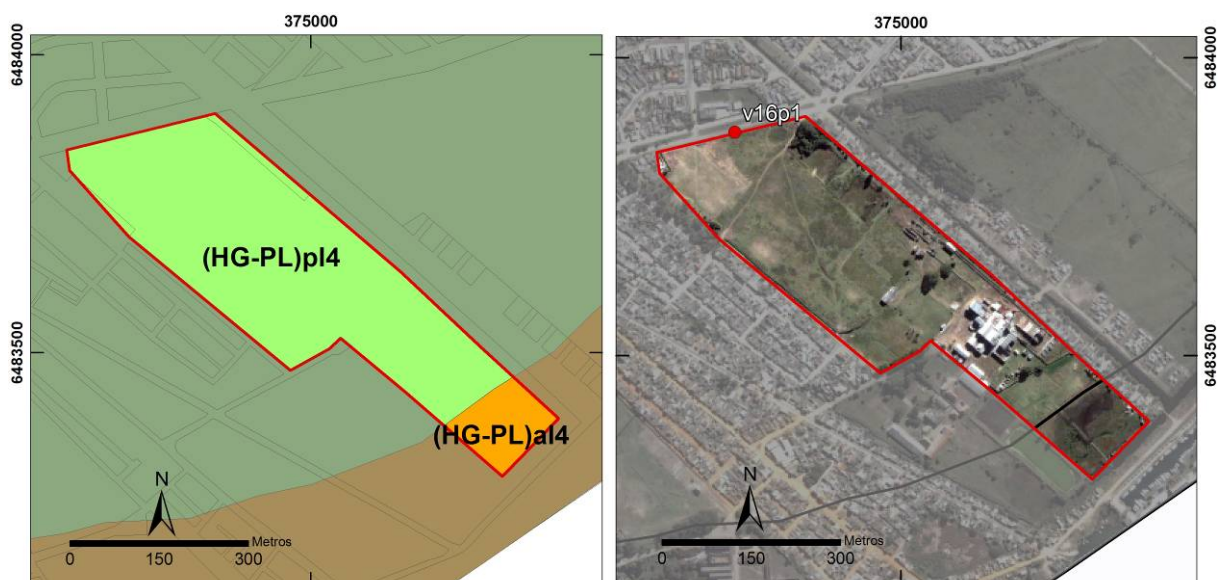


Figura 7.70 - Vazio Urbano 16: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Cercado por loteamentos e ocupações populares o Vazio 16 está situado a aproximadamente 1500 m do centro histórico da cidade. Com facilidade de conexão a malha viária local, a porção noroeste do vazio apresenta-se como um ótimo local para implantação de loteamentos e/ou conjuntos habitacionais populares. Já a parte sudeste encontra-se parcialmente ocupada por uma instalação fabril e limitada pelo dique de contenção do São Gonçalo, o que reduz sua acessibilidade.

Situado em área de baixa cota altimétrica o Vazio 16 encontra-se protegido contra a inundação pelo Sistema de Drenagem e Proteção Contra as Enchentes de Pelotas, que inclui, na área, o dique de contenção do São Gonçalo, canais de drenagem e uma casa de bombas. A área do vazio está, portanto, dependente do perfeito funcionamento desse sistema, sem o que, se sujeita a alagamentos. De igual forma, cuidados especiais devem ser tomados com a drenagem pluvial e esgotamento sanitário nestas áreas. Aterros são necessários para elevação das cotas de lotes e vias. Projetos de fundações carecem de mais rigorosa investigação geotécnica pela possibilidade de estratos de argila mole em profundidade.

A Figura 7.71 apresenta a área principal do vazio urbano com a instalação fabril ao fundo, e a Figura 7.72 mostra parte dessa área ocupada por campo de futebol de uso para recreação da comunidade do entorno.



Figura 7.71 – Terrenos planos do Vazio 16, com instalação fabril ao fundo. Ponto v16p1.



Figura 7.72 – Área do Vazio 16 ocupada por campo de futebol. Ponto v16p1.

O vazio está inserido na Área Especial de Interesse do Ambiente Cultural (AEIAC) denominada Sítio Charqueador, a qual segue as regras gerais de uso, ocupação e altura das edificações, mas para a qual é proibido pelo Plano Diretor o parcelamento do solo. Essa regra está sendo revista, assim como a própria delimitação e extensão do Sítio, pela Comissão Técnica do Plano Diretor (CTPD) e pelos órgãos responsáveis pelas atividades culturais no município. Nova regra permitindo o parcelamento e alterando a delimitação dessa AEIAC deverá fazer parte de um projeto de lei que será encaminhado ao legislativo municipal, e que inclui diversas outras modificações na lei do Plano Diretor. Por conseguinte, a referida restrição não será considerada, para este trabalho, como impeditiva da ocupação desse e de outros vazios que fazem parte da área do Sítio Charqueador.

#### **7.4.18 Vazio 17**

Situado na Região Administrativa Três Vendas (Figura 7.73), o Vazio Urbano 17 tem como limite sudoeste o loteamento popular Getúlio Vargas, e como limite norte a localidade denominada Sanga Funda. Possuindo 305,36 ha, é formado por solos das unidades PLp12 (97,85%) e (HG-PL)p12 (2,15%), descritas nos itens 7.3.2 e 7.3.11, respectivamente.



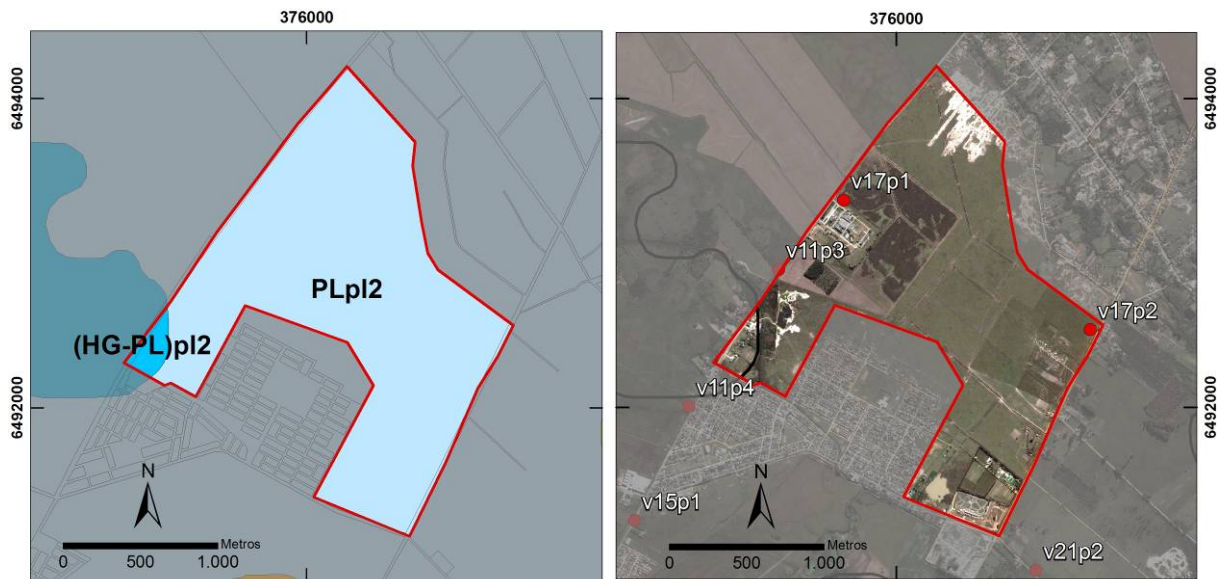


Figura 7.73 - Vazio Urbano 17: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

O Vazio 17 caracteriza-se por ser uma área de grande extensão que faz parte de outra maior, de propriedade da Prefeitura Municipal de Pelotas. Parte dessa área já foi utilizada para implantação de loteamentos populares (Pestano e Getúlio Vargas) que limitam o vazio a sudoeste. No limite nordeste do vazio situa-se a localidade conhecida como Sanga Funda, área pública em parte concedida para exploração privada de argila destinada a fabricação de telhas e tijolos (olarias), e em parte ocupada irregularmente, com o consentimento da Administração Pública, por habitações de baixa renda.

Algumas áreas do vazio já foram doadas ou negociadas pela prefeitura para instalação de atividades diversas, como por exemplo, o Quartel General do 9º Batalhão de Infantaria Motorizada, a Associação Pelotense de Automobilismo, o Parque Esportivo Lobão, entre outros. Mas ainda restam muitas áreas desocupadas com acesso pelas avenidas Zeferino Costa (a noroeste) e Ildefonso Simões Lopes (a sudeste), que lhes garante acessibilidade, embora as vias nos trechos do vazio não sejam totalmente pavimentadas. A Avenida Zeferino Costa possui pavimentação até o fim do lote do Quartel do 9º Batalhão e a Avenida Ildefonso Simões Lopes não é pavimentada no trecho do vazio.

O trecho marginal à Avenida Zeferino Costa, até a profundidade de 200 m, foi definido como Área de Transição Industrial, e as demais áreas do vazio como Rurubana, nas quais são permitidos usos mistos e edificações de até 7 m de altura.

A Figura 7.74 mostra, a partir da av. Zeferino Costa, os terrenos típicos da unidade PLp12, e a

Figura 7.75 os mesmos terrenos são vistos a partir da Avenida Ildefonso Simões Lopes.



Figura 7.74 – Terrenos típicos da unidade PLp12, no Vazio 17. Ponto v17p1.



Figura 7.75 – Terrenos do Vazio 17 vistos a partir da Avenida Ildefonso Simões Lopes. Ponto v17p2.

### 7.4.19 Vazio 18

Situado no limite noroeste da Região Administrativa Areal, o Vazio Urbano 18 (Figura 7.76) possui 305,42 ha de área territorial e é formado por solos das unidades PLp12 (97,59%) e (HG-PL)a14 (2,42%).

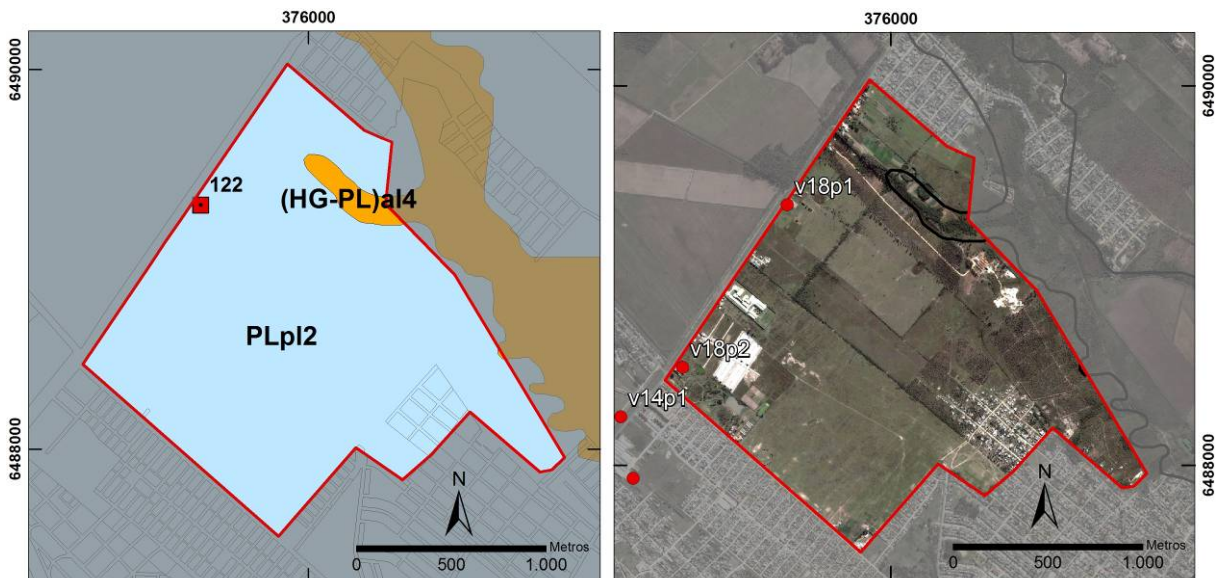


Figura 7.76 - Vazio Urbano 18: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

O Vazio 18 caracteriza-se por ser uma área de grande extensão contígua a um forte eixo de crescimento urbano: a Avenida Ildefonso Simões Lopes. Por consequência, esse vazão vem



sofrendo crescente ocupação periférica a citada avenida, no sentido sudoeste-nordeste, que tende a chegar até o Loteamento Arco-Iris, que faz fronteira a sudoeste com o vazio.

A Avenida Ildefonso Simões Lopes, que tem início a sudoeste no entroncamento de outras quatro avenidas (São Francisco de Paula, República do Líbano, 25 de Julho e Senador Salgado Filho), possui pavimentação asfáltica até a Avenida Leopoldo Brod, o que garante uma boa acessibilidade à área do vazio.

Os primeiros 650 m do vazio, junto à Avenida Ildefonso Simões Lopes foram ocupados por conjuntos habitacionais de casas e apartamentos, loteamentos, e por uma instalação do Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte – SEST SENAT, restando ainda, pelo menos, 1000 metros de áreas livres junto a essa avenida (Figura 7.77).

Nos limites sudoeste e sudeste o Vazio 18 faz fronteira com os loteamentos populares Dunas, Vasco Pires e Darci Ribeiro, sendo, portanto, uma área favorável a implantação de novos loteamentos deste mesmo padrão. A Figura 7.78 mostra um perfil da unidade PLpl2, presente em 97,59% do vazio, destacando os processos erosivos em solo dispersivo alertados no item 7.3.2.



Figura 7.77 – Terrenos do Vazio 17, marginais à Avenida Ildefonso S. Lopes. Ao fundo: condomínios que avançam no sentido sudoeste-nordeste. Ponto v18p1.



Figura 7.78 – Perfil da unidade Plpl2, onde percebem-se processos erosivos característicos dos solos da unidade, próximo ao ponto v18p1.

