Campus de São Carlos

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTECNICA DO
MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO-RS PARA FINS
DE PLANEJAMENTO COMO SUBSÍDIO AO
PLANO DIRETOR
VOLUME I

AUTOR: DANI LUIZ COLLAÇO

ORIENTADOR: PROF. DR. NILSON GANDOLFI

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DO
MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO-RS PARA FINS DE
PLANEJAMENTO COMO SUBSÍDIO
AO PLANO DIRETOR
(VOLUME I)**

Dani Luiz Collaço

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para a obtenção do título
de Mestre em Geotecnia

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Nilson
Gandolfi**

DEDALUS - Acervo - EESC

31100037125

São Carlos
2002

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 12.11.102

Ass:.....

[Handwritten signature]

✓

Class.	TESE-EESC
Cutt.	1571
	V.I
Tombo	T0250/02
Sysno	R77163

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C697c Collaço, Dani Luiz
Caracterização geológico-geotécnica do município de
São Leopoldo – RS para fins de planejamento como
subsídio ao plano diretor / Dani Luiz Collaço. -- São
Carlos, 2002.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.

Área: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Gandolfi.

1. Meio físico. 2. Planejamento urbano.
3. Características geológicos-geotécnicas. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Geólogo **DANI LUIZ COLLAÇO**

Dissertação defendida e julgada em 09-09-2002 perante a Comissão Julgadora:

_____
Prof. Tit. **NILSON GANDOLFI (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

_____
Prof. Tit. **JOSÉ EDUARDO RODRIGUES**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

_____
Prof. Dr. **REINALDO LORANDI**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

_____
Prof. Assoc. **LAZARO VALENTIN ZUQUETTE**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

_____
Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

_____
Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

SUMÁRIO

VOLUME I

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	iii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	iv
RESUMO.....	v
<i>ABSTRACT</i>	<i>vi</i>
1 - Introdução.....	1
1.2 - Objetivos.....	2
2 - Revisão Bibliográfica.....	3
2.1 - Introdução.....	3
2.2 - O Mapeamento Geotécnico no Planejamento Urbano e Regional.....	4
2.3 - Princípios e Critérios do Mapeamento Geotécnico.....	7
2.4 - Escalas Adotadas no Mapeamento Geotécnico.....	9
2.5 - Técnicas Utilizadas no Mapeamento Geotécnico.....	12
2.5.1 - Sensoriamento Remoto.....	12
2.5.2 - Fotointerpretação.....	13
2.5.3 - Métodos Geofísicos.....	15
2.5.4 - Sondagens Mecânicas, Ensaio de Laboratório e de Campo.....	17
2.5.5 - Avaliação e Manuseio de Dados Pré-Existentes.....	18
2.5.6 - Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	20
2.5.6.1 - As Estruturas dos Sistemas de Informações Geográficas.....	20
2.5.6.2 - Banco de Dados Geográficos.....	22
2.5.6.3 - Representação de Dados em Mapas.....	23
2.5.6.4 - Aplicação do SIG no Mapeamento Geotécnico.....	23
2.5.7 - "Landforms".....	24
2.5.7.1 - Avaliação do Terreno.....	25

2.5.7.2 - "Landforms" e os Níveis Hierárquicos.....	26
2.5.7.3 - O Zoneamento dos Níveis Hierárquicos.....	26
2.5.7.4 - Aplicação da Avaliação do Terreno para fins Geotécnicos.....	27
2.5.7.5 - Evolução das Formas do Relevo em Clima Tropical.....	28
2.6 - Perfis de Alteração.....	29
2.6.1 - Fatores de Formação dos Perfis de Alteração.....	30
2.6.2 - Material de Origem.....	31
2.6.3 - Textura e Estrutura.....	31
2.6.4 - Relações Solo x Relevo x Clima.....	32
2.6.5 - Tempo.....	33
2.6.6 - Processos de Formação dos Solos.....	34
2.6.6.1 - Processos Pedogenéticos.....	34
2.6.6.2 - Processos do Intemperismo.....	35
2.6.7 - Perfil de Alteração dos Solos.....	37
2.6.8 - Critérios/Atributos para Reconhecimento do Perfil de Alteração.....	38
2.6.9 - Fotografias aéreas e Perfis de Alteração.....	38
2.6.10 - Classificação Genética.....	39
2.6.11 - Reconhecimento em Campo.....	40
2.6.12 - Solos Residuais Tropicais.....	41
2.6.13 - Perfis de Alteração x Problemas Ambientais e de Engenharia.....	42
2.7 - Tópicos das Principais Metodologias Aplicadas ao Planejamento Urbano.....	44
2.7.1 - Metodologia da IAEG (International Association of Engineering Geology).....	44
2.7.2 - Metodologia Francesa.....	45
2.7.3 - Metodologia da (Ex) Tchecoslováquia.....	46
2.7.4 - Metodologia PUCE (Pattern Unit Component Evaluation).....	48
2.7.5 - Metodologia de ZUQUETTE (1987 e 1993).....	52
3 - Características da Área.....	59
3.1 - Localização e Vias de Acesso.....	59
3.2 - A Fundação de São Leopoldo.....	61

3.3 - Trabalhos Realizados na Área.....	64
3.4 - Geomorfologia Regional.....	65
3.5 - Aspectos Pedológicos.....	67
3.6 - Geologia da região.....	67
3.6.1 - Grupo Itararé (Permiano Inferior).....	68
3.6.1.1 - Formação Rio do Sul.....	68
3.6.2 - Grupo Guatá (Permiano).....	68
3.6.2.1 - Formação Palermo.....	68
3.6.2.2 - Formação Rio Bonito.....	68
3.6.3 - Grupo Passa Dois (Permiano Superior).....	69
3.6.3.1 - Formação Rio do Rastro.....	69
3.6.3.2 - Formação Estrada Nova.....	69
3.6.3.3 - Formação Irati.....	70
3.6.4 - Grupo Rosário do Sul.....	70
3.6.4.1 - Formação Sanga do Cabral.....	70
3.6.5 - Grupo São Bento (Triássico Superior - Cretáceo).....	70
3.6.5.1 - Formação Serra Geral.....	70
3.6.5.2 - Formação Botucatu.....	71
3.6.6 - Cenozóico.....	71
3.6.7 - Recente.....	71
3.7 - Cobertura Vegetal.....	72
3.8 - Elementos do Clima.....	74
 4 - Métodos e Materiais.....	 77
4.1 - Levantamento dos Dados.....	77
4.2 - Materiais Utilizados e Dados Anteriores.....	78
4.3 - Trabalhos de Campo.....	79
 5 - Documentos Gráficos Elaborados.....	 81
5.1 - Mapa de Documentação.....	81
5.2 - Carta de Declividade.....	82
5.3 - Mapa do Substrato Rochoso.....	84

5.3.1 - Grupo Rosário do Sul.....	84
5.3.1.1 - Formação Sanga do Cabral.....	84
5.3.2 - Grupo São Bento.....	86
5.3.2.1 - Formação Serra Geral.....	86
5.3.2.2 - Formação Botucatu.....	86
5.3.3 - Recente/Cenozóico.....	87
5.4 - Mapa de Formas de Relevo.....	87
5.5 - Mapa dos Materiais Inconsolidados.....	90
5.6 - Carta de Materiais de Construção e Problemas Ambientais.....	96
5.7 - Mapa de Expansão Urbana.....	101
5.8 - Carta para Disposição de Resíduos Sépticos.....	103
5.9 - Carta de Adequabilidade à Escavação.....	106
5.10 - Carta de Zoneamento Geotécnico Geral.....	108
 6 - Conclusões.....	 110
 7 - Referências Bibliográficas.....	 113