Não há nenhuma área de especial interesse estabelecida pelo Plano Diretor para a área do vazio, seguindo a regra geral de uso e ocupação do solo e de altura das edificações (de 7 a 13 m), com exceção dos lotes frontais à Avenida Ildefonso Simões Lopes (até a profundidade de 100 m), onde é permitido edificações de até 25 m de altura, e por conseqüência, uma maior densificação.

Os solos da unidade PLpl2 apresentam características geotécnicas compatíveis aos usos apontados acima.

#### 7.4.20 Vazio 19

O Vazio Urbano 19 (Figura 7.79) situa-se na Região Administrativa São Gonçalo, limitando ao norte com a Região Administrativa Areal através da Avenida Ferreira Viana. Com área territorial de 238,31 ha é formado apenas por solos da unidade (HG-PL)pl4, descrita no item 7.3.6.

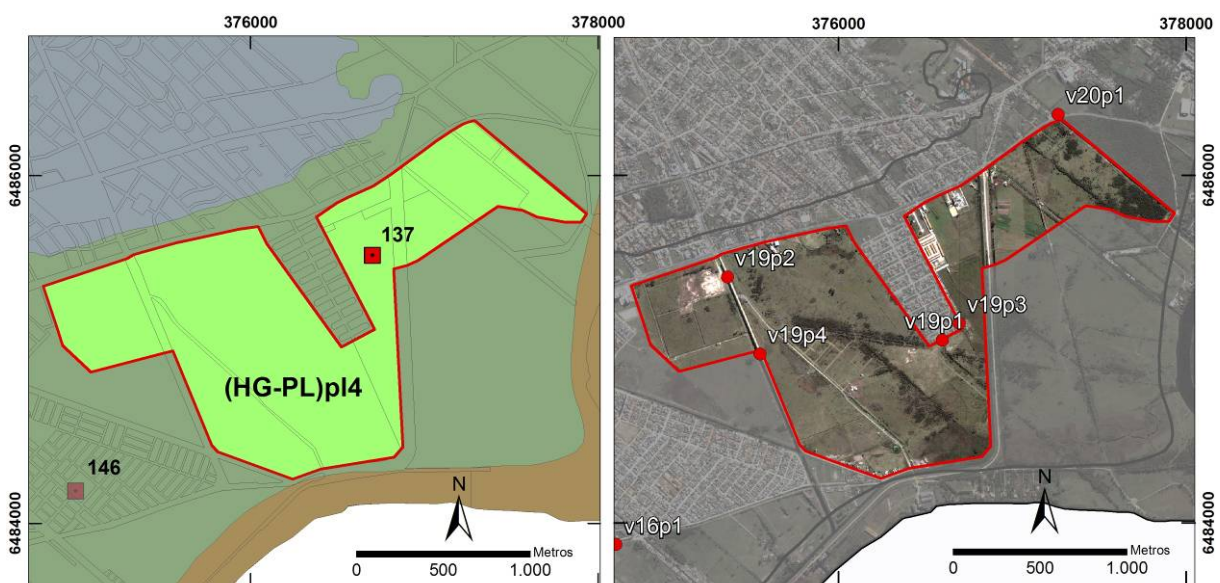


Figura 7.79- Vazio Urbano 19: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Trata-se de uma extensa área às margens da Avenida Ferreira Viana, um dos eixos estruturadores do crescimento da cidade na direção leste. Muito próximo à área central, esse vazio é consequência da especulação imobiliária que gera áreas ociosas na espera da valorização financeira.

O vazio está praticamente dividido em duas partes, separadas pelo Loteamento Umuarama, e é acessível pela citada Avenida Ferreira Viana, pelo prolongamento da Avenida São Francisco de Paula e pela Estrada do Engenho (antigo Corredor das Tropas), essas duas últimas sem pavimentação e em mau estado de conservação. Há rede coletora de esgoto pela Avenida Ferreira Viana e no Loteamento Umuarama.

O Plano Diretor estabelece altura diferenciada em uma faixa de 500 m de largura contígua a Avenida Ferreira Viana, na qual é possível construir edificações até 19 m de altura. Também na Avenida Ferreira Viana e no prolongamento da Avenida São Francisco de Paula, até o limite de 100 m, é estabelecido altura diferenciada, podendo as edificações atingirem a altura máxima de 25 m. Para o resto do vazio vale a regra geral (edificações de 10 a 13 m de altura), conforme Figura 7.80.

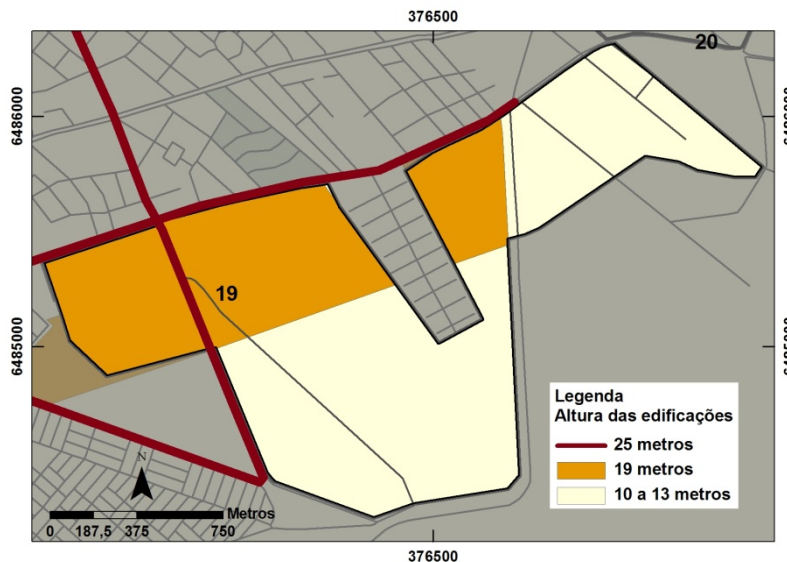


Figura 7.80 – Regramento do Plano Diretor de Pelotas referente a alturas das edificações na área do Vazio 19.

Desta forma, o Plano Diretor estimula a ocupação e adensamento de boa parte do Vazio 19, devido a acessibilidade, centralidade e bom nível de infra-estrutura do local.

O vazio situa-se em área baixa, mas a sua maior parte está protegida pelo Sistema de Proteção Contra Cheias de Pelotas, que conta no local com dois grandes canais de drenagem (um junto ao prolongamento da Avenida São Francisco de Paula, e outro junto à Estrada do Engenho), mas que também é dependente do sistema de bombas.

As características geotécnicas dos solos da unidade (HG-PL)pl4, indicam possíveis problemas com drenagem pluvial e a necessidade de maior investimento em investigações geotécnicas pois podem ocorrer estratos de argilas moles em profundidade. Aterros são necessários para elevação da cota de lotes e vias.

A Figura 7.81 mostra o vazio a partir dos fundos do Loteamento Umuarama (ponto v19p1), e a Figura 7.82 mostra o mesmo a partir do prolongamento da Avenida São Francisco de Paula, na parte mais a oeste do vazio.



Figura 7.81 – Vazio 19 visto a partir dos fundos do Loteamento Umuarama. Bem ao fundo aparece o antigo Engenho Cel. Pedro Osório, às margens do Canal São Gonçalo. Ponto v19p1



Figura 7.82 – Parte oeste do Vazio 19 vista a partir da Avenida São Francisco de Paula. Ao fundo aparece o centro da cidade. Ponto v19p2.

Parte da área do Vazio 19 está compreendida na AEIAC do Sítio Charqueador, a qual não está sendo considerada como restrição ao uso e ocupação, conforme exposto na descrição do Vazio 16.

#### 7.4.21 Vazio 20

Situado na Região Administrativa Areal, o Vazio Urbano 20 (Figura 7.83) possui área territorial de 108,76 ha, e é formado por solos das unidades (HG-PL)p14 (70,59%), PLp12 (24,23%), (HG-PL)a14 (4,73%) e HGa14 (0,45%), descritas nos itens 7.3.6, 7.3.2, 7.3.11 e 7.3.8, respectivamente.

O Vazio 20, a exemplo de outros, pode ser dividido em duas metades, separado pela Avenida Domingos de Almeida. A metade noroeste encontra-se quase totalmente cercada por loteamentos populares, a saber: Vasco Pires, Dunas, Bom Jesus e Obelisco, tendo boa acessibilidade e facilidade de conexão ao tecido urbano circundante. A maioria das vias locais, próximas ao vazio, não são pavimentadas, com exceção da Avenida Domingos de Almeida e da Rua Comendador Rafael Dias Mazza, que dá acesso ao Loteamento Obelisco. Existe rede coletora de esgoto próxima ao vazio (loteamentos Obelisco e Bom Jesus).



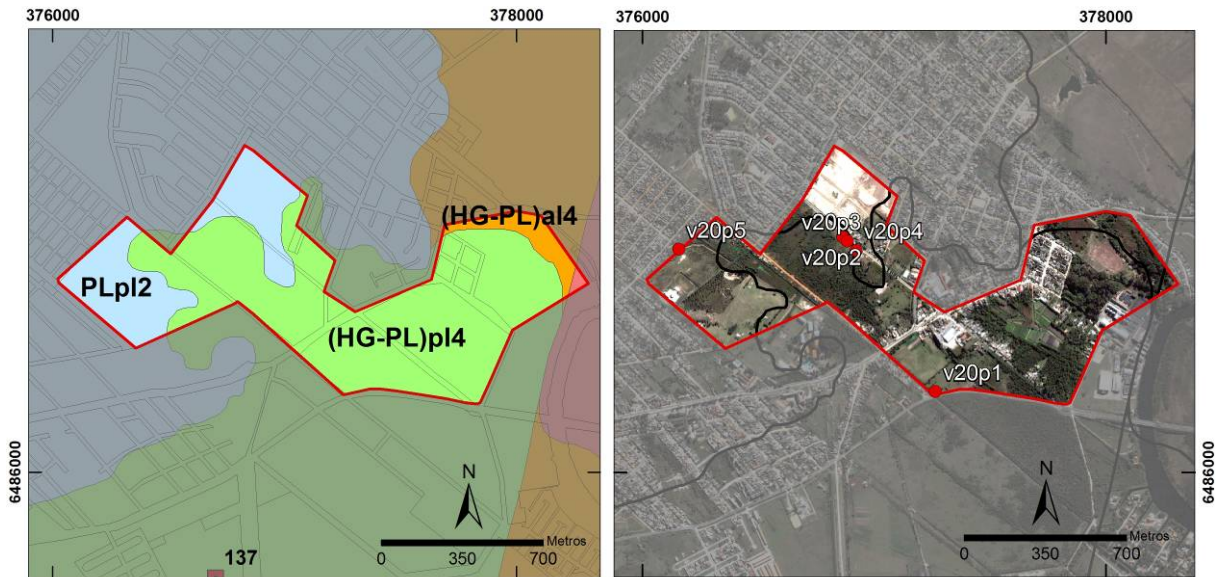


Figura 7.83 - Vazio Urbano 20: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

A parte sudeste do vazio, próxima ao Arroio Pelotas, possui como principais acessos as avenidas Domingos de Almeida, Ferreira Viana, Rua Comendador Rafael Dias Mazza (todas pavimentadas), Rua Capitão Nelson Pereira e a Estrada da Costa (que dá acesso a diversas charqueadas). Em sua proximidade, e no próprio vazio, o uso do solo é menos denso e mais diversificado, existindo desde residências populares a indústrias e atividades hortifrutigranjeiras.

A área do Vazio 20 possui razoável centralidade e boa acessibilidade, estando ao fim de duas das principais avenidas da cidade: Domingos de Almeida e Ferreira Vianna, à aproximadamente 3 km da zona central.

Conforme mostrado na Figura 7.84 o Plano Diretor estabelece na área do vazio dois tipos de áreas de especial interesse: Áreas Especiais de Interesse Cultural (AEIAC) formadas por Focos Especiais de Interesse Cultural (FEIC) da Avenida Domingos de Almeida e Caçimba das Nações e pelo Sítio Charqueador, este último situado na parte nordeste da metade sudeste do vazio; e Área Especial de Interesse Social, próximas aos loteamentos populares Dunas e Vasco Pires. O restante da área do vazio segue a regra geral de uso e altura das edificações.

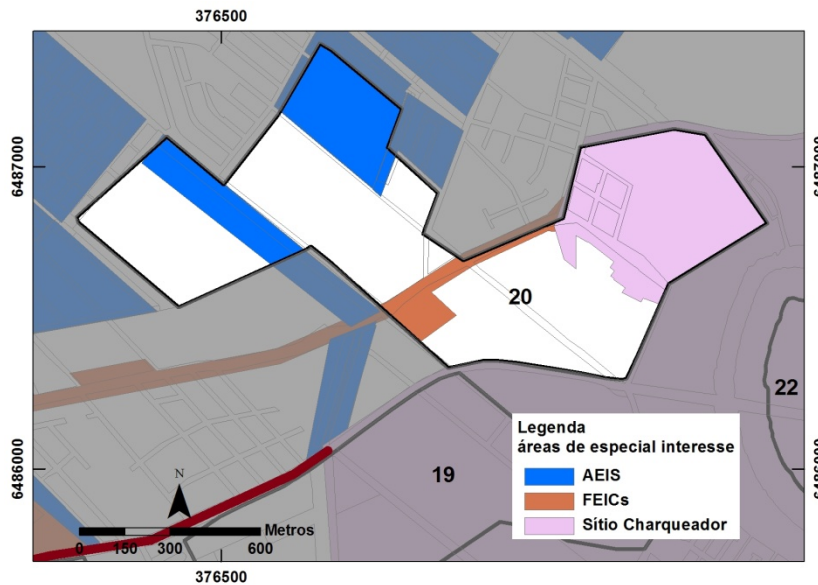


Figura 7.84 – Áreas de interesse especial estabelecidas pelo Plano Diretor na zona do Vazio 20.