ANEXO I - Fotos

VOLUME II

ANEXO II - Documentos Gráficos

- I - Mapa de Documentação
- II - Carta de Declividade
- III - Mapa do Substrato Rochoso
- IV - Mapa de Formas de Relevo
- V - Mapa dos Materiais Inconsolidados
- VI - Carta de Materiais de Construção e Problemas Ambientais
- VII - Mapa de Expansão Urbana

VIII - Carta para Disposição de Resíduos Sépticos

IX - Carta de Adequabilidade à Escavação

X - Carta de Zoneamento Geotécnico Geral

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 3

Figura 3.1 - Mapa de localização do Município de São Leopoldo_RS na região Metropolitana de Porto Alegre-RS, modificado de METROPLAN, 1995.....60

Figura 3.2 - Mapa Geomorfológico do Rio Grande do Sul, modificado de CARRARO, 1974.....65

Capítulo 4

Figura 4.1 - Ficha de levantamento geológico-geotécnico de campo, adaptado de BARISON, 1995.....80

Capítulo 5

Figura 5.1 - Descrição de perfil de solo adaptado na área, adaptada de BACHION, 1997.....90

Figura 5.2 - Perfil típico de alteração da Unidade II.....94

Figura 5.3 - Perfil típico de alteração da Unidade III.....94

Figura 5.4 - Perfil típico de alteração da Unidade IV.....94

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 2.1 - Escalas para mapeamento geotécnico usadas na Iugoslávia, modificado de Lokin <i>et al.</i> , 1986.....	10
Tabela 2.2 – Relações entre escala e as classes de terreno, GRANT, 1975.....	10
Tabela 2.3 - Propriedades e fatores analisados por meio de elementos de imagem, modificado de CECARELLI, 1994.....	13
Tabela 2.4 - Atributos ao meio físico e métodos/técnicas geofísicas utilizadas para sua obtenção, modificado de ELIS, 1993.....	16
Tabela 2.5 - Estágios de Interpretação Quanto à Engenharia de Acordo com as Classes do Terreno, modificado de GRANT, 1975.....	51
Tabela 2.6 - Número mínimo de observações para amostragens, modificado de ZUQUETTE, 1993.....	54

Capítulo 3

Tabela 3.1 - Coluna Estratigráfica proposta por Andreis <i>et al.</i> (1984) para as folhas de São Leopoldo e Novo Hamburgo. As linhas onduladas significam contato discordante e as tracejadas contato gradacional.....	72
Tabela 3.2 - Temperatura.....	75
Tabela 3.3 - Média Pluviométrica.....	75
Tabela 3.4 - Umidade Relativa do Ar.....	75
Tabela 3.5 - Índice de Evaporação.....	76
Tabela 3.6 - Pressão Atmosférica.....	76
Tabela 3.7 - Direção predominante dos Ventos.....	76

Capítulo 5

Tabela 5.1 - Classes de Declividade em função das recomendações e/ou restrições para uso e ocupação do solo, modificada do INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993....	83
Tabela 5.2 - Processos Protocolados no DNPM para Pesquisa (P) e Licenciamento (L) mineral na área do Município de São Leopoldo.....	97
Tabela 5.3 - Tabela das Unidades de Zoneamento Geotécnico Geral.....	109

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEROSUL - Aerofotos do Sul

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

EESC/USP - Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

ENGEFOTO - Engenharia Fotogramétrica

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental

IAEG - International Association For Engineering Geology and Environmental

IG - Instituto Geológico

ITC - International Institute of Aerial Survey and Earth Sciences

L - Licenciamento

LRD - Land Resources Division

METROPLAN - Fundação Metropolitana de Planejamento

NBR - Norma Brasileira (ABNT)

P - Pesquisa

PUCE - Pattern Unit Component Evaluation

RMR - Região Metropolitana de Recife

SEMMAM - Secretaria Municipal do Meio Ambiente

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SPT - Standart Penetration Test

UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

cm - centímetro

h - hora

km - quilômetro

m - metro

mm - milímetro

N - norte

°C - graus Celsius

L - litro

s - segundos

RESUMO

Neste trabalho são apresentadas as características geológico-geotécnicas do Município de São Leopoldo-RS com a finalidade de servir como subsídio ao planejamento urbano. Foram confeccionados os seguintes documentos cartográficos: Mapa de Documentação, Carta de Declividade, Mapa do Substrato Rochoso, Mapa de Formas de Relevo, Mapa dos Materiais Inconsolidados, Carta de Materiais de Construção e Problemas Ambientais, Mapa de Expansão Urbana, Carta para Disposição de Resíduos Sépticos, Carta de Adequabilidade à Escavação e Carta de Zoneamento Geotécnico Geral. Estes documentos foram elaborados de maneira que possibilite que usuários não técnicos, políticos e planejadores tenham um conhecimento integrado dos componentes básicos do meio físico.

ABSTRACT

This study presents the geological-geotechnical characteristics of São Leopoldo City in the State of Rio Grande do Sul to be used as an assistance to urban planning. The following cartographic documents were created: Documentation Map, Slope Chart, Bedrock Map, Relief Shape Map, Unconsolidated Materials Map, Constrution Material Chart and Environmental Problems, Urban Expansion Map, Chart of Septicals Residues Disposal, Excavation Adaptability Chart and Engineering Geological Zonning Chart. The documents were written in an accessible language to non technical users, politicians and planners to provide an integrated knowledge of the environment basic components.

1 - INTRODUÇÃO

O processo de urbanização da população brasileira adquiriu uma grande intensidade a partir do ano de 1950 devido, principalmente, à industrialização e ao agravamento do êxodo rural.

Este período foi marcado por profundas transformações na estrutura econômica, social, política e demográfica do país.

Esta expansão urbano/industrial, quase sempre desordenada, fez com que regiões inadequadas fossem ocupadas, tais como áreas de risco geológico, de inundação, lençol freático sub aflorante, áreas sujeitas a ravinas e boçorocas, subsidências, etc.

A desconsideração das limitações do meio físico faz com que os governos municipais, estaduais e federal, e a sociedade como um todo, tenham altos custos na manutenção e recuperação das infra-estruturas urbanas destas áreas, associado à sensível perda da qualidade de vida das populações.

A Constituição de 1988, em seu Artigo 182, prevê a elaboração de Plano Diretor Municipal para cidades com mais de 20.000 habitantes, definindo-o como o "instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana", meio de expressão das "exigências fundamentais de ordenação da cidade" e como parâmetro para assegurar a função social da propriedade urbana.

Neste contexto, os estudos geológicos-geotécnicos servem de base ao planejamento urbano e à gestão ambiental, pois expõem as limitações e potencialidades do meio físico ao estabelecer as diretrizes do equacionamento e resolução dos problemas resultantes da inter-relação entre urbanização e meio físico.

Conhecendo-se as características do meio físico e respeitando-se as suas limitações, é possível que sua utilização se faça de maneira adequada, evitando-se não apenas os danos que possam advir de eventuais ocupações, como também gastos futuros com obras corretivas.

1.2 - Objetivos

Em linhas gerais esta dissertação pretende avaliar uma série de variáveis do meio físico, determinando as suas potencialidades e limitações com a finalidade de fornecer subsídios à elaboração do Plano Diretor do Município de São Leopoldo - RS.

Como objetivos mais específicos, pode-se destacar:

- I - Definir as características geológico-geotécnicas do Município de São Leopoldo, abrangendo uma área de 103,91 km² ;
- II - Identificar os problemas decorrentes do desrespeito aos limites impostos pelo meio físico;
- III - Confeccionar mapas e cartas temáticas que subsidiem o planejamento urbano e a gestão ambiental do Município de São Leopoldo.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Introdução

O crescimento desordenado das cidades faz com que áreas inadequadas sejam ocupadas. Devido a isto, cada vez mais, estudos geológico-geotécnicos são utilizados como um instrumento ao planejamento, uso e ocupação do solo urbano.

Desta maneira, em vários países, desenvolveram-se técnicas de mapeamento geotécnico, cujo objetivo principal é o estudo do meio físico e a produção de informações através da elaboração de documentos (mapas e cartas geotécnicas).

Neste capítulo, são apresentadas algumas considerações sobre o mapeamento geotécnico no planejamento urbano e regional, seus princípios e critérios, escalas adotadas e técnicas utilizadas, assim como, os principais tópicos de metodologias aplicadas ao planejamento urbano.

2.2 - O Mapeamento Geotécnico no Planejamento Urbano e Regional

A grande expansão urbana ocorrida no final do século IX e no decorrer do século XX fez com que regiões impróprias fossem ocupadas. Em muitos países, têm-se evitado estes problemas através do mapeamento geotécnico, que permite armazenar e apresentar informações de modo que os planejadores e administradores tenham condições de avaliar criticamente seus projetos quanto ao ambiente geológico. Tal procedimento facilita o planejamento urbano e regional.

MATULA (1974) destaca a multidisciplinariedade do mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento urbano. Neste trabalho, o autor discorre sobre os riscos geológicos, destacando como problemas fundamentais os fenômenos geodinâmicos e hidrogeológicos, classificando os atributos geológicos. Para o autor,

a implantação de indústrias, rodovias e construções residenciais, freqüentemente, representam uma drástica interferência feita pelo homem no ambiente natural.

Para MATHEWSON & FONT (1974), o processo de planejamento deve compreender as seguintes fases:

- ♦ Formulação de metas e objetivos que possam ser aplicados na área planejada. A meta é o produto final ideal, ou seja, a meta geológica fundamental é "proteger a saúde, o bem-estar e a segurança da população". Os objetivos podem incluir os seguintes projetos: mapear e definir áreas onde as condições de solo, rocha e água sejam impróprias para uma urbanização segura; localizar, avaliar e identificar áreas de recursos valiosos e avaliar e testar métodos adequados para depósitos de detritos de forma segura e higiênica;
- ♦ Identificação de áreas tanto de restrições como de oportunidade: fatores que limitam e facilitam, respectivamente, o plano;
- ♦ Formulação de recomendações políticas;
- ♦ Implementação de programas para atingir as metas e objetivos.

MATHEWSON & FONT (1974) relatam a necessidade de que as informações geológicas-geotécnicas cheguem aos planejadores e políticos, de maneira que possam ser aplicadas diretamente à política administrativa de uso e ocupação dos solos.

Segundo MERLA *et al.* (1976), o objetivo do mapeamento geotécnico é transferir as informações de geologia de engenharia, na forma de um documento manuseável para ser usado por políticos e planejadores.

DEARMAN & MATULA (1976) relatam a importância da geologia de engenharia como fonte de informações para os planejadores, procurando contemplar os seguintes aspectos:

- Controle de maneira precisa do meio ambiente geológico;
- Prever mudanças induzidas pela intervenção humana;
- Elaborar sugestões para medidas mitigadoras de eventuais danos causados por processos geológicos, principalmente aqueles induzidos pela atividade antrópica.

VALLEJO (1977) considera que a grande utilidade do mapeamento geotécnico está em fornecer informações essenciais ao planejamento urbano e regional, tais como:

- ♦ Seleção do melhor ambiente para instalação urbana.
- ♦ Seleção da área mais apropriada à expansão urbana.
- ♦ Contribuição na obtenção de um plano urbano e regional que respeite e proteja o ambiente de forma econômica.
- ♦ Conhecimento prévio da assistência técnica específica durante as fases de projeto, construção e desenvolvimento de uma cidade ou região.

Segundo TOLEDO *et al.* (1978) os principais propósitos do planejamento urbano são:

- ♦ Alcançar padrões desejados e ainda não atingidos pelo sistema;
- ♦ Recuperar padrões satisfatórios de atuação do sistema;
- ♦ Manter padrões satisfatórios desenvolvidos pelo sistema;
- ♦ Fixar padrões satisfatórios em áreas desconhecidas pelo sistema.

ZUQUETE & GANDOLFI (1987b) relatam que o mapeamento geotécnico tem sido usado nos mais diferentes países como uma ferramenta que ajuda a definir e fiscalizar a ocupação territorial de regiões de maneira ajustada tecnicamente, respeitando as áreas de interesse ambiental e as condições necessárias para que a população desfrute-as sem alterar suas condições básicas de vida.

O mapeamento geotécnico fornece informações para o planejamento, tanto regional quanto urbano.

Planejamento Urbano:

- Localização de auto-pistas;
- Planejamento para desenvolvimento residencial;
- Fundações;
- Suprimento de água;
- Disposição de rejeitos industriais domésticos;
- Seleção de áreas para indústrias;
- Adaptação de edificações;

- Áreas de recreação;
- Controle de enchentes;
- Sistematização de drenagens adequadas;
- Descobrimento de possíveis jazidas minerais.

Planejamento regional:

- Localização de estradas;
- Proteção de áreas de recarga dos aquíferos;
- Construção de aterros;
- Disposição de rejeitos;
- Locais para obtenção de materiais de construção;
- Análise geral para fundações;
- Áreas agrícolas;
- Avaliação de estradas;
- Localização de sítios para reservatórios;
- Controle de erosão em áreas maiores.

Desta maneira, a cartografia geotécnica reflete, desde a avaliação dos problemas existentes até a formulação das orientações de uso, uma importante contribuição da geologia de engenharia, na medida em que melhor traduz a orientação entre as múltiplas solicitações/modificações impostas pelas obras e o meio físico afetado, suas potencialidades e limitações.

BELL (1987) discute a geologia de engenharia voltada ao planejamento na Nova Zelândia, fazendo uma avaliação dos riscos urbanos.

A degradação do meio físico é consequência da falta de uma investigação apropriada que leve em conta a adequabilidade do meio para um fim especial (KHAWLIE & GHANNAM, 1987).

ZUQUETE & GANDOLFI (1990) consideram a análise do meio físico como base para implementar as diversas formas de ocupação, vindo a se caracterizar como o procedimento mais adequado para tal fim.

Surge daí a necessidade de planejar o ambiente urbano e regional, no qual locais com más condições de substrato sejam evitados bem como fontes de recursos

naturais. Para tanto, é imprescindível o conhecimento do meio físico (FORSTER & CULSHAW, 1990).

O grande valor do mapeamento geotécnico está no prévio estabelecimento de um modelo que expresse o conjunto de recursos, de condicionantes e de fenômenos atuantes no meio físico, de modo que os mapas possam ser aproveitados efetivamente em ações disciplinadoras do uso do solo e mesmo em ações preventivas de defesa civil (PRANDINI *et al.* 1991).

2.3 - Princípios e Critérios do Mapeamento Geotécnico

Para que o mapeamento geotécnico cumpra o seu papel no planejamento urbano e gestão ambiental, há princípios e critérios que devem ser levados em conta durante a sua execução.