Para os FEIC da Avenida Domigos de Almeida e Caçimba das Nações somente é permitido edificações até 7 m de altura, ao passo que para a área correspondente a AEIAC do Sítio Charqueador valem as considerações já feitas na descrição do Vazio 16. As AEIS não possuem regramento diferenciado para uso, ocupação e altura das edificações, e as normas a elas referentes são direcionadas a ação do poder público.

A Figura 7.85 mostra a metade sudeste do Vazio 12, às margens da Avenida Ferreira Viana, com seus terrenos planos e baixos, típicos da planície lagunar holocênica, unidade (HG-PL)pl4. Nestes, as condições de drenagem e de suporte dos terrenos exigem maiores investimentos para implantação de infra-estrutura e de residências. A Figura 7.86 mostra, na metade noroeste do vazio, a transição de relevo entre as unidades (HG-PL)pl4 e PLpl2 no sentido nordeste-sudoeste, e a Figura 7.87 a mesma transição no sentido inverso. Na Figura 7.88, é ilustrada área contígua ao Loteamento Dunas, a qual vem sendo invadida por ocupações populares. Os terrenos da unidade PLpl2, no terraço pleistocênico mais elevado, apresentam melhores características para ocupação, conforme já destacado em descrições de vazios anteriores.





Figura 7.85 – Parte sudeste do Vazio 20: área baixa e plana às margens da Avenida Ferreira Viana. Ao fundo aparece a Indústria de Biscoitos Zezé. Ponto v20p1.



Figura 7.86 – Parte noroeste do Vazio 20: foto a partir da unidade (HG-PL)pl4, passando pela unidade PLpl2 e com a unidade (HG-PL)pl4 aparecendo novamente ao fundo. Ponto v20p4.



Figura 7.87 – Parte noroeste do Vazio 20, vista a partir do ponto v20p2, no sentido nordeste-sudoeste: relevo de transição entre as unidades (HG-PL)pl4 e PLpl2.



Figura 7.88 – Área do Vazio 20 contígua ao Loteamento Dunas. Ponto v20p5.

#### 7.4.22 Vazio 21

O Vazio Urbano 21 (Figura 7.89) situa-se na Região Administrativa Areal, fazendo divisa com a Região Administrativa das Três Vendas através da Avenida Ildefonso Simões Lopes. Possui área territorial de 434,63 ha, é formado por solos das unidades PLpl2 (90,33%), HGa14 (7,14%) e (HG-PL)a14 (2,53%), descritas nos itens 7.3.2, 7.3.8 e 7.3.11, respectivamente.

Trata-se de uma extensa área junto à parte não pavimentada da Avenida Ildefonso Simões Lopes, que se estende a sudeste até os fundos do Loteamento Arco-Íris, com uso predominantemente rural, mas com loteamentos e ocupações residenciais populares próximas

(loteamentos Getúlio Vargas, Arco-Íris e Sanga Funda). O vazio possui baixa centralidade e carece de infra-estrutura, não possuindo vias de acesso e internas pavimentadas e rede de esgoto próxima.

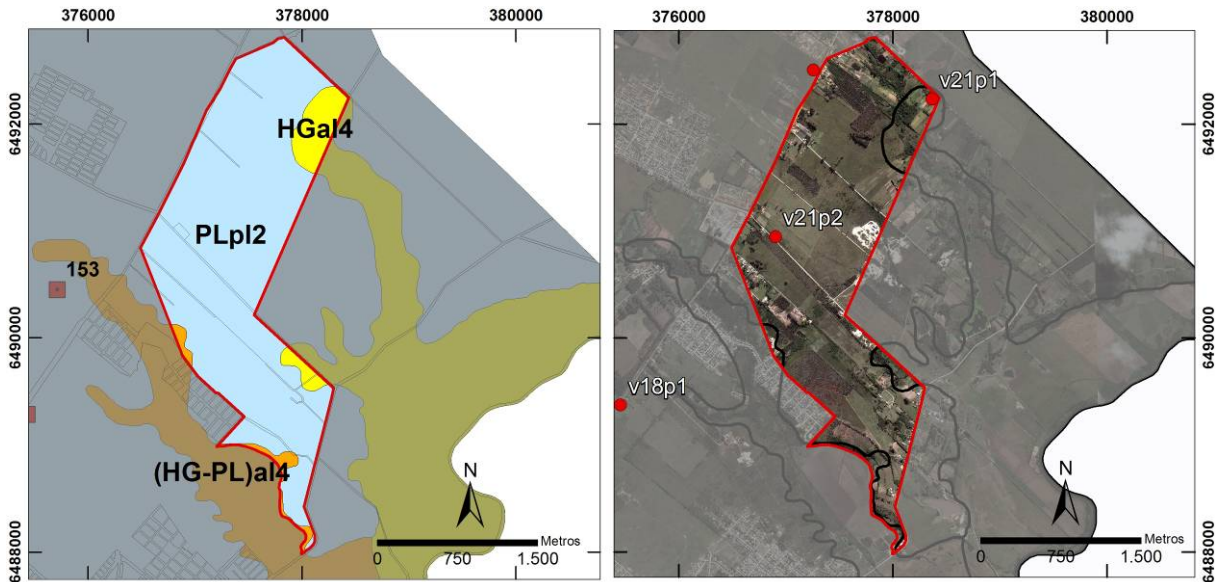


Figura 7.89- Vazio Urbano 21: unidades geotécnicas com pontos de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

A maior parte do Vazio 21 é tratada como Área Rururbana pelo Plano Diretor, que também estabelece Zona de Transição Industrial junto às avenidas Ildefonso Simões Lopes e prolongamento das avenidas Leopoldo Brod e Alfredo Theodoro Born, conforme mostra a Figura 7.90.

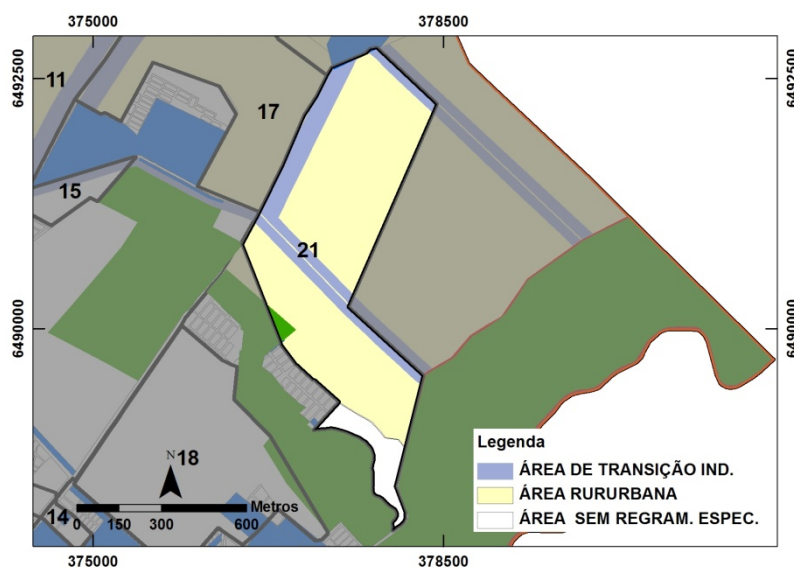


Figura 7.90 - Usos especiais estabelecidos pelo 3º Plano Diretor de Pelotas para a área onde está inserido o Vazio Urbano 21.

A Figura 7.91 mostra os terrenos planos típicos da unidade PLp12, com vegetação arbustiva, e a Figura 7.92 mostra os terrenos baixos da unidade HGal4, com presença de mata nativa junto a um canal natural de drenagem (Sanga Funda). Quanto a aptidão geotécnica para ocupação futura, na comparação entre os terrenos pleistocênicos e holocênicos das unidades PLp12 e HGal4, respectivamente, valem as mesmas observações realizadas na descrição do vazio anterior.



Figura 7.91 – Vazio 21: terrenos da unidade PLp12, desocupados e com presença de vegetação arbustiva. Ponto v21p2.



Figura 7.92 – Terrenos baixos da unidade HGal4 no Vazio 21. Ponto v21p1.

#### 7.4.23 Vazio 22

Situado na Região Administrativa do Laranjal, junto ao Arroio Pelotas, o Vazio Urbano 22 (Figura 7.93) o Vazio Urbano 22 possui 29,85 ha de área territorial e é formado por solos das unidades HPa14 (97,09%) e (HG-PL)a14 (2,91%), descritas no item 7.3.11.

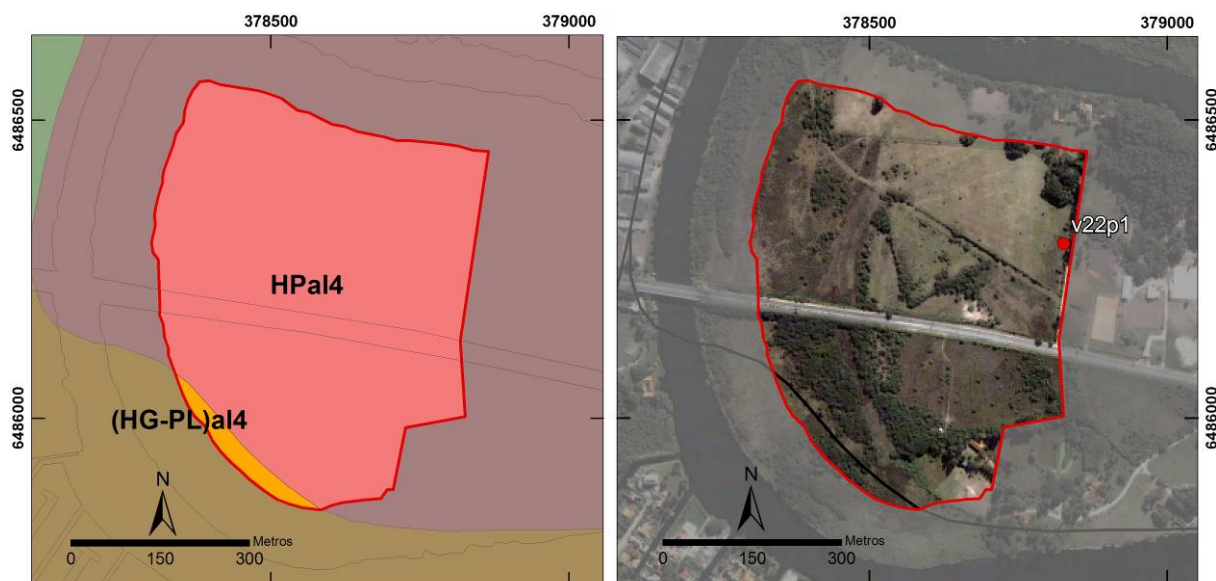




Figura 7.93 - Vazio Urbano 22: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Por estar inserido na Região Administrativa do Laranjal, somente é permitido pelo Plano Diretor edificações de até 7 m de altura. Parte do Vazio também está inserida no AEIAC do Sítio Charqueador (ver observações feitas no Vazio 16).

Com localização privilegiada, por estar situado às margens do Arroio Pelotas, em uma área de acentuado crescimento (Região Administrativa do Laranjal, especialmente junto a Avenida Adolfo Fetter) o vazio requer, para sua ocupação, cuidado especial com a drenagem superficial de seus terrenos e com a possibilidade de inundação do Arroio Pelotas. A heterogeneidade do subsolo, característica de depósitos aluviais, exige investigações mais rigorosas, em particular para obras de porte.

A Figura 7.94 mostra a parte norte do vazio no sentido nordeste-sudoeste, enquanto a Figura 7.95 mostra a mesma área no sentido leste-oeste.



Figura 7.94 – Parte norte do Vazio 22, após a vegetação que aparece ao fundo passa a Avenida Adolfo Fetter. Ponto v22p1.



Figura 7.95 – Parte norte do Vazio 22, mostrando micro depressões alagadas. Ao fundo o Arroio Pelotas. Ponto v22p1.

#### 7.4.24 Vazio 23

O Vazio Urbano 23 (Figura 7.96) situa-se na Região Administrativa São Gonçalo, junto ao Arroio Pelotas. Possuindo área territorial de 29,04 ha, o Vazio 23 é formado exclusivamente por solos da unidade (HG-PL)al4.

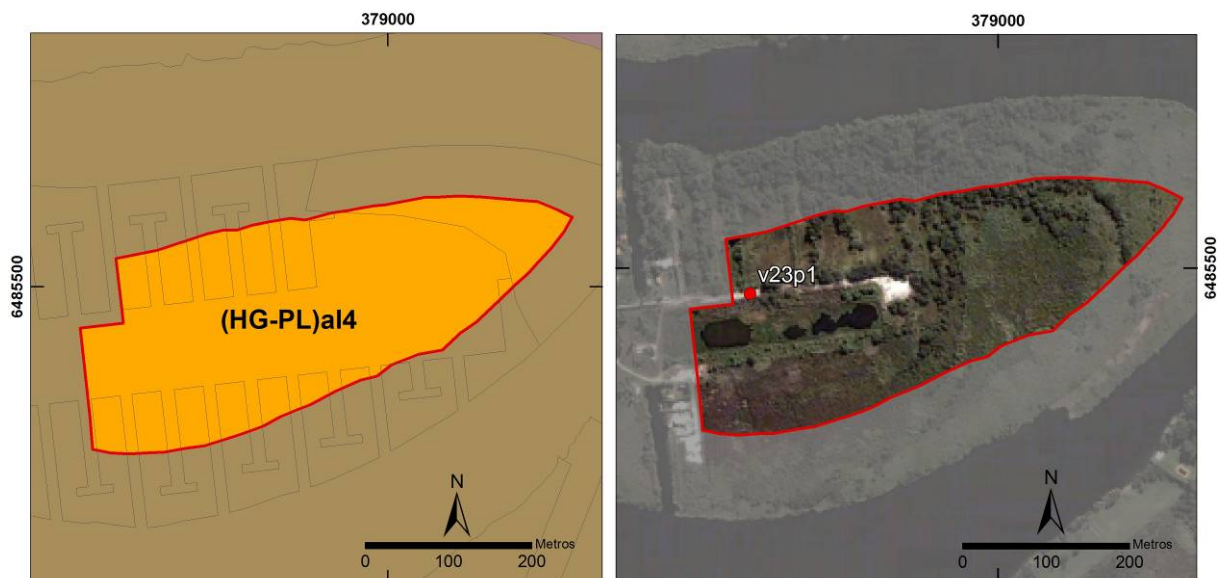


Figura 7.96 - Vazio Urbano 23: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Trata-se de uma área de expansão do loteamento de alto padrão Marina Ilha Verde, para a qual existe projeto de parcelamento aprovado a mais de duas décadas, mas que não foi executado. Como as demais áreas já loteadas, o vazio é formado por terrenos baixos alagáveis, que somente devem ser ocupados mediante cuidados com a drenagem e elevação da cota altimétrica com aterros. Como são terrenos de origem aluvial, carecem de mais rigorosa investigação geotécnica, e obras de 2 pavimentos já podem requerer fundações por estacas.

Embora se constitua de uma área de banhado, o local não foi tratado como área de interesse ambiental, fazendo parte da AEIAC do Sítio Charqueador, para as quais valem as considerações feitas para o Vazio 16, não havendo nenhum outro regramento específico.

A Figura 7.97 mostra o vazio a partir do final do Loteamento Marina Ilha Verde, com seus terrenos baixos, alagados e com vegetação nativa, e a Figura 7.98 mostra obra próxima, elevada por vigas de baldrame e aterros em pelo menos 70 cm em relação ao nível original do terreno, com fundações do tipo estaca.



Figura 7.97 – Terrenos baixos e alagados do Vazio 23. Ponto v23p1.



Figura 7.98 – Obra próxima ao Vazio 23. Ponto v23p1.

### 7.4.25 Vazio 24

Situado na Região Administrativa do Laranjal, junto ao limite do perímetro urbano, o Vazio Urbano 24 (Figura 7.99) possui 175,35 ha de área territorial, e é formado unicamente por solos da unidade PVp13, descrita no item 7.3.4.

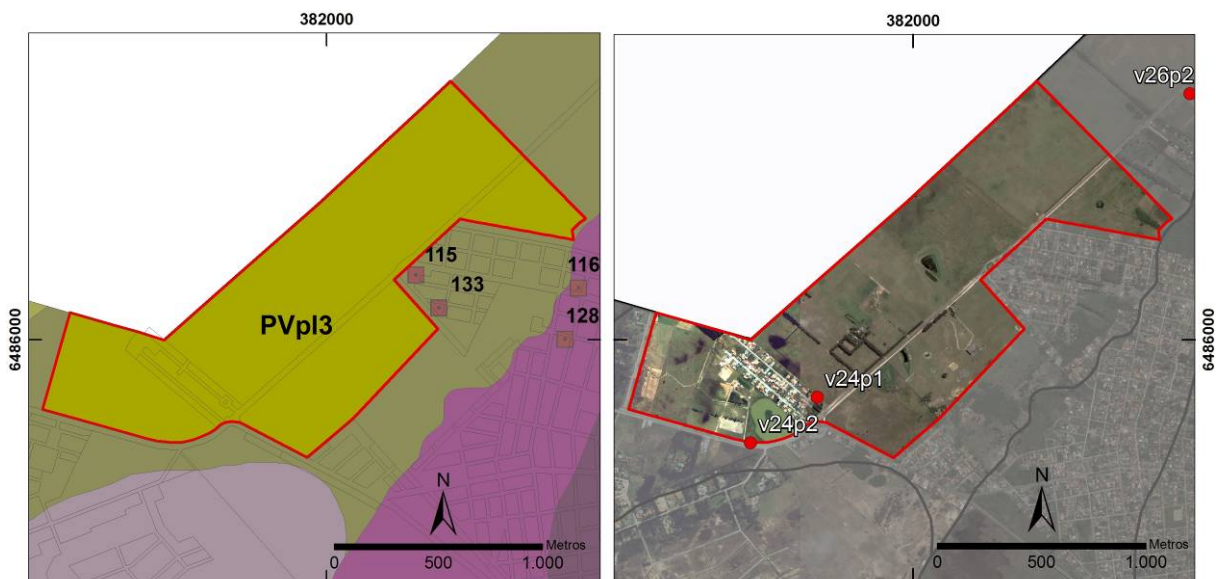


Figura 7.99- Vazio Urbano 24: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

O Vazio 24, a exemplo do Vazio 22, situa-se junto a um dos eixos estruturadores do crescimento urbano de Pelotas, a Avenida Adolfo Fetter. Formado por terrenos planos da planície lagunar pleistocênica, o vazio possui cota altimétrica em torno dos 13 m (11 m acima dos depósitos praias holocênicos vizinhos). A área apresenta algum micro relevo sobre a



forma de cristas e depressões com acúmulo sazonal de água, entretanto, pela característica arenosa, os terrenos são considerados bem drenados.

A acessibilidade do vazio, através da Avenida Adolfo Fetter é boa, assim como o nível de infra-estrutura presente (embora não exista rede de esgoto no local). Mesmo estando distante da área central, o vazio situa-se muito próximo aos balneários Santo Antônio e Valverde e de todas as estruturas de comércio e serviços ali presentes. Fazem parte da área do vazio dois loteamentos com residências de médio e alto padrão (Vila Bella e São Conrado), os quais possuem pavimentação interna (por unistein) e edificações com fundações superficiais ou por estacas broca, soluções condizentes com a boa capacidade de suporte do subsolo. Não existe nenhum tipo de rede de esgoto no local ou próximo desse.

O crescimento urbano na direção do Vazio 24, através da implantação de loteamentos de médio a alto padrão, tem se intensificado nas duas últimas décadas, constituindo-se o vazio em uma área propícia a novos parcelamentos.

Excetuando o fato de estar situado na Região Administrativa do Laranjal e, por conseguinte, somente ser possível edificar até o limite de 7 m de altura, não existe nenhum outro regramento específico para a área do vazio.

A Figura 7.100 mostra área plana e bem drenada a noroeste dos loteamentos supracitados (contígua aos mesmos), e a Figura 7.101 ilustra área deprimida do micro relevo com acúmulo de água, a oeste dos mesmos.



Figura 7.100 – Vazio 24: área plana bem drenada a noroeste dos loteamentos Vila Bella e São Conrado. Ponto v24p1.



Figura 7.101 – Vazio 24: área deprimida do micro relevo com acúmulo de água. Ao fundo aparecem os loteamentos Vila Bella e São Conrado. Ponto v24p2.

### 7.4.26 Vazio 25

O Vazio Urbano 26 (Figura 7.102) está situado na Região Administrativa do Laranjal, próximo a Barra do São Gonçalo. Possuindo área territorial de 122,54 ha, o Vazio 25 é formado por solos das unidades HPpe4 (76,14%), HPpl4 (19,43%), SKal4 (4,05%) e (HG-PL)pe4 (0,38%), descritas nos itens 7.3.10, 7.3.7, 7.3.11 e 7.3.9, respectivamente.

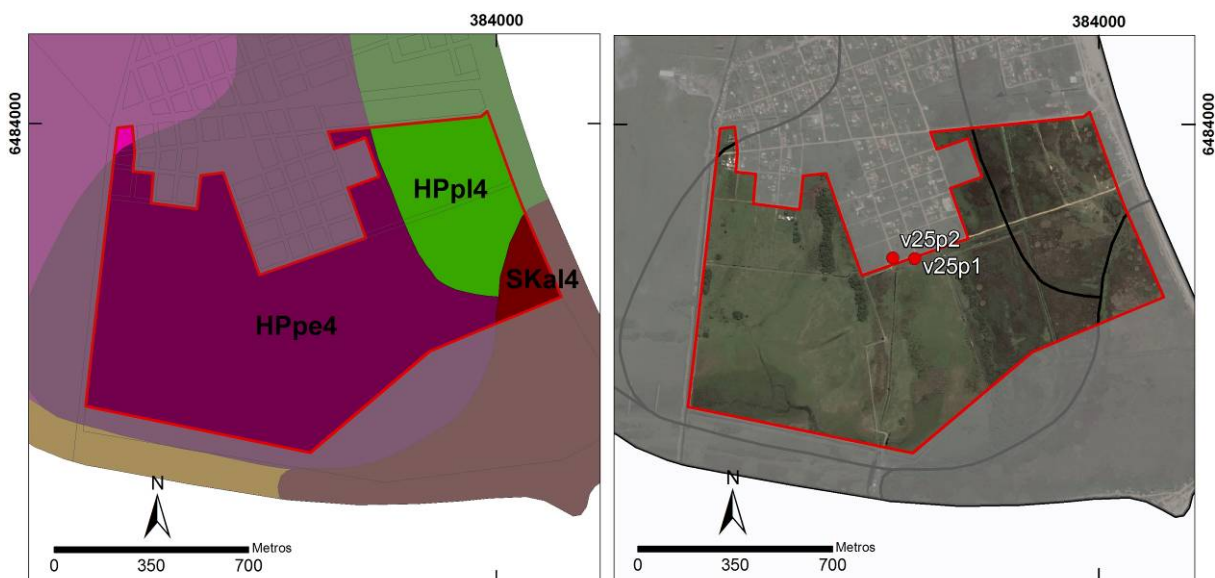


Figura 7.102 - Vazio Urbano 25: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

Trata-se de uma área baixa e alagável contígua ao loteamento Pontal da Barra, para a qual já já foi licenciado o projeto de ampliação do mesmo, que acabou não se concretizando. O Loteamento Pontal da Barra e as áreas adjacentes ao vazio não possuem ruas pavimentadas e nem rede de esgoto. A acessibilidade a área do vazio não é boa, e a centralidade do mesmo é baixa. A via que parcialmente o contorna (prolongamento da Avenida Antônio de Assumpção Junior), além de não possuir pavimentação, é frequentemente atingida pelas águas da Laguna dos Patos quando há cheias pela elevação de seu nível, ficando por vezes totalmente obstruída.

O Loteamento Pontal da Barra sofre com sérios problemas de alagamento por ocasião de precipitações pluviométricas intensas. Também há problemas de drenagem superficial dos terrenos, por conseguinte, a ocupação do Vazio 25 somente deve ser feita mediante a adoção de medidas para solução dos problemas de drenagem já vigentes. Grandes volumes em aterro são necessários para elevação das cotas das vias e lotes.

Além da altura máxima de 7 m para as edificações, não há regramento específico para a área do vazio no Plano Diretor.

A Figura 7.103 mostra os campos planos e baixos do Vazio 25, vistos a partir do seu limite com o loteamento Pontal da Barra. A Figura 7.104 apresenta terrenos do Loteamento Pontal da Barra com acúmulo de água devido a problemas de drenagem.

Além dos sérios problemas de drenagem, os solos das unidades presentes podem apresentar estratos com baixa capacidade de suporte, requerendo aprofundamento das fundações, para obras de porte variado.



Figura 7.103 – Vazio 25 visto a partir do Loteamento Pontal da Barra. Ponto v25p1.



Figura 7.104 - Acúmulo de água nos terrenos do Loteamento Pontal da Barra, próximo ao Vazio 25. Ponto v25p2.

#### **7.4.27 Vazio 26**

Situado na Região Administrativa do Laranjal, próximo ao Vazio 24, o Vazio Urbano 26 (Figura 7.105) possui 173,48 ha de área territorial, e é formado por solos das unidades PVp13 (79,57%) e PLp13 (20,43%), descritas nos itens 7.3.4 e 7.3.3, respectivamente.



Figura 7.105 - Vazio Urbano 26: unidades geotécnicas e pontos de sondagem (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita).

O Vazio 26 situa-se as margens da Avenida Adolfo Fetter, logo após ao Vazio 24 (no sentido sudoeste-nordeste), estendendo-se até o limite nordeste do Balneário dos Prazeres. É composto por terrenos da planície lagunar pleistocênica, altos (cota média de 7 m), planos, com pequenas depressões, usados, em sua maior parte, para pastagem (a noroeste da Avenida Adolfo Fetter, conforme mostrado na Figura 7.106). A sudoeste da Avenida Adolfo Fetter, pode ser observada a rua principal de um loteamento que teve sua implantação interrompida (Figura 7.107).

O acesso ao vazio se dá exclusivamente pela Avenida Adolfo Fetter (pavimentada), e não existe nenhum tipo de rede de esgoto no local ou áreas próximas.

As características geotécnicas dos terrenos frente à ocupação assemelham-se muito às referidas ao Vazio 24.



Figura 7.106 – Terrenos planos com micro relevo abaciado do Vazio 26. Ponto v26p1.



Figura 7.107 – Vazio 26: rua pavimentada em unistein de loteamento interrompido. Ponto v26p2.

## Capítulo 8 – CONCLUSÕES

---

O acelerado e desordenado<sup>11</sup> crescimento das cidades costeiras no Brasil é causa de uma série de desequilíbrios ambientais, de riscos a população e de um excessivo ônus ao poder público. O planejamento urbano desempenha um papel fundamental na ordenação do território municipal, sendo sua tarefa vocacionar as diferentes áreas do território, dando-lhes destinação adequada conforme suas características físicas e ambientais. Para tanto, é necessário o uso de instrumentos que auxiliem na identificação das potencialidades, vocações e fragilidades do meio planejado, de forma que as diretrizes, planos e demais documentos resultantes do processo de planejamento sejam capazes de promover o uso racional do solo. Entre as diversas ferramentas para aquisição, representação e interpretação de aspectos do meio físico, o mapeamento geotécnico é sem dúvida uma das mais importantes no que se refere ao planejamento territorial urbano. O conhecimento das características dos horizontes superficiais de solos e do substrato geológico dos diferentes terrenos, além de ser um subsídio fundamental à tomada de decisão no processo de planejamento, é valioso na implantação de obras de engenharia.