A IAEG (1976), no "Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation", assume como princípios gerais do mapeamento geotécnico os seguintes itens:

- ♦ Apresentar informações de modo que sejam facilmente inteligíveis por profissionais de outras áreas do conhecimento;
- ♦ Apresentar informações objetivas necessárias para avaliar aspectos geotécnicos relevantes ao planejamento regional, para que estas possam auxiliar na seleção do local e dos métodos construtivos mais apropriados à região em questão.
- ♦ Facilitar o prognóstico das mudanças no ambiente geotécnico e sugerir quando necessário medidas preventivas.

COELHO (1980) relata que para se atender os princípios básicos da cartografia geotécnica deve-se, numa primeira fase, realizar uma identificação prévia de domínios de homogeneidade, compatíveis com a escala em estudo. Numa segunda fase, realiza-se uma relação entre unidades litológicas e suas características geotécnicas.

GANDOLFI & ZUQUETE (1982) levam em conta que a carta geotécnica é uma representação onde são avaliados todos os componentes de um ambiente geológico de particular interesse para o planejamento. Os autores relacionam os

seguintes elementos do meio geológico a serem considerados para elaboração de cartas geotécnicas:

Característica das rochas e dos materiais de cobertura:

Englobam a distribuição dos materiais rochosos e de cobertura, gênese, estrutura, textura, homogeneidade e propriedades físicas e mecânicas.

Condições geodinâmicas internas:

Incluem as características associadas aos fenômenos sísmicos e vulcânicos.

Condições geodinâmicas externas:

Relacionam-se aos processos erosivos e de sedimentação, a dinâmica das encostas, os escorregamentos e os desmoronamentos.

Condições hidrogeológicas:

Demonstram o nível piezométrico, direção dos fluxos, pH, teor de sais, corrosividade e resíduos de materiais poluidores.

Condições geomorfológicas:

São importantes para o planejamento urbano, contribuem na distribuição dos equipamentos urbanos e na avaliação das áreas para fins de construção civil.

Modificações artificiais do meio físico e materiais de construção:

Identificam as ocorrências de materiais usados na construção civil e áreas de materiais de empréstimo e suas respectivas propriedades, e um levantamento dos impactos ao meio ambiente por ação antrópica.

Segundo GANDOLFI & ZUQUETE (1982), os principais fatores que influenciam na qualidade das cartas geotécnicas são:

Grau de complexidade das condições geotécnicas:

A precisão do mapeamento geotécnico depende fundamentalmente das diversas características da área, como tipos de materiais encontrados, das estruturas geológicas, da geomorfologia, da hidrogeologia, da geodinâmica, etc.

Escala do mapa:

A escala do mapa a ser adotada limita a investigação a ser realizada na região.

Número de pontos documentados:

Depende da escala, da natureza do projeto e da precisão requerida.

Tipo de mapa geotécnico:

A definição do tipo de mapa e suas características devem ser feitas de acordo com a finalidade do trabalho.

Tamanho e Forma da área:

A dimensão e forma da área estão diretamente relacionadas com o custo, tempo, quantidade de profissionais envolvidos e número de ensaios.

ZUQUETE (1987) relaciona os princípios gerais do mapeamento geotécnico como sendo:

- ♦ Os mapas geotécnicos devem apresentar as informações em uma linguagem de fácil entendimento para que possam ser utilizados por usuários não técnicos;
- ♦ O mapa geotécnico deve-se apresentar como um documento temporário, aberto a novas informações após a sua realização;
- ♦ O mapa geotécnico nunca deverá substituir uma investigação local, servindo como indicativo para a escolha de uma dada área de reconhecimento;
- ♦ O mapeamento geotécnico deve ter seus objetivos bem estabelecidos, definindo-se se os trabalhos serão realizados para um usuário específico ou para uma gama maior de usuários;
- ♦ Os atributos a serem mapeados devem ser analisados de forma criteriosa quanto à validade, ao limite de investigação, à precisão dos dados e aos intervalos estipulados.

2.4 - Escalas Adotadas no Mapeamento Geotécnico

As escalas adotadas no mapeamento geotécnico estão diretamente relacionadas com os objetivos a serem alcançados e com os produtos a serem obtidos.

LOKIN (1986) relata os intervalos de escala utilizados na Iugoslávia para planejamento. Na Tabela 2.1 estão relacionados os intervalos de escala utilizados e a finalidade do planejamento.

O autor considera que os três intervalos de escala utilizados no mapeamento geotécnico necessitam de investigações de trabalhos anteriores e de campo.

Tabela 2.1 - Escalas para mapeamento geotécnico usadas na Iugoslávia
(Lokin 1986)

Finalidade	Intervalo	Mais usada
Planejamento da República	1:200.000 a 1:100.000	1:100.000
Planejamento Regional	1:100.000 a 1:25.000	1:100.000
Planejamento Urbano	1:50.000 a 1:10.000	1:25.000

GRANT (1975) sugere uma escala para cada classe de terreno conforme a Tabela abaixo.

Tabela 2.2 – Relações entre escala e as classes de terreno (GRANT, 1975)

Classe de Terreno	Escala	Finalidade
Província	1:250.000 ou menor	Profundidade do substrato e estudos de viabilidade.
Padrão	1:250.000 a 1:50.000	Adequabilidade topográfica, escavabilidade, limites da formação superficial.
Unidade	1:50.000 a 1:5.000	Locação preferencial de estradas, aeroportos, barragens, edifícios, etc.
Componente	1:5.000 ou maior	Traficabilidade, possibilidade de enchentes, susceptibilidade a recalques, adequabilidade de áreas de empréstimo.

GIGAN (1973) relata que a metodologia francesa usa escalas entre 1:100.000 até 1:25.000 para o planejamento regional, 1:25.000 até 1:5.000 para o planejamento

local e escalas entre 1:10.000 a 1:2.000 para zoneamento de uso e ocupação dos terrenos.

A escolha da escala, segundo ROCKAWAY (1976), dependerá da natureza do ambiente geológico, ou seja, quanto maior a diversificação dos materiais maior a escala e vice-versa. O autor relata a comparação de dois mapeamentos geotécnicos realizados em uma área em St. Louis (USA), sendo um realizado na escala 1:62.000 onde foram definidas 6 unidades geotécnicas, enquanto o realizado na escala 1:24.000 apresenta 8 unidades geotécnicas.

MATULA *et al.* (1986) recomenda a escala 1:25.000 para o planejamento urbano, pois esta escala delimita as unidades favoráveis para a locação residencial, disposição de rejeitos, zonas industriais, extração de recursos minerais e áreas não favoráveis a ocupação.

MERLA *et al.* (1976) define a escala 1:25.000 como a mais adequada para o mapeamento geotécnico voltado ao planejamento urbano, relatando que ela foi amplamente utilizada na Ex-Tchecoslovaquia.

Para o planejamento global de um município, o IG (1993) indica a escala 1:50.000, devido ao seu fácil manuseio e por oferecer facilidades para a visibilidade dos elementos importantes de localização.

Segundo ZUQUETE (1993), a escolha da escala está diretamente ligada à finalidade do mapeamento. O autor propõe a seguinte divisão:

- Escala Geral/Básica: menores que 1:10.000.000
- Escala Regional: 1:100.000 a 1:25.000
- Escala Semi-detalhada/detalhe: 1:25.000 a 1:2.000

KALTERHERBERG (1990) menciona as vantagens da utilização da escala 1:25.000 no planejamento urbano ou regional devido a clareza com que define os dados. Segundo o autor, suas vantagens são maiores quando se procura:

- ♦ Avaliação de áreas para desenvolvimento residencial e industrial;
- ♦ Planejamento de rotas para serviços públicos (água, gás, luz etc);
- ♦ Avaliação dos recursos para água subterrânea ou superficial;
- ♦ Avaliação de áreas preferenciais para depósitos de lixo;
- ♦ Escavabilidade em rochas.

2.5 - Técnicas Utilizadas no Mapeamento Geotécnico

O mapeamento geotécnico cada vez mais vem utilizando técnicas alternativas de investigação geológica-geotécnica, com o objetivo de reduzir as etapas de campo, custos, número de profissionais envolvidos e como forma de preservação de informações já existentes.

2.5.1 - Sensoriamento Remoto

VENEZIAN & DOS ANJOS (1982) listam algumas das aplicações de imagens de Satélite LANDSAT para mapeamento geotécnico:

- ♦ localização de depósitos de areia, cascalho, argila e outros materiais para uso imediato na construção civil;
- ♦ planejamento urbano, uso e ocupação dos solos e transporte;
- ♦ monitoramento de água superficial;
- ♦ monitoramento de erosão, sedimentação e fraturas em áreas onde serão implantadas grandes barragens;
- ♦ contribuição para previsão de desastres naturais.

Segundo BEAMOUNT (1987), o sensoriamento remoto surge como uma importante ferramenta para o mapeamento geotécnico, pois fornece dados do meio físico de extensas áreas através da ampla cobertura oferecida pelas imagens de satélite e de radar.

NACARAJAN & SHAN (1987) destacam a importância da aplicação do sensoriamento remoto no mapeamento geotécnico principalmente no gerenciamento de fontes naturais e no monitoramento das atividades humanas no ambiente.

VEDOVELLO & MATOS (1991) descrevem uma metodologia para zoneamento geotécnico através do sensoriamento remoto, tendo como base o sistema de “Análise de Paisagens”. Esta técnica estabelece a compartimentação fisiográfica do ambiente quanto à geologia, à geomorfologia, à vegetação e a um estudo das coberturas de alteração. As propriedades químicas e físicas dos solos e das rochas

variam de acordo com o grau de intemperismo proporcionando alterações distintas e conseqüentemente, respostas espectrais diferentes.

Segundo CECARELLI (1994), a caracterização geotécnica de terrenos, por meio de técnica de sensoriamento remoto, ocorre pelas variações da litologia, relevo, solos e estruturas que são refletidas nas imagens por meio de diferenças texturais. Em cada espaço homogêneo delimitado, é possível analisar suas propriedades, por meio de elementos de imagem (Tabela 2.3). Servem como subsídio, todas as informações pré-existent de natureza geológica, pedológica e geomorfológica, bem como observações de campo.

Tabela 2.3 - Propriedades e fatores analisados por meio de elementos de imagem (Modificado de CECARELLI, 1994)

Propriedades	Fatores Analisados
Permeabilidade/Porosidade	Densidade de fraturamento e densidade de drenagem
Resistência à erosão	Formas de encosta, densidade de elementos texturais de relevo e formas de dissecação
Fraturamento	Densidade de fraturamento e “trends” de fraturamento
Tropia	Orientação dos elementos texturais de relevo e de drenagem
Espessura e natureza do material inconsolidado	Dissecação do relevo, formas de encosta, tonalidade, litologia associada

VEDOVELLO (1994) demonstra as seguintes etapas para a utilização do sensoriamento remoto:

- ♦ Compartimentação fisiográfica: é baseada na análise dos elementos texturais (relevo e drenagem) de imagens. Seus limites são determinados em função da homogeneidade da tropia e assimetria desses elementos;
- ♦ Caracterização geotécnica: tem a finalidade da obtenção do zoneamento geotécnico. Os fatores considerados previamente por análise dos critérios de fotointerpretação são: alterabilidade, declividade, tipo de material, espessura do manto de alteração e permeabilidade.

2.5.2 - Fotointerpretação

Segundo a IAEG (1976), a fotointerpretação constitui-se em uma importante ferramenta nos estudos geotécnicos, por apresentar-se como um método de avaliação rápido, barato e preciso para a apreciação inicial de grandes áreas.

BRYANT (1982) expõem as principais características das fotografias aéreas que são consideradas em estudos geotécnicos: tonalidade, textura, topografia, forma e tamanho das feições, sombreamento, diferenças de encosta e mudanças de algumas destas características com o tempo, o que possibilita a delimitação de uma área maior em zonas homogêneas menores. A técnica de fotointerpretação é utilizada para a implantação de estruturas de engenharia, planejamento de cidades, identificação de "hazards" e de recursos minerais, utilizando-se escalas de 1:20.000 para estudos regionais e, 1:200 para estudos locais.

Conforme GEOLOGICAL SOCIETY (1972) *apud* DUMBLETON (1987), as seguintes avaliações da fotogeologia são utilizadas na geotecnia:

- ♦ Exame de solos e rochas;
- ♦ Estabilidade (falhas, subsidência, taludes, corrida de massas, etc.);
- ♦ Drenagem (áreas inundáveis, pântanos, rios, etc.);
- ♦ Fontes de materiais para construção civil, etc.);
- ♦ Processos erosivos;
- ♦ Água sub-superficial (zonas de recarga, fontes, poluição, etc.);
- ♦ Reservatórios, localização de barragens;
- ♦ Rotas (estradas, oleodutos, linhas de força).

Com relação às escalas, a GEOLOGICAL SOCIETY (1972) *apud* DUMBLETON (1987) considera que para estudo detalhado de uma pequena área sejam utilizadas escalas situadas entre 1:2.500 e 1:5.000, enquanto que para a determinação de grandes feições, como grandes cidades ou áreas extensas, as melhores são as escalas situadas entre 1:10.000 e 1:20.000. Para estudos regionais e para visualização de grandes estruturas geológicas recomenda a utilização de escalas de 1:50.000 a 1:60.000.

RUEDA & MATTOS (1994) utilizam, como critério fundamental, a cartografia das unidades fisiográficas, litológicas, coberturas de alteração intempéricas e compartimentação morfoestrutural. A individualização das litologias

fornece as propriedades das rochas em termos de porosidade, resistência e anisotropia. A cobertura de alteração fornece o processo e o grau de intemperismo. As informações morfoestruturais estabelecem o tipo e grau de deformação da área.

ZUQUETTE (1987) considera as fotoaéreas, especialmente no caso do Brasil, por estar todo coberto na escala 1:60.000 e em algumas regiões em escalas maiores, de grande importância para o mapeamento geotécnico.

2.5.3 - Métodos Geofísicos

Os métodos geofísicos mais utilizados no mapeamento geotécnico, segundo a IAEG (1976), são a resistividade elétrica e os métodos sísmicos que fornecem basicamente dois tipos de informações:

- ♦ valores de certas propriedades físicas dos solos e rochas e a sua variação na área mapeada;
- ♦ profundidade e limites de solos ou rochas e profundidade do nível d'água.

A grande contribuição dos métodos geofísicos para o mapeamento geotécnico está relacionada com a rapidez de obtenção de estimativas indiretas e na preservação das condições naturais dos materiais "in situ".

As respostas geofísicas dependem do contraste de propriedades dos materiais geológicos como: densidade, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, elasticidade, radioatividade e condução térmica.

A escolha de um método geofísico leva em consideração as informações geológicas sobre a área estudada, referências sobre áreas semelhantes, medidas de propriedades físicas em amostras, topografia, perfis para testar a resposta e acesso.