Além da necessidade de dados acerca do meio físico, o custo de aquisição dessas informações necessárias ao planejamento e, mais especificamente, ao mapeamento geotécnico é um problema comumente enfrentado pelas administrações municipais. Desta forma, o estudo e desenvolvimento de metodologias para aplicação do mapeamento geotécnico como instrumento de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação dos solos (objetivo central da presente dissertação), que aproveitem e otimizem o emprego dos dados disponíveis sobre o meio físico, tem sua importância acentuada.

Também é importante o uso de tecnologias que permitam o armazenamento e o processamento rápidos e eficientes das inúmeras informações necessárias ao processo de mapeamento geotécnico e a geração de documentos derivados do mesmo. O

---

<sup>11</sup> O termo “desordenado” é utilizado como referência a um crescimento “não planejado”.



geoprocessamento e as ferramentas a ele associadas, tais como o SIG, a modelagem numérica de terreno, a classificação de imagens de satélite, entre outros, constituem um poderoso recurso para a manipulação de dados espaciais, servindo tanto para a elaboração e representação dos mapas, como para inúmeras análises sobre esses, e sobre os dados que lhes deram origem.

A abordagem adotada, qual seja: direcionar as análises e os estudos geotécnicos para as áreas de expansão urbana visou, além de otimizar os esforços de mapeamento e análise, fornecer dados mais específicos para as áreas efetivamente disponíveis ao crescimento da cidade, em detrimento das áreas ocupadas e consolidadas, de forma a auxiliar na ordenação desse crescimento.

A metodologia estudada partiu da prospecção de dados geográficos de diversas fontes, disponíveis e necessários a consecução das demais etapas (chamados de dados primários). Para estruturação e armazenamento de grande parte desses dados foi utilizado o *software* SIG ArcGIS da ESRI, o qual se baseia em um modelo de dados orientado-a-objetos. Os dados referentes às sondagens do tipo SPT foram armazenados em um banco de dados relacional desenvolvido para esse fim (através do *software* Access). A utilização do SIG possibilitou uma manipulação rápida e eficiente dos dados, permitindo diversos cruzamentos e a geração de informações derivadas dos dados primários. O banco de dados das sondagens SPT foi fundamental na manipulação, análise e geração de relatórios sobre os dados a elas relacionados, bem como facilitou o uso das informações constante dos boletins e sondagens no SIG através da importação das coordenadas dos pontos das sondagens e de tabelas contendo a classificação do material, nível d'água e  $N_{SPT}$ .

Logo a seguir, foi realizado um estudo do crescimento urbano, como forma de determinar a sua direção e sentido, e delimitar as áreas efetivamente disponíveis a expansão da cidade (vazios urbanos). O estudo foi realizado através do SIG, que facilitou a criação de séries histórico-espaciais as quais levaram a compreensão da dinâmica temporal de crescimento espacial da cidade, o que possibilitou a determinação dos vetores de crescimento. Para tanto, foi utilizada uma metodologia simplificada que se utilizou do cruzamento de dados que em geral fazem parte do acervo das prefeituras ou estão ao alcance destas. Diversos são os tipos de dados que podem ser utilizados para esta tarefa, sendo que o presente trabalho tratou de alguns deles sem, no entanto, ser exaustivo de todas as possibilidades.

A delimitação das áreas sujeitas à ocupação e uso devido ao crescimento urbano é eficaz como etapa prévia ao mapeamento geotécnico detalhado, otimizando esforços e evitando análises desnecessárias em áreas de baixo potencial de ocupação.

Utilizando técnicas de modelagem numérica de terrenos, processamento e classificação de imagens digitais de satélite, além de recursos do SIG, foram gerados dados derivados dos primários, utilizados nas etapas subseqüentes da metodologia. Entre eles destaca-se o Mapa de Relevo, que não só foi usado em diversas análises como permitiu, na etapa seguinte, a retificação, o refinamento e a redefinição de limites de classes nos mapas pedológicos e geológicos. Parte dessa etapa de edição e formatação dos dados, com vistas à estimativa das unidades geotécnicas, foi realizada em ambiente CAD, o que possibilitou um ajuste perfeito dos limites coincidentes entre as classes pedológicas e geológicas, facilitando seu posterior cruzamento no SIG.

Na sétima etapa foi gerado, com base na metodologia desenvolvida no LAMGEO/UFRGS/UFSC e publicada por Davison Dias (1995), o Mapa de Estimativas das Unidades Geotécnicas. Nesse processo foi utilizado o recurso de intersecção de *feature classes* (classes de feições) do ArcGis que permitiu a geração automática do mapa através do cruzamento das classes pedológicas e geológicas, o que é feito tanto nas geometrias como nas tabelas de atributos das mesmas.

Por fim, na última etapa da metodologia, foram cruzadas e caracterizadas as unidades geotécnicas e os vazios urbanos. Igualmente nessa etapa, os recursos disponíveis no SIG foram de grande valia. A possibilidade de se armazenar e cruzar sobre uma mesma base, com uma única referência geográfica, dados em diversos formatos, provenientes de fontes igualmente diversas, assim como extrair informações quantitativas e descritivas dos dados, facilitou enormemente a tarefa de análise e caracterização das unidades e dos vazios.

Como resultado da aplicação da metodologia ao município de Pelotas, na sua fase inicial (etapa 1) foram prospectados: dois mapas cartográficos básicos, ambos em formato digital; três fontes digitais de dados altimétricos (curvas de níveis e pontos cotados); um mapa de delimitação de bacias hidrográficas; cinco mapas temáticos do meio físico (mapa pedológico, dois mapas geológicos, mapa geomorfológico, mapa de infra-estrutura municipal); diversos mapas e dados digitais acerca da ocupação do território (185 poligonais de loteamentos, 95

poligonais de conjuntos habitacionais, 3 mapas cadastrais); cinco mapas digitais sobre a legislação urbana (3º Plano Diretor); três imagens de satélite; um conjunto de fotografias aéreas; um mosaico de imagens; uma grade regular (imagem de radar); e três mapas do município em formato pdf.

Na etapa dois, o SIG foi estruturado através de uma *geodatabase* (base de dados geográfica) com sete *features datasets* (conjuntos de feições), contendo ao todo vinte e nove *feature classes* (classes de feições) e três *tables* (tabelas independentes). Além dos dados da *geodatabase*, foram associadas ao SIG: três matrizes temáticas (banhados, relevo, declividade); uma grade regular (MNT); duas imagens de satélite; e uma imagem RGB (áreas alagáveis). Na terceira etapa foi estruturado o Banco de Dados de Sondagens, contendo no total 38 sondagens SPT da zona urbana.

O estudo do crescimento urbano (etapa 4) resultou na definição de quatro vetores de crescimento e na delimitação de 26 áreas potenciais à ocupação (vazios urbanos). Todos os vazios foram objeto de levantamento de campo, no qual foram apuradas suas características físicas e ambientais e foram realizados registros fotográficos com apoio de GPS, totalizando 117 fotos tomadas. Com a aplicação da metodologia foram mapeados 54 km<sup>2</sup> de áreas urbanas sujeitas à ocupação futura. Considerando que a mancha urbana da cidade é de aproximadamente 77 km<sup>2</sup> (40% da área urbana) e que, portanto, Pelotas possui aproximadamente 115 km<sup>2</sup> de áreas não utilizadas ou subutilizadas (já excluídos os corpos d'água), o mapeamento efetuado resultou em uma diminuição de 47% das áreas a serem analisadas quanto às suas características geotécnicas e capacidade de uso dos solos, ficando assim demonstrada a aplicabilidade da metodologia proposta.

Através do cruzamento e processamento dos dados altimétricos primários (524.483 pontos) foi gerada, na quinta etapa da metodologia, o Modelo Numérico de Terreno (MNT), o qual, além de possibilitar a visualização tridimensional do relevo, deu origem aos mapas de declividade, de isodeclividades, de relevo e de zonas alagáveis. Também nessa etapa foi gerado o mapa de zonas de banhados, por meio da classificação supervisionada de imagem do satélite SPOT5. Na sexta etapa foi georreferenciado e digitalizado um mapa geológico, refinados os limites de 13 classes pedológicas e 8 classes geológicas, feitas 4 generalizações taxonômicas e retificados os limites de 4 classes pedológicas e 5 classes geológicas.

Na sétima etapa foram gerados o Mapa Geológico e o Mapa Pedológico finais, caracterizadas 13 unidades pedológicas e 8 unidades geológicas. Através do cruzamento desses dois mapas foi gerado o Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas, contendo 23 unidades, as quais foram quantificadas em termos de área territorial e caracterizadas em seus principais atributos.

Na etapa final foram cruzados os vazios urbanos com as unidades geotécnicas, e caracterizadas as 17 unidades que compõem o território dos vazios, representados os perfis típicos de 9 dessas unidades (para as quais havia dados de sondagens SPT), e caracterizados os 26 vazios urbanos mapeados. Para essa última caracterização foram geradas, através do cruzamento dos dados no SIG, 60 imagens ilustrativas, e utilizadas 61 fotografias.

Com base nos resultados quantificados acima, chega-se aos seguintes principais diagnósticos e recomendações:

a) Na Região Administrativa do Fragata, o Vazio 2 é propício ao uso industrial, com acesso pela rodovia BR 392, mas deve ser tomadas medidas para resolução dos problemas relativos à drenagem e fundações. O Vazio 4 é propício e indicado a ocupação residencial com a extensão do sistema viário local, mas sobre os terrenos da unidade HGpl4 devem ser tomadas precauções em relação à drenagem e à capacidade de suporte. O Vazio 3 é propício e indicado a instalação de indústrias e grandes serviços, mas assim como no caso do Vazio 4, devem ser tomados cuidados em relações aos terrenos da unidade HGpl4.

b) Na Região Administrativa da Barragem, o Vazio 1 é propício e indicado a ocupação industrial, depósitos e grandes serviços sobre terrenos da unidade PLpl4, com acesso pelas rodovias BR 392 e 116, desde que adotados os cuidados referentes à drenagem e capacidade de suporte. Sobre terrenos da unidade PLcv já existem ocupações e loteamentos populares, que somente devem ser ampliadas mediante melhora da acessibilidade (dificultada pela BR 116) e melhora das condições de infra-estrutura. A unidade HGal4, baixa, alagável e com restrições geotécnicas, não deve ser ocupada, e sim mantido seu uso agrícola atual.

c) Na Região Administrativa do Centro, o Vazio 12, por sua centralidade, acessibilidade e excelente infra-estrutura local, é propício e indicado a densificação e/ou uso comercial de grande porte, desde que avaliado os impactos sobre o sistema viário. Cabe destacar que os terrenos impescidem de critérios mais rigorosos de projeto para fundações e drenagem, carecendo de volumes significativos de aterros para elevação das cotas de lotes e vias. A ocupação do Vazio 7 é de grande risco, devido a sua baixa cota altimétrica e a proximidade do

Canal Santa Bárbara, além das restrições geotécnicas pertinentes aos terrenos da unidade HGpl4.

d) Na Região Administrativa das Três Vendas os vazios 9 e 10 são propícios e indicados a implantação de indústrias de médio e grande porte, com acesso pela rodovia BR 116. O Vazio 8 é propício e indicado a instalação de indústrias, depósitos e serviços de grande porte, pela rodovia BR 116 e Avenida Leopoldo Brod, e serviços e comércio de pequeno e médio porte que não conflitem com o uso residencial, pela Avenida Fernando Osório. No Vazio 11, segue o observado para o Vazio 8, pela Avenida Fernando Osório, Rua Clio Fiori Duck, Avenida Leopoldo Brod e Avenida Zeferino Costa (da Rua Clio Fiori Duck até o limite do Loteamento Pestano) o vazio é propício ao uso misto (residencial, pequenos e médios comércios e serviços, pequenas indústrias), para além do limite do Loteamento Pestano, a ocupação do vazio implica em custos para extensão da infra-estrutura necessária. O Vazio 15 é propício e indicado a ocupação por loteamentos e/ou conjuntos habitacionais populares, dotados de pequenos comércios e serviços. A ocupação do Vazio 17 implica em melhoria na infra-estrutura local, e devido a sua baixa centralidade deve ser evitado o parcelamento para uso residencial. A metade sudeste do Vazio 5 é propícia e indica a expansão das ocupações residenciais próximas, com ligação ao sistema viário existente. A parte noroeste, por questões ambientais e geotécnicas, não deve ser densificada e/ou ocupada por atividades que causem impacto ao meio físico. No Vazio 6, sobre a unidade PLp12, segue o observado para a metade sudeste do Vazio 5, a ocupação dos terrenos da unidade HGpl4 corre o mesmo risco da ocupação do Vazio 7, as duas áreas juntas, por sua localização e características físicas poderiam ser utilizadas, mediante cuidados especiais com a drenagem, para implantação de equipamentos urbanos, como por exemplo, um grande parque.

e) Na Região Administrativa do Areal, o Vazio 21 possui características rurais e sua ocupação demandaria um elevado custo de extensão da infra-estrutura, devendo ser evitada a curto e médio prazo. Os vazios 14 e 18 são propícios e indicados a ocupação residencial (por loteamentos e/ou conjuntos habitacionais) conjugada a serviços e comércios de pequeno e médio porte. A parte noroeste do Vazio 20 é propícia e indicada à extensão das ocupações e loteamentos populares vizinhos, com igual extensão do sistema viário local e/ou instalação de equipamentos e áreas públicas. A parte sudeste se presta a densificação por uso residencial conjugado a pequenos serviços e comércios, e/ou instalação de equipamentos e áreas públicas, desde que atentadas as restrições geotécnicas decorrentes dos terrenos da unidade (HG-PL)p14

e definido um regramento específico para a área de interface com a Charqueada Santa Rita. O Vazio 13, devido à sua localização e aos altos níveis de acessibilidade e infra-estrutura, é indicado a densificação e/ou implantação de grandes comércios.

f) Na Região Administrativa do São Gonçalo, o Vazio 16 é propício e indicado a densificação por loteamentos e/ou conjuntos habitacionais populares, desde que atendidas as restrições geotécnicas (drenagem e capacidade de suporte) decorrentes dos terrenos da unidade (HG-PL)pl4. O Vazio 19, devido à sua localização e à infra-estrutura presente em sua face norte, é indicado para densificação (na área marginal a avenida Ferreira Viana) por verticalização e/ou loteamentos e conjuntos habitacionais. Da mesma forma, os projetos destes devem atentar aos limitantes geotécnicos dos solos da unidade (HG-PL)pl4. A parte mais próxima ao Canal São Gonçalo, é propícia e indicada à implantação de um parque urbano (inexistente na cidade). A ocupação do Vazio 23 é de risco devido à baixa cota altimétrica e às restrições geotécnicas dos solos da unidade (HG-PL)al4, sendo indicado para implantação de área verde comunitária, inexistente no Loteamento Marina Ilha Verde.

g) Na Região Administrativa do Laranjal, o Vazio 22, com os devidos cuidados em relação à drenagem e capacidade de suporte dos solos da unidade HPal4, é propício tanto ao parcelamento, como a implantação de área pública que possibilite a população acesso a Arroio Pelotas, cuja margem é toda ela ocupada por imóveis particulares. O Vazio 24 é propício e indicado a implantação de loteamentos residenciais associados a pequenos comércios e serviços. A ocupação do Vazio 25 é de risco, devendo ser preservada sua função de retenção e drenagem por infiltração no solo das águas das chuvas. O Vazio 26 por ser vizinho ao Balneário dos Prazeres, possuindo boa infra-estrutura local, é propício a ocupação por loteamentos residenciais.