DE MOOR & DE BREUK (1976) relatam que as informações de aspectos físicos do ambiente geradas por métodos de prospecção direta, como sondagens mecânicas e escavações, podem ser substituídas com vantagem por outras obtidas por sondagens geo-elétricas. A aquisição de dados de subsuperfície pelas técnicas convencionais geralmente são mais demoradas, de difícil execução e mais caras que as obtidas pelos métodos geo-elétricos. Esse tipo de investigação apresenta a

vantagem de fornecer informações de uma determinada área, ao invés de dados pontuais.

ELIS (1993) argumenta sobre a importância da geofísica na elaboração de mapeamento geotécnico apresentando uma correlação entre os métodos e técnicas geofísicas e os principais atributos do meio físico obtidos ou complementados pela geofísica aplicada (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Atributos ao meio físico e métodos/técnicas geofísicas utilizadas para sua obtenção (Modificado de ELIS, 1993)

CAMPOS DE CONHECIMENTO	ATRIBUTOS	MÉTODO/TÉCNICA GEOFÍSICA
	Profundidade do topo rochoso	- Sísmica de refração e reflexão - Sondagem elétrica vertical
	Estruturas	- Caminhamento elétrico - Polarização induzida - Sísmica de reflexão - Gravimetria e magnetometria
Geologia (substrato rochoso)	Grau de Intemperismo	- Sondagem elétrica vertical - Caminhamento elétrico - Sísmica de refração - Método eletromagnético
	Permeabilidade	- Sondagem elétrica vertical - Caminhamento elétrico - Método eletromagnético
	Litologia	- Sísmica de refração e reflexão - Sondagem elétrica vertical - Caminhamento elétrico
	Erosão	- Sísmica de refração - Sondagem elétrica vertical - Método eletromagnético
Geologia (processo)	Deposição (assoreamento)	- Sísmica de refração e reflexão - Sondagem elétrica vertical
	Sismicidade	- Sísmica de refração e geotermia - Gravimetria e magnetometria
	Subsidência	- Gravimetria - <i>Cross-hole</i> - Caminhamento elétrico - Sísmica e reflexão
	Distribuição	- Sísmica de refração e reflexão - Sondagem elétrica vertical - Caminhamento elétrico
Geologia (material não consolidado)	Permeabilidade	- Sondagem elétrica vertical - Caminhamento elétrico - Método eletromagnético
	Deformação elástica	- <i>Cross-hole/up-hole/down-hole</i> - Sísmica de refração (ondas P e S)
	Corrosividade	- Sondagem elétrica vertical - Método eletromagnético
	Características químicas	- Sondagem elétrica vertical - Método eletromagnético
Água subterrânea	Geometria do aquífero	- Sondagem elétrica vertical - Sísmica de refração e reflexão
	Características físico-químicas	- Sondagem elétrica vertical - Método eletromagnético

TAIOLI & DOURADO (1994) citam como métodos geofísicos mais utilizados em mapeamento geológico-geotécnico, no Brasil: sísmica de refração, sondagens elétricas verticais, sísmica de reflexão e ensaios “crosshole”; mais recentemente, a tomografia sísmica, ao passo que em outros países o método mais utilizado é o GPR (Ground Penetrating Radar).

Este método não tem aplicabilidade no Brasil devido a alta condutibilidade dos solos superficiais.

OLIVEIRA & MARTINS (1994) utilizaram métodos geofísicos para a delimitação de áreas de risco geológico, representado pela detecção de cavidades cársticas em subsuperfície. Tal procedimento é adotado uma vez que as áreas de percolação cárstica se mostram com baixa resistividade.

TAIOLI & DOURADO (1994) mencionam o uso da geofísica aplicada a problemas urbanos, como a detecção de vazamentos utilizando-se o método de potencial espontâneo e a avaliação de poluição industrial em zonas urbanas por meio da aplicação dos métodos elétricos e eletromagnéticos. Os autores enfatizam que é preciso um aprimoramento na comunicação entre os geofísicos, geólogos e engenheiros, com a utilização de termos únicos para a integração dos dados e interpretação dos mesmos.

2.5.4 - Sondagens Mecânicas, Ensaios de Laboratório e de Campo

Os vários tipos de sondagens mecânicas podem fornecer tanto amostras deformadas quanto indeformadas, ou ainda ter como objetivo testes “*in situ*” e instalação de aparelhos em subsuperfície. Os testes de laboratórios e de campo objetivam a determinação de propriedades básicas de solos e rochas (IAEG, 1976).

Existem três tipos de prospecção geotécnica, quais sejam: os processos indiretos, os processos semi-diretos e os processos diretos.

Os processos diretos permitem o reconhecimento do solo prospectado, mediante análise de amostras deformadas e indeformadas.

As amostras deformadas fornecem subsídios aos exames visual-táctil e são úteis na realização de ensaios de caracterização (teor de umidade, limites de consistência e granulometria, etc.).

As amostras indeformadas fornecem informações sobre as propriedades físicas do solos e rochas (resistência ao cisalhamento e compressibilidade etc.).

ZUQUETE (1987) considera que investigações de subsuperfície (sondagens) devem ser evitadas ao máximo por serem trabalhosas, exigir pessoal especializado e consequentemente onerosas. Entretanto, quando necessária, a execução deve ser a mais simples possível tanto em termos de operação de equipamentos como na obtenção dos dados, devendo ser realizadas após as investigações de superfície de modo a produzir informações de muito interesse ao mapeamento geotécnico.

2.5.5 - Avaliação e Manuseio de Dados Pré-Existentes

Para a realização do mapeamento geotécnico é necessária uma grande quantidade de informações que caracterizem o meio físico (sondagens, mapas, plantas, dados cadastrais, cartas geotécnicas, etc.). Devido a este aporte de informações é imprescindível a existência de um banco de dados com informações obtidas em trabalhos anteriormente executados.

FORSTER & CULSHAW (1990) relatam a existência de grande quantidade de dados geotécnicos disponíveis tanto de fontes privadas como governamentais em vários centros urbanos da Grã-Bretanha. Os autores defendem a necessidade destes dados serem utilizados para a construção de um banco de dados, que poderia gerar informações para solucionar vários problemas específicos e para produção de mapas geotécnicos.

Estes autores salientam que existem problemas quanto a qualidade de muitas destas informações, uma vez que estas estão sujeitas a várias limitações, como por exemplo:

- ♦ variação dos resultados devido a má execução das sondagens;
- ♦ dados gerados por várias empresas que utilizam diferentes técnicas de aquisição e interpretação;

- ♦ dados mais recentes normalmente são mais confiáveis devido ao aprimoramento dos equipamentos utilizados nas investigações geotécnicas e das técnicas de interpretação dos dados.

STRACHAN & DEARMAN (1982) observam que a execução de bancos de dados via computador apresentam as seguintes vantagens:

- ♦ As informações podem ser manuseadas por operadores relativamente inexperientes, sejam políticos, planejadores, etc;
- ♦ Evita que em um mesmo local seja investigado em um curto período de tempo;
- ♦ Facilita o planejamento de investigações locais que tenham como objetivo a identificação de feições específicas;
- ♦ Concentração e preservação de muitas informações numa mesma fonte.

Para estes autores, a elaboração de um banco de dados tem como consequência economia de tempo e custo, ressaltam porém que a elaboração de um banco de dados não elimina a necessidade de investigações locais, mas certamente reduzirá o número destas.

ZUQUETE (1987) leva em conta que o primeiro passo na obtenção dos atributos é o levantamento e análise criteriosa dos trabalhos já realizados e que possuam potencial para fornecer dados para o mapeamento geotécnico. O autor considera a necessidade de se tomar precauções com o uso destas informações, pois elas devem ser avaliadas quanto aos seguintes aspectos:

- ♦ a maneira como foram obtidas;
- ♦ qual o uso previsto inicialmente;
- ♦ como estão apresentadas;
- ♦ se poderão sofrer influência (alterações) face as características técnicas do profissional que as obteve.

SOUZA (1994) relata a utilização do geoprocessamento como ferramenta para cartografia geotécnica por apresentar grande contribuição em relação a compilação das cartas temáticas, atualização e correção de bases cartográficas e interpretação de produtos de sensoriamento remoto, dentre outros.

MENDES *et al.* (1994) tratam da necessidade da sistematização das informações de sondagens para facilitar a sua consulta e manipulação por meio da criação de um banco de dados. Segundo estes autores, após a aquisição das informações, estas seriam agrupadas e sintetizadas em escalas maiores que 1:50.000 onde seriam plotadas. Posteriormente ocorreria a entrada dos dados em um sistema onde se pudesse escolher a ação desejada (inclusão, alteração, exclusão, consulta ou retorno à tela anterior), o que permitiria a atualização constante do banco de dados. É considerada a possibilidade de extrapolação de alguns dados do sistema (coordenadas, profundidade do nível d'água, etc.) para programas como o Surfer, o que permite a confecção de mapas de isolinhas bem como a modelagem em três dimensões (3D).

2.5.6 - Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O mapeamento geotécnico tem como fonte fundamental de dados as informações já produzidas, informações estas muitas vezes extraviadas por falta de uma legislação que obrigue o seu armazenamento e pela inexistência de banco de dados ou arquivos públicos que organizem as várias informações geradas.

Atualmente, a iniciativa pública através dos institutos de pesquisa, prefeituras e universidades vem atentando para esta necessidade. Nesse contexto, o SIG - Sistema de Informação Geográfica ou GIS - Geographical Information System desempenha papel fundamental.

Um SIG pode ser compreendido como uma coleção organizada de “hardware”, “software”, dados geográficos e pessoal, projetado para, eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as formas de informações referenciadas geograficamente.

2.5.6.1 - As Estruturas dos Sistemas de Informações Geográficas

Pode-se realizar com os SIGs uma série de análises, tais como: otimizar o sistema de transporte coletivo, avaliar a tendência preferencial de crescimento dos bairros, definir as áreas potenciais de ocupação residencial e industrial, avaliar a

porcentagem de cobertura vegetal natural e cultivada, extensão de áreas industriais, residenciais, áreas agrícolas, etc. Tem-se, dessa forma, um sistema de gerenciamento de banco de dados acoplado à facilidade de mapeamento temático.

Os SIGs, no geral, são compostos por 2 grandes conjuntos de informações, que formam:

- A) Um banco de dados espaciais.
- B) Um banco de dados de atributos.

O cerne do sistema é o banco de dados que, em síntese, é uma coleção de mapas e informações associadas na forma digital.

O banco de dados representa as características da superfície do terreno, sendo composto por dois elementos: o banco de dados espaciais, que descreve as características geográficas da superfície do terreno (forma e posição), e um banco de dados de atributos, que descreve as qualidades dessas características, podendo ser rigidamente distintas ou integradas em uma entidade simples.

Simplificadamente um SIG inclui:

- ♦ Um sistema automatizado de gerenciamento de banco de dados;
- ♦ Elementos de orientação espacial;
- ♦ Ferramentas de modelagem;
- ♦ Ferramentas para mapeamento sistemático ou derivado.

Dentre as justificativas para utilização dos SIGs, destacam-se:

- ♦ As ferramentas computacionais que permitem maior flexibilidade de manipulação, incluindo medidas e sobreposição de mapas, transformações, gráficos diversos e gerenciamento do banco de dados;
- ♦ As informações gráficas e não gráficas (atributos) podem ser fundidas e manipuladas, simultaneamente, de maneira relacionada;
- ♦ Podem ser realizados testes analíticos de modelos conceituais de modo rápido e preciso (por exemplo: susceptibilidade do solo à erosão, capacidade de suporte do solo, etc.) facilitando avaliações científicas e técnicas em grandes áreas em curto período de tempo;

- ♦ Certos tipos de análises podem ser realizadas muito mais eficientemente em termos de tempo e custos, do que se efetuadas manualmente (por exemplo: análises digitais de terreno, cálculos de declividade e bacias de drenagem, sobreposição de múltiplos conjuntos de mapas contendo polígonos complexos, etc.).

2.5.6.2 - Banco de Dados Geográficos

Um SIG é um banco de dados cartográfico construído em torno de um modelo híbrido. Ele organiza dados geográficos usando um modelo georreferencial e topológico.

Isso facilita o manuseio eficiente de duas classes genéricas de dados espaciais: dados de localização e a topologia de características (ponto, linha e área); e dados de atributos, que descrevem as características destas feições.

O banco de dados cartográficos, em um SIG, é uma coleção de dados espaciais e de dados descritivos relacionados e organizados, para armazenagem e recuperação eficiente pelos usuários.

Do ponto de vista da lógica, usada, na reprodução espacial, “raster” ou “vector”, pode-se notar que o banco de dados geográficos está organizado de maneira similar a uma coleção de mapas.

O sistema “vector” está muito perto desta lógica com as “coverages”, definidas como coleções de mapas que contêm definições geográficas de um conjunto de características e sua tabela de atributos associados. As “coverages” diferem dos mapas em dois aspectos:

1º - Elas contém, em geral, um tipo simples de característica (polígonos de solos, propriedades de lotes, etc.).

2º - Podem conter um conjunto de atributos que pertencem àquelas características por exemplo, um conjunto de informações do censo para cidades.

O sistema “raster” também utiliza a lógica de mapa, mas usualmente divide um conjunto de dados em “layers” unitários. Um “layer” contém todos os dados para um atributo simples. Pode-se ter “layers” de solos, de estradas e de uso do solo.

Geralmente, "layers" separados existem para cada atributo, o que permite produzir mapas a partir de uma combinação em "layers" de mapas.

A diferença entre "raster layers" e "vector coverages" está na organização do banco de dados em temas elementares de mapas.

2.5.6.3 - Representação de Dados em Mapas

Existem duas técnicas de representação em SIG, "vector" e "raster". Na representação "vector", os limites das características são definidos por uma série de pontos que, quando interligados com retas formam a representação gráfica daquela característica. Os pontos são codificados com um par de números dando as coordenadas X e Y no sistema (UTM, latitude/longitude, etc.).

Na representação gráfica "raster", as características e atributos que elas possuem são armazenados em arquivos de dados unificados. A cada célula é atribuído um valor numérico que pode representar uma característica identificadora, um código de atributo qualitativo ou um valor quantitativo de atributo. Os dados das células podem ser avaliados no uso de "display raster" (onde existe também uma malha de pequenas células chamadas "pixel").

O sistema "vector" é recomendado em detrimento ao "raster", em função de sua afinidade entre a lógica da representação vetorial e a tradicional produção de mapas (saídas impressas em "plotter").

2.5.6.4 - Aplicações do SIG no Mapeamento Geotécnico

SADOWSKI (1992) discute a aplicação de Sistemas de Informações Geográficas em mapeamento geológico-geotécnico, aplicando o SIG ANC-INF na Serra do Mar, onde, a partir de dados geológicos e topográficos, obteve mapas de inclinação de encostas e, destes, mapas de probabilidade de risco de deslizamentos. O autor coloca também a possibilidade de sua utilização como banco de dados geológico-geotécnico de caráter regional e a introdução de cálculos de estabilidade de encostas, adequabilidade de fundações, etc., além da possibilidade de filtrar

dados, elaborando diversos mapas temáticos como: mapas hidrográfico, geológico, de encostas, de ocupação urbana, de uso da terra, etc.