Espera-se que o presente trabalho possa servir como um instrumento de apoio aqueles que trabalham com o planejamento urbano ou pesquisas ligadas ao disciplinamento do uso e ocupação do solo devido ao crescimento das cidades costeiras. Recomendam-se novos estudos em relação aos atributos físico-ambientais dos vazios mapeados, e a ampliação do banco de sondagens SPT, com novos boletins. Indica-se o uso de geoestatística para avaliação dos dados das sondagens, como por exemplo, o nível d'água. Devido à falta de informações em vários boletins utilizados não foi possível uma avaliação confiável dessa propriedade.



Também é recomendada a ampliação das análises sobre os vazios urbanos, com a inclusão de dados sócio-econômicos locais e do valor da terra, abarcando as dimensões política e econômica as descrições dos vazios urbanos.

## REFERÊNCIAS

BASTOS, G. **Estruturação de banco de dados a partir do mapeamento geotécnico aplicado à região de Ribeirão Preto (SP)**. 2005. 306f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BOTELHO, M. F.; RIBEIRO DA SILVA, C.; SCHOENINGER, E. R. Comparação dos resultados de interpoladores “Vizinho mais próximo” e “Inverso de uma distância” no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. **Anais do...** Goiânia: INPE, 2005, p. 731-736.

BRASIL. Lei 7.661 de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Disponível em: <[www.senado.gov.br](http://www.senado.gov.br)>. Acesso em: 20 out. 2006.

BRASIL. Estatuto da Cidade: Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana. Disponível em: <[www.senado.gov.br](http://www.senado.gov.br)>. Acesso em: 20 out. 2006.

BRASIL. Decreto 5.300 de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Disponível em: <[senado.gov.br/legislação](http://senado.gov.br/legislação)>. Acesso em: 20 out. 2006.

BURKERT BASTOS, C. A. **Mapeamento e Caracterização Geomecânicas das Unidades Geotécnicas de Solos Oriundos dos Granitos, Gnaisses e Migmatitos de Porto Alegre**. 1991. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BURKERT BASTOS, C. A.; ALVES, A. M. L. Mapeamento Geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2., 1996, São Carlos. **Anais do...** São Carlos: IBGE, 1996. p.19-27.

BURKERT BASTOS, C. A.; DIAS, R. D.; VALENTE, A. L. S. Mapa Geotécnico de Solos. In: ATLAS Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998, p. 45-46.

BURKERT BASTOS, C. A. et al. Mapeamento de Unidade Geotécnica como Subsídio a Formação de um Banco de Dados Geotécnico Georreferenciado para o Município de Rio Grande/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 11., 2005, Florianópolis. **Anais do...** Florianópolis: ABGE, 2005.

CALDASSO, A.L.S.; RODRIGUES, T.L.N; BACHI, F.A; VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. & DEHNHARDT, B.A. (2000) **Carta Geológica 1: 250.000 da Folha de Pelotas, RS (SH.22-Y-D)**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Cooperação CPRM/UFRGS/CECO. Dezembro de 2000.

CÂMARA, G. Modelos, **Linguagens, e Arquiteturas para Banco de Dados Geográficos**. 1995. 264f. Tese (Doutorado em Computação) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: BANCO de Dados Geográficos. Curitiba: Mundo Geo, 2005, p. 11-52.

CÂMARA, G. e DAVIS, C. Introdução. In: INTRODUÇÃO à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2003. p.1-5. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2009.

CÂMARA, G. e FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica de terreno. In: INTRODUÇÃO à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2003. p.1-5. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em 29 jan. 2009.

CAMARGO, M.N.; KLAMT,E.; KAUFFMAN,J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da SBCS**, Campinas, v.12, p.11-33, 1987.

CARVALHO, A. B. P e OZÓRIO, C. P. Avaliação Sob os Banhados no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.1, n.2, p. 83 a 95, 2007. Disponível em: <[http://ww1.unilasalle.edu.br/rbca/v2\\_06.pdf](http://ww1.unilasalle.edu.br/rbca/v2_06.pdf)> Acesso em: 30 ago. 2009.

CREPANI, E. e MEDEIROS, J. S. **Imagens Fotográficas Derivadas de MNT do Projeto SRTM para Fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia**. INPE, São José dos Campos, 2004. 39p.

COSTA, S. M.; SANCHES, R. Crescimento Urbano e Meio Ambiente: Uma Abordagem Metodológica Utilizando Geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais do...** São José dos Campos, INPE, 2001. p.1081-1088.

CUNHA, N. G. e SILVEIRA, R. J. C. **Estudo dos solos do município de Pelotas**: EMBRAPA/CPACT. Pelotas: UFPel, 1996. 54p.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C.; SEVERO C. R. S. Solos e Terras do Planalto Sul-Rio-Grandense e Planície Costeira. **Circular Técnica Embrapa CPACT**. Pelotas, 2006. 43p.

DAVISON DIAS, R. D. Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais. In: **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, p.51-55, 1995.

DAVISON DIAS, R.; HIGASHI, R. R.; MARTINS, K. P. Sistema de Informações Geotécnicas do Norte do Rio Grande do Sul. In: III SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 3., 2002, Porto Alegre. **Anais do...** Porto Alegre: Pallotti, 2002. p. 197-202.

DAVISON DIAS, R.; MILITITSKY J. Metodologia de Classificação de Unidades e Perfis Geotécnicos Desenvolvida na UFRGS. **Revista Solos e Rochas**. Vol 17, n. 2, 1994.

DELANEY, P. J. V. **Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície do Rio Grande do Sul**. Escola de Geologia de Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1965. 105 p.

DEMARQUI, E. N. Modelagem de Dados Geográficos. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Mato Grosso. Disponível em: <[http://www.unemat-net.br/prof/foto\\_p\\_downloads/sig\\_aula7.pdf](http://www.unemat-net.br/prof/foto_p_downloads/sig_aula7.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2009.

DISCONZI, P. et al. Levantamento Ambiental do Pontal da Barra, Pelotas – RS, para Estudos de Impactos. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UFPEL, 17., 2008, Pelotas. **Anais do...** Pelotas: UFPel, 2008, p. 1-4. Disponível em: <[http://www.ufpel.edu.br/cic/2008/cd/pages/pdf/CE/CE\\_01176.pdf](http://www.ufpel.edu.br/cic/2008/cd/pages/pdf/CE/CE_01176.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006, 306p.

ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **Using ArcMap**. New York, 2000. 528p.

FARION, S. L. R. **Crescimento urbano e as alterações ambientais no município de Tramandaí - litoral norte do estado do Rio Grande do Sul: análise geográfica com ênfase nas diferenciações espaciais**. 2007. 151f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FERREIRA DOS SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 16-56.

FUCKNER, M. A. Aplicações do sensoriamento remoto no estudo do crescimento urbano. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/geu\\_fuckner.htm](http://www.dsr.inpe.br/geu_fuckner.htm)>. Acesso em: 20 mai. 2008.

HIGASHI, R. R.; DAVISON DIAS, R. Implantação de um banco de dados georreferenciado com informações pedológicas e geotécnicas de perfis típicos de alteração do Planalto Riograndense do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 5., 2004. **Anais do...** São Carlos: UFSCar, 2004. p.493-500.

HIGASHI, A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. 2006, 486f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HORN FILHO, N. O. ; PORTO FILHO, E.; FERREIRA, E. Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira adjacente à enseada dos Currais, SC, Brasil. **Gravel**, Porto Alegre, v. 2, p. 25-39, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento dos Recursos Naturais: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Volume 33. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico 2000. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 out. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Estimativas das populações residentes, em 1º de julho de 2008, segundo os municípios. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02 fev. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Mapa de Distribuição da População 2000. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas\\_doc1.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas_doc1.shtm)>. Acesso em 02 fev. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS- INPE. SPRING: Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html)>. Acesso em: 30 ago. 2009.

LABORATÓRIO DE TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA. Apostila de ArcGIS. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 159f.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à Geologia de Engenharia**. Santa Maria: Editora da UFSM; Brasília: CPRM, 1994. 284p.

MANFRA JR, C. S. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente SIG**. 2007. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) de Mestrado. Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MARTH, J. D., KOESTER, E., ARNDT. A. L. Mapa Geológico-Geomofológico do Município de Pelotas, RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2008, Pelotas. **Anais do...** Pelotas: UFPel, 2008. p. 1-4.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2.ed. Belo Horizonte: Autora, 2005. 294p.

NAKAMURA, J. C. S. e NOVO, E. M. L. M. Mapeamento da mancha urbana utilizando imagens de média resolução: sensores CCD/CBERS2 e TM/Landsat 5 – estudo de caso da cidade de Rio Branco – Acre. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiania. **Anais do...** Goiana: INPE, 2005. p.3843-3850.

NETO, J. P. Q. Geomorfologia e Pedologia. Disponível em: <[http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp13/Geosp13\\_Queiroz.htm](http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp13/Geosp13_Queiroz.htm)>. Acesso em: 26 fev. 2009.

ORTIZ, J. L. Geoestatística. Disponível em: < <http://www.gpsglobal.com.br/Artigos>>. Acesso em: 22 nov. 2006.

PEDRO, R. e CHAMBEL, S. Descrição do ensaio SPT e respectivas limitações. Aplicações em SIG e cartas geotécnicas. Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/ensaio-spt>>. Acesso em: 12 mar. 2009.

PELOGGIA, A.U.G. Discussão sobre a atual cartografia geotécnica do município de São Paulo e suas possíveis aplicações. **Revista Brasileira de Geociências**, 26(4), p.315-319, 1996.

PELOGGIA A. U. G. Deve Haver um Método para a Cartografia Geotécnica? Discussão Metodológica acerca da Cartografia Geotécnica em algumas de suas Modalidades mais Difundidas. **Revista Brasileira de Geociências** 27(2), p. 199-206, 1997.

PEREIRA, G. C. Dados Geográficos: Aspectos Tecnológicos. In: \_\_\_\_\_. **Dados geográficos: aspectos e perspectivas**. Salvador: Quarteto, 2002. p.85-89.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, 247p.

PIUMETTO, M. Conceptos básicos de Sistemas de Información Geográfica. In: Sistemas de Información Geográficas aplicados a Estudios Urbanos. Disponível em: < <http://lincolninst.edu/education>>. Acesso em: 20 mar. 2006.

POLIDORI, M. C. Crescimento urbano e ambiente – um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia) Programa de Pós-graduação em Ecologia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

PELOTAS. Lei nº 2.565, de 1º de setembro de 1980. Institui o II Plano Diretor de Pelotas. Disponível em: < <http://www.pelotas.com.br>>. Acesso em: 20 mai. 2008.

PELOTAS. Anteprojeto de lei do 3º Plano Diretor de Pelotas. Disponível em: <[www.pelotas.com.br](http://www.pelotas.com.br)>. Acesso em 25 out. 2006.

PELOTAS. Decreto nº 4.629, de 7 de maio de 2004. Declara a existência de situação anormal, caracterizada como situação de emergência, em área do Município afetada por desastre natural denominado enchente ou inundação gradual. Disponível em <[www.pelotas.com.br](http://www.pelotas.com.br)>. Acesso em 20 set. 2009.

QUARTAROLI, C. F., BATISTELA, M. Classificação Digital de Imagens de Satélite: Tutorial Básico. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/publica/serie.html>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

RAMOS, F. R., CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M. V. Territórios Digitais Urbanos. In: GEOINFORMAÇÃO em urbanismo: cidade real x cidade virtual. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 34-53.



RIGATTI, D. Loteamentos, Expansão e Estrutura Urbana. Relatório Final de Pesquisa. Programa de Pós-graduação em Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

RODRIGUES FILHO, L. C. S. S. Bacias hidrográficas: nova gestão de recursos hídricos. Assessoria Especial do Meio Ambiente – Área de Planejamento. BNDES, 1998.

ROSA, M. **Geografia de Pelotas**. Pelotas: UFPel, 1985. 333p.

ROTARY CLUB PELOTAS NORTE. Saneamento básico na cidade de Pelotas: situação atual e prioridades. Relatório de consultoria Rotary Club Pelotas Norte, 2001.

SANTOS DA SILVA, C. S. Inundações em Pelotas/RS: O Uso de Geoprocessamento no Planejamento Paisagístico e Ambiental. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, T. G; DIAS, R. D.; LIMA, C. JR. MACCARINI, M. Mapa Geotécnico e a avaliação do comportamento mecânico dos solos de Florianópolis, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA 2.,1996, São Carlos. **Anais do...** São Carlos: IBGE, 1996. p. 71-78.

SCHLEE, R. L. ; CIMARA C. M. Conflitos Socioambientais de Pelotas. In: NOSSA História, Nossa Geografia, Nossas Lutas. Pelotas: 2004.

SECRETARIA DA COMISSÃO INTERDISCIPLINAR PARA RECURSOS DO MAR - SECIRM. Disponível em: < <http://www.mar.mil.br/secirm/inwel.htm>> . Acesso em: 25 out. 2006.

SILVA, J. G. A forma urbana em Pelotas: Evolução morfológica e análises espaciais. Relatório final de Pesquisa. Pelotas, 2004. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas.

SILVA, K. M.; CALDAS, N. V.; ALMEIDA, J. S. A zona rural do III Plano Diretor de Pelotas-RS. In: Congresso de Direito Urbano-Ambiental, 2006, Porto Alegre. **Anais do ...**, Porto Alegre: CORAG, 2006. p.202-214.

SILVEIRA T.; PORTUGAL, J.; MARQUES DE SÁ, L. Métodos para geração de modelos digitais do terreno: estudo de caso João Pessoa-PB. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 3.,2008, Fortaleza. **Anais do....** Fortaleza, 2008.

SOUZA, G. B. Uso de sistemas de informação geográfica para o zoneamento Geotécnico do Município de Feira de Santana – BA, **Sitientibus**, Feira de Santana, n.23, p.113-136, 2000.

SPECHT, L. P. SPT- Standard Penetration Test. Material de apoio à disciplina de Fundações. Disponível em: <<http://www2.unijui.tche.br/~specht/fund/aula3.pdf>> . Acesso em 12 mar. 2009.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização**. 5. ed. São Paulo: Contexto, 1994. p.11-15.

SPOT IMAGE The SPOT Family. France: Spot Image, 2003. Disponível em: <[www.spotimage.com.au/](http://www.spotimage.com.au/)>. Acesso em: 14 nov. 2003.

STRECK, E. V.; N. KAMPF; R. S. D. DALMOLIN, ET AL. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2008. 222p.

TAGLIANI, C. R. A. **A mineração na porção média da Planície Costeira do RS: Estratégia para gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado**. 2002. 248f. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

TAGLIANI, C. R. A.; VICENS, R. S. Mapeamento da Vegetação e Uso do Solo nos Entornos da Laguna dos Patos, RS, Utilizando Técnicas de Processamento Digital de Imagens do SIG Spring. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais do...**, Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1461-1468.

TERAMOTO, E. R., LEPSCH, I. F., VIDAL TORRADO, P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do Ribeirão Martins (Piracicaba – SP). **Scientia Agricola**. v.58 n.2, p.361-371, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n2/4429.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2009.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p.375-406.

VALENTE, A. L. S. Desenvolvimento de uma Metodologia para Planejamento Urbano, Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto, Modelagem Numérica de Terreno (MNT), e Sistema de Informações Geográficas (SIG). 1995. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

VALENTE, A. L. S. Integração de dados por meio de geoprocessamento, para elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana. 1999. 391f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VALÉRIO FILHO, M.; COSTA M. A.; PEREIRA, M. N.; SERAFIM, C. R. Geotecnologias Aplicadas no Monitoramento do Crescimento Urbano em Áreas de Risco à Erosão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 12., 2004, Florianópolis. **Anais do...** Florianópolis, UFSC, 2004.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J.. **Geologia do Rio Grande do Sul**, Notas Técnicas do CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre, 1995, v. 8. p.1-45

UNESCO – IAEG 1976. **Guide pour la préparation dès cartes géotechniques**. Paris: Les Press de l'Unesco.

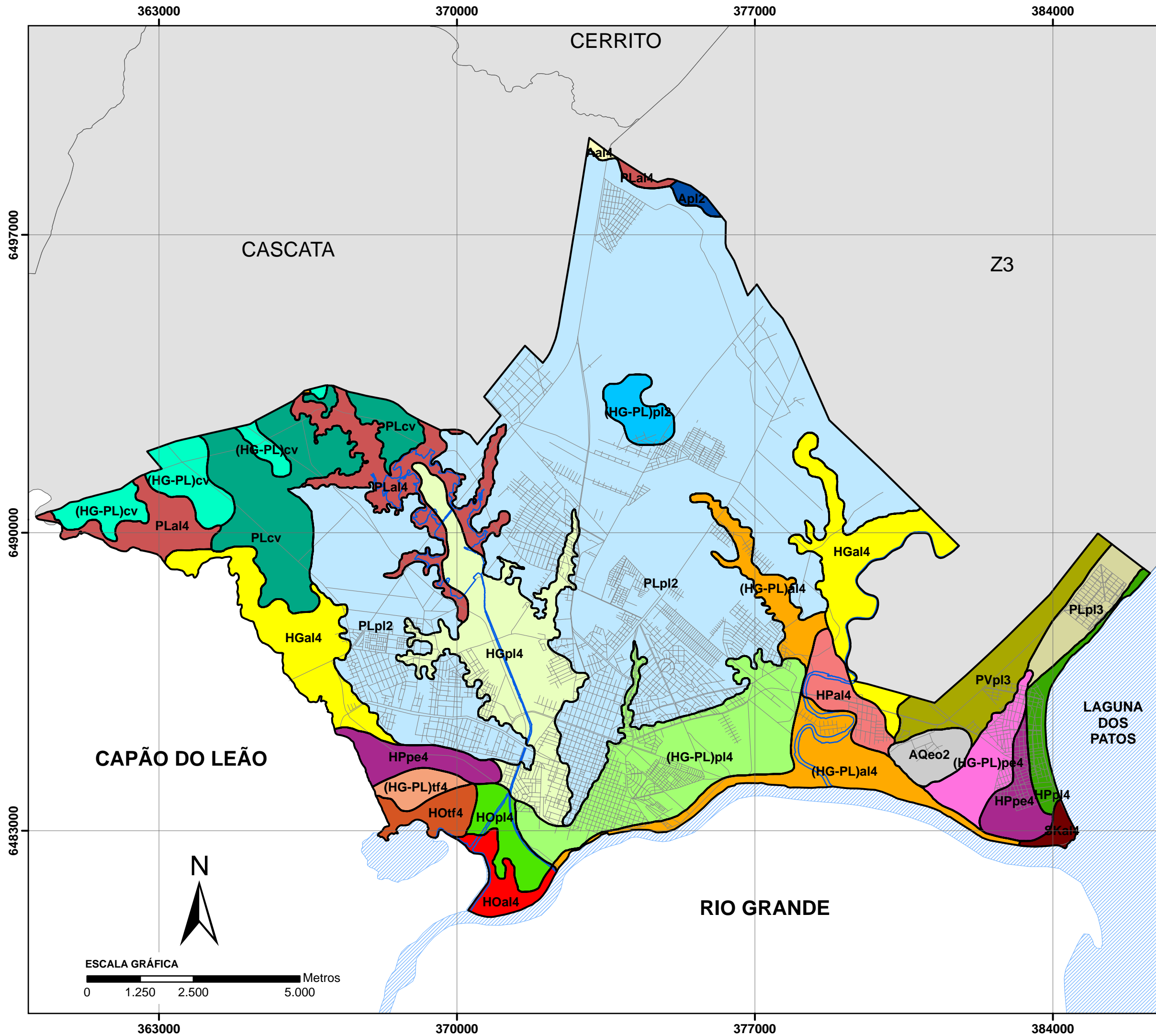
XAVIER, S. C. **O Solo Criado no Urbanismo e no Direito Urbanístico Brasileiro**. 2004. Monografia (Conclusão do Curso de Direito). Faculdade de Direito, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: \_\_\_\_\_. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. cap. 17, p.283-300.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N.; PEJON, O. J. O Mapeamento geotécnico na previsão e prevenção de riscos geológicos em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1., 2000, São Paulo, **Anais do...** São Paulo: ABGE, 2000. p. 305-315.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 190p.

## **ANEXOS**



**LEGENDA**

**Unidades Geotécnicas**

**Depósitos Aluviais**

- (HG-PL)al4
- Aal4
- HGal4
- HOal4
- HPal4
- PLal4
- SKal4

**Depósitos Colúvio Aluviais**

- (HG-PL)cv
- PLcv

**Depósitos Eólicos**

- AQeo2

**Depósitos Praiais Eólicos**

- (HG-PL)pe4
- HPpe4

**Depósitos de Planície Lagunar 2**

- (HG-PL)pl2
- Apl2
- PLpl2

**Depósitos de Planície Lagunar 3**

- PLpl3
- PVpl3

**Depósitos de Planície Lagunar 4**

- (HG-PL)pl4
- HGpl4
- HOpl4
- HPpl4

**Turfas**

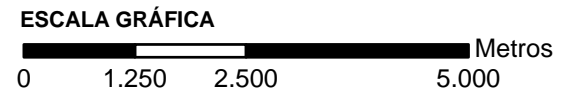
- (HG-PL)tf4
- HOtf4

**MAPA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS**

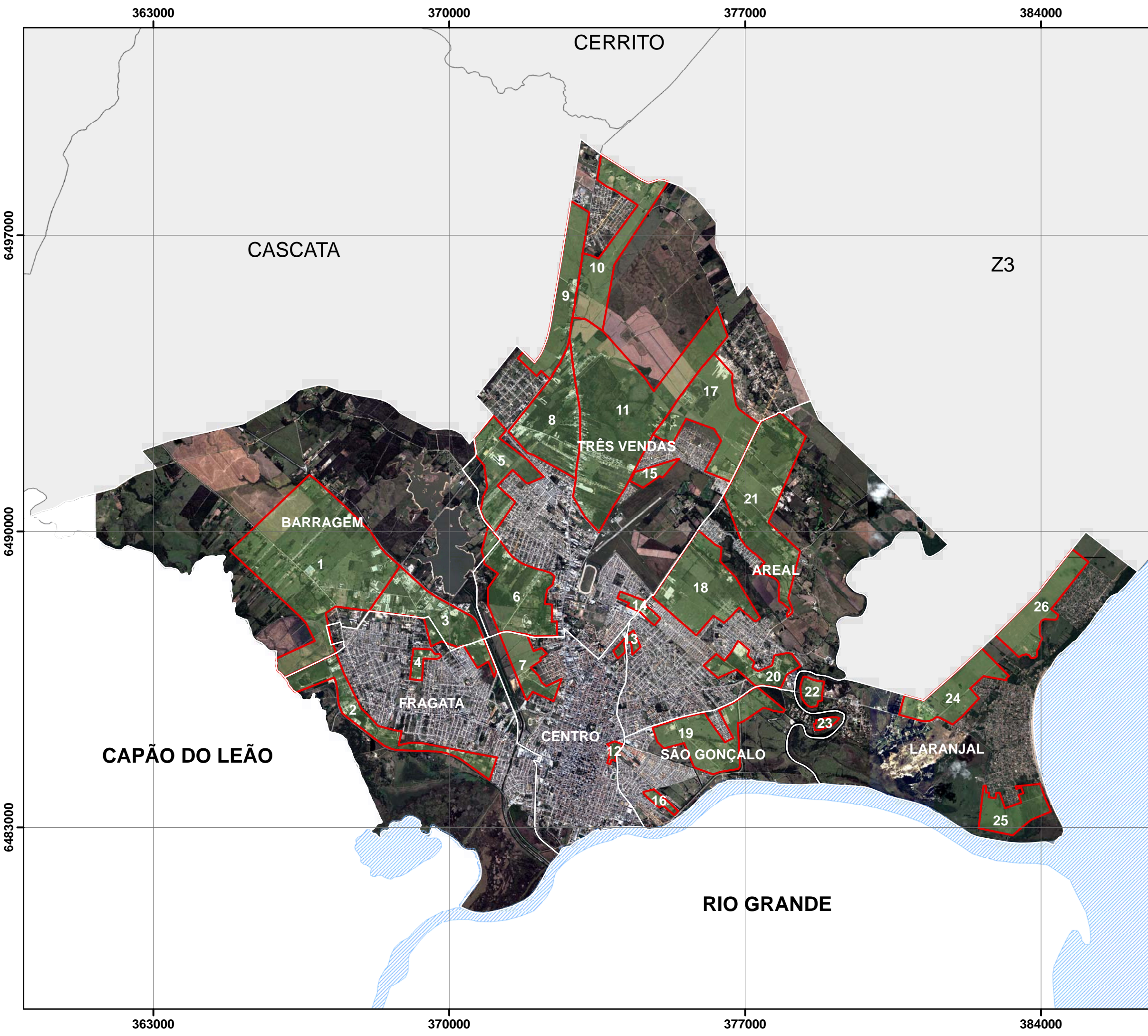
Xavier, S. C., 2010

Base cartográfica  
Mapa Urbano Básico - PMPel

Projeção UTM - SAD 69      Escala 1/85.000







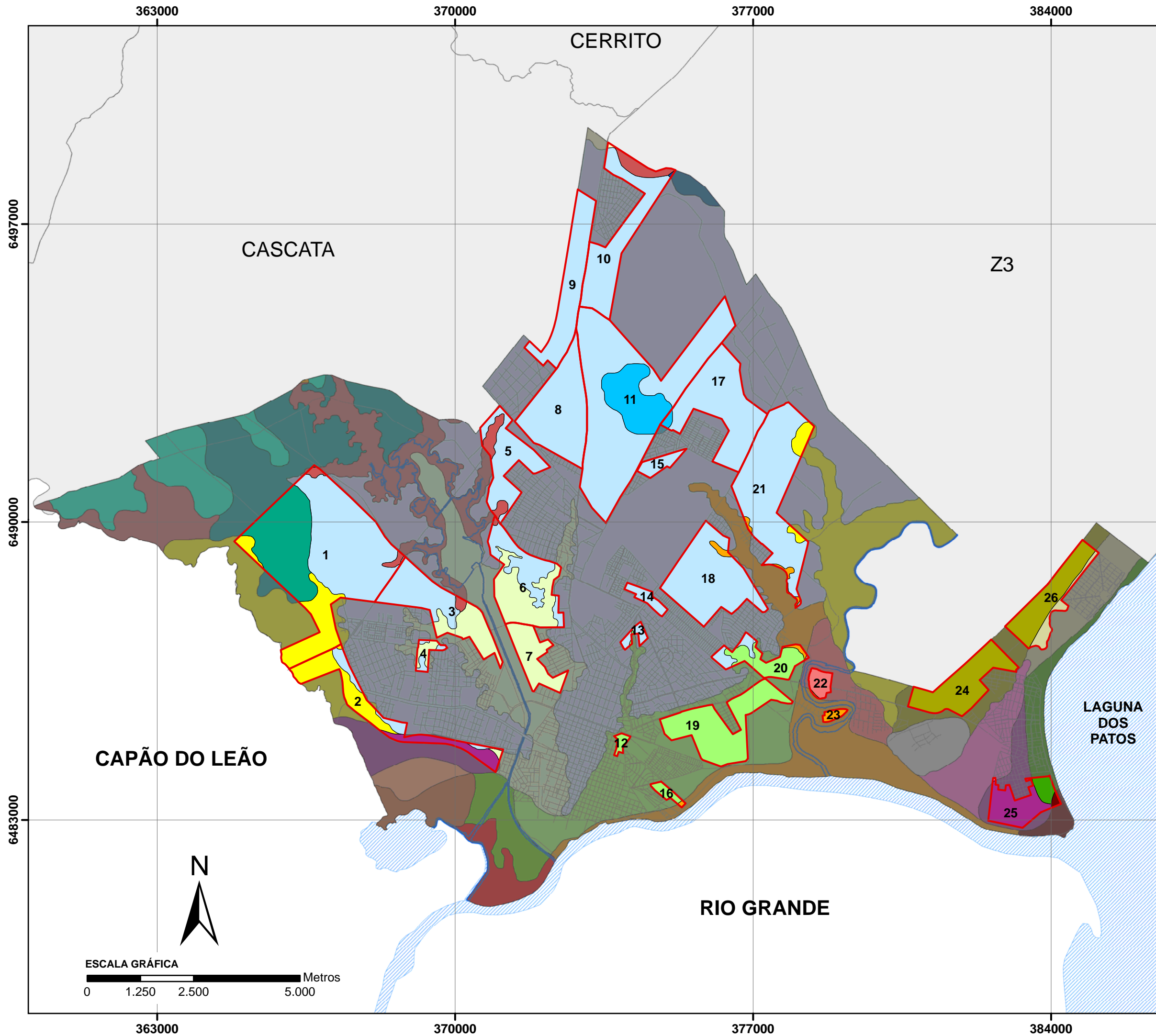
**LEGENDA**

- Regiões Administrativas
- Vazios Urbanos

Imagem de fundo: Satélite QuickBird, ano 2006  
 Fonte: PMPel, DigitalGlobe

<b>VAZIOS URBANOS</b>	
Xavier, S. C., 2010	
Base cartográfica Mapa Urbano Básico - PMPel	
Projeção UTM - SAD 69	Escala 1/85.000





**LEGENDA**  
**Unidades Geotécnicas**

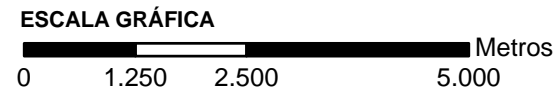
- Depósitos Aluviais**
- (HG-PL)al4
  - Aal4
  - HGal4
  - HPal4
  - PLal4
  - SKal4
- Depósitos Colúvio Aluviais**
- PLcv
- Depósitos Praiais Eólicos**
- (HG-PL)pe4
  - HPpe4
- Depósitos de Planície Lagunar 2**
- (HG-PL)pl2
  - Apl2
  - PLpl2
- Depósitos de Planície Lagunar 3**
- PLpl3
  - PVpl3
- Depósitos de Planície Lagunar 4**
- (HG-PL)pl4
  - HGpl4
  - HPpl4
- Vazios Urbanos**

**VAZIOS URBANOS e UNIDADES GEOTÉCNICAS**

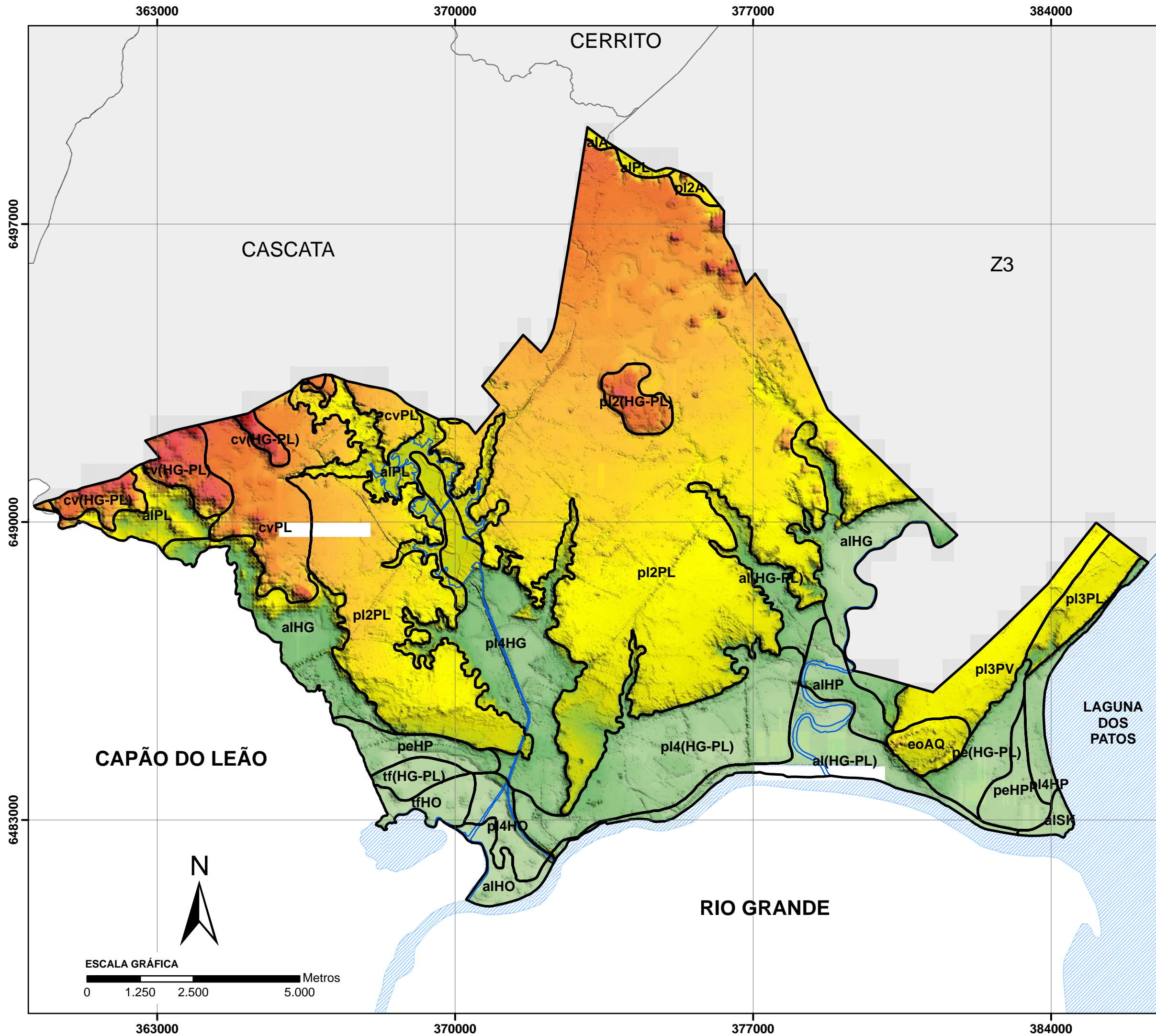
Xavier, S. C., 2010

Base cartográfica  
 Mapa Urbano Básico - PMPel

Projeção UTM - SAD 69      Escala 1/85.000



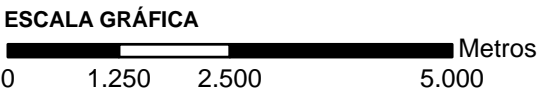
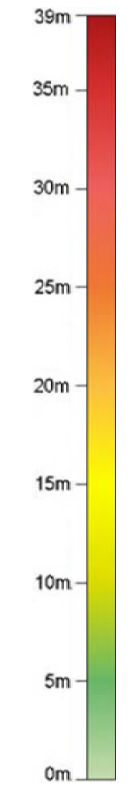




**LEGENDA**

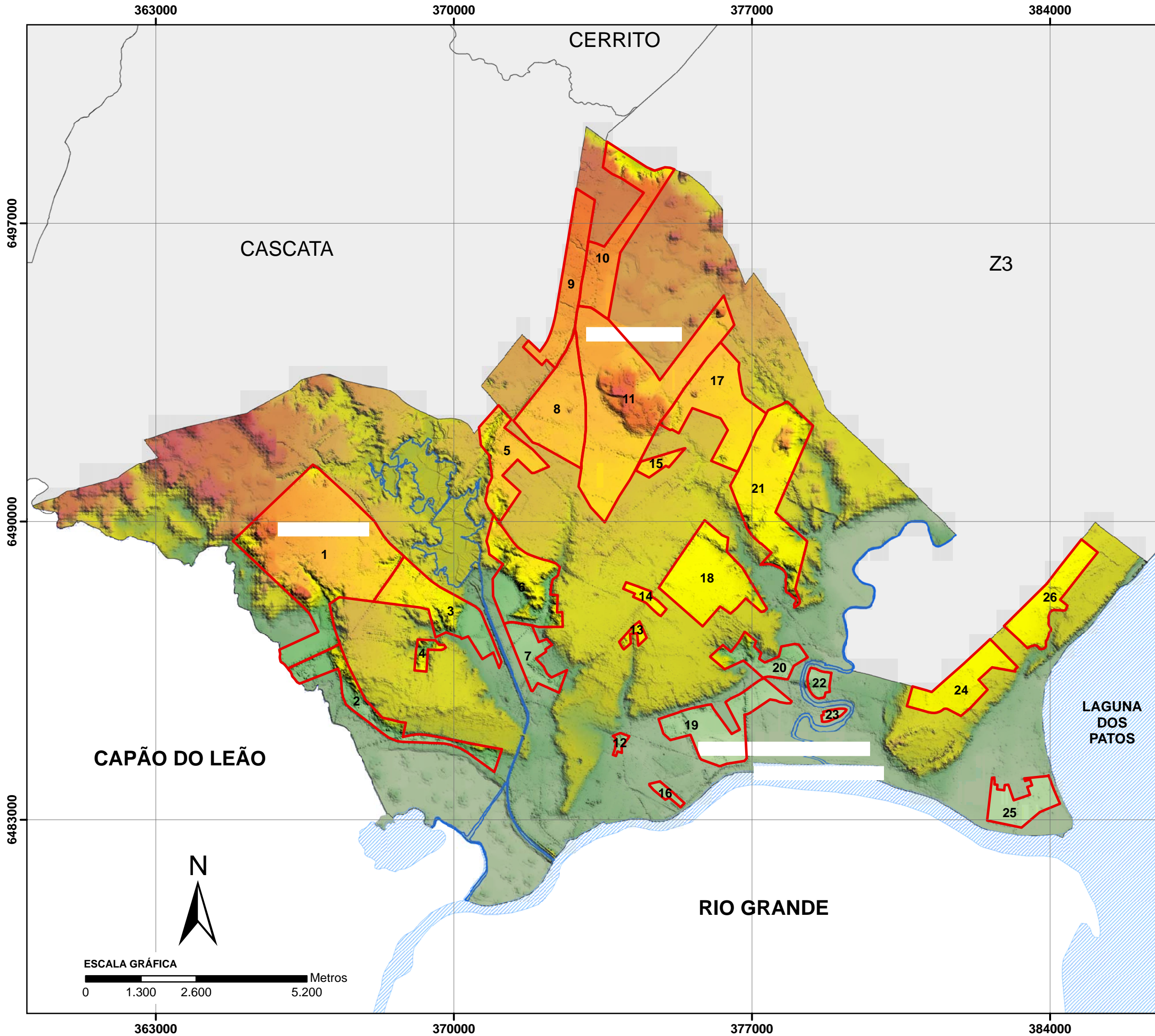
Vazios Urbanos

**ESCALA ALTIMÉTRICA**



<b>UNIDADES GEOTÉCNICAS e ALTIMETRIA</b>	
Xavier, S. C., 2010	
Base cartográfica Mapa Urbano Básico - PMPel	
Projeção UTM - SAD 69	Escala 1/85.000

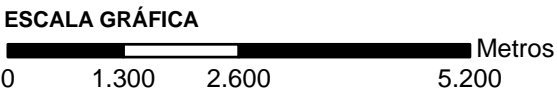
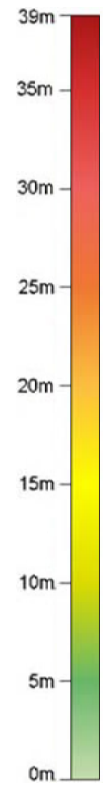




**LEGENDA**

 Vazios Urbanos

**ESCALA ALTIMÉTRICA**



<b>VAZIOS URBANOS e ALTIMETRIA</b>	
Xavier, S. C., 2010	
Base cartográfica Mapa Urbano Básico - PMPel	
Projeção UTM - SAD 69	Escala 1/85.000