Outra aplicação de SIG foi publicada por GUERRA (1992) que aborda a utilização do SINGRE- Sistema de Informação para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana do Recife (RMR). O sistema foi alimentado com vários trabalhos previamente produzidos na RMR. Os dados cartográficos, na escala 1:25.000, versando sobre geologia, geomorfologia, tectônica, mineração urbana, hidrologia, geotecnia, pedologia e uso atual do solo são digitalizadas no "software" SPANSMAP gerando informações utilizadas na elaboração das cartas de recomendação de uso e ocupação do solo.

MOREIRA & ZUQUETE (1992) realizaram uma revisão sobre SIGs aplicados ao mapeamento geotécnico, concluindo que um banco de dados é considerado ideal (em acordo com um usuário voltado ao mapeamento regional ou urbana) quando apresentar as seguintes características:

- ♦ Colectionar informações diversas de fontes diferentes, padronizá-las e utilizar uma ficha para entrada de dados;
- ♦ Flexibilidade permitindo adequação da escala com o fim, atualização dos solos e acoplamentos a outros sistemas;
- ♦ Tratamento adequado com modelos geomatemáticos, ponderação dos dados quanto ao fim específico de trabalho;
- ♦ Segurança e conservação dos dados;
- ♦ Consultas eficientes com acesso simples e rápido, significando economia em tempo e carga de trabalho.

2.5.7 - "Landforms"

Existem várias definições para o conceito de "landforms", devido principalmente a sua múltipla aplicação na análise da paisagem.

Alguns pesquisadores descrevem o "landform" com caráter estritamente fisiográfico: Como BELCHER (1946), que define "landform" como elementos do meio físico que possuem composição definida, assim como as variações das

características visuais e físicas tais como: forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia.

Outros descrevem "landform" em função dos seus aspectos genéticos: como BATES & JACKSON (1980) que definem "landform" como qualquer contorno ou feição física reconhecível da superfície da Terra que possua uma forma característica e que seja produzida por causas naturais.

Há autores que definem "landform" em função do tipo de solo e rocha presentes: como WOLF (1983), que o define como porção do terreno com forma topográfica, origem geológica, rochas e solos específicos.

Existem aqueles que salientam a importância das estruturas geológicas na definição de "landform" como HUNT (1974), que o considera como uma forma física do terreno que reflete a estrutura geológica e os processos geomorfológicos que a tenham esculpido.

2.5.7.1 - Avaliação do Terreno

Vários pesquisadores vem utilizando os "landforms" como uma importante ferramenta na avaliação das condições naturais. As duas correntes principais desta linha de pesquisa são, a avaliação visual da paisagem e a avaliação do terreno.

O método da avaliação do terreno foi desenvolvido para o levantamento das condições do meio físico para fins de ocupação.

As duas principais maneiras de se avaliar o terreno são o enfoque paramétrico e o enfoque da paisagem.

O enfoque da paisagem consiste na delimitação de diferentes feições do terreno, promovendo o zoneamento das áreas semelhantes. A análise é feita por observações fotointerpretativas e de campo.

O enfoque paramétrico tem os mesmos objetivos do enfoque da paisagem, porém a análise é feita com base na medida de parâmetros representativos das formas de relevo, tais como declividade, amplitude e extensões destas feições.

2.5.7.2 - "Landform" e os Níveis Hierárquicos

Os níveis hierárquicos mais utilizados no zoneamento dos "landforms" são: Sistema de Terreno, Unidade de Terreno e Elemento de Terreno.

Sistema de Terreno: É descrito como uma associação de formas de relevo com expressão espacial determinada e que representa condições similares de processos evolutivos e de materiais associados.

Unidade de Terreno: É descrito como forma individual do terreno que se distingue das outras às quais está associada por indicar um determinado sub-conjunto de processos do sistema de terreno no qual se situa; estas características devem se refletir à nível de diferenças em termos do material inconsolidado associado à unidade.

Elemento de terreno: É descrito como parte de uma forma individual do relevo distinguível das demais partes em termos de inclinação ou forma da vertente, posição topográfica, ou forma topográfica, e que deve refletir condições diferenciadas de espessura de materiais inconsolidados ou variações laterais no perfil destes materiais.

2.5.7.3 - O Zoneamento dos Níveis Hierárquicos

Zoneamento do Sistema de Terreno:

É efetuado através da identificação das características gerais do terreno (aerofotointerpretação), visando o reconhecimento das grandes expressões geomorfológicas.

O seu zoneamento inicia-se com a observação do fotomosaico da área, e com o posterior aperfeiçoamento através da análise de estereopares e mapas topográficos.

Zoneamento da Unidade de Terreno:

Realiza-se através da identificação das características geomorfológicas da área como forma topográfica, características das drenagens, amplitude de relevo, forma e características das vertentes.

O zoneamento da Unidade de Terreno inicia-se com a subdivisão do Sistemas de Terreno através de aerofotoanálise de estereopares, com posterior verificação em campo de suas características e extensões.

Zoneamento do Elemento do Terreno:

É realizado através dos mesmos processos utilizados na delimitação da Unidade de Terreno, porém com maior detalhe e usando-se a técnica de aerofotodedução.

Os trabalhos de zoneamento dos Elementos do Terreno visam normalmente o estudo de parâmetros específicos o que muitas vezes requerem ensaios de campo e laboratório.

2.5.7.4 - Aplicação da Avaliação do Terreno para fins Geotécnicos

A aplicação da técnica de avaliação do terreno, para fins geotécnicos, vem sendo aplicada em várias partes do mundo com grande variação de escalas e finalidades.

Um dos primeiros a utilizar feições de relevo para descrição regional da paisagem e sua relação com os materiais presentes foi BOURNE (1931), com a proposição do princípio da similaridade dos elementos da paisagem, segundo o qual paisagens similares deveriam refletir condições evolutivas similares.

Os profissionais do Reino Unido foram os pioneiros na avaliação do terreno para fins de engenharia, com os trabalhos desenvolvidos pelo Military Engineering Experimental Establishment (Mexe) nas colônias africanas, em obras lineares e prospecção de materiais de construção para rodovias.

Na Austrália, a partir da década de 40, com o desenvolvimento do método de mapeamento de sistema de relevo pela CSIRO – Commonwealth Scientific and

Industrial Research, extensas áreas do território Australiano e da Nova Guiné são mapeadas para fins agrícola e para o planejamento regional.

Posteriormente, com o desenvolvimento do programa PUCE – Pattern Unit Component Evaluation, este sistema foi bastante difundido em todo o mundo.

A adoção deste método para diversos países como Nigéria, Tanzânia, Lesotho e Gambia foi feita pela LRD – Land Resources Division, de administração inglesa. Na África do Sul, tal abordagem foi utilizada na engenharia rodoviária para o planejamento de traçados e identificação de materiais de construção, além de ter auxiliado no planejamento urbano.

Em Hong Kong, os métodos de trabalho também derivaram dos desenvolvidos no Reino Unido com vistas à análise de risco de escorregamento de taludes.

Nos Estados Unidos da América, os trabalhos tiveram grande desenvolvimento, sendo aplicados principalmente para finalidades rodoviárias e agrícolas.

Na Holanda, o uso da avaliação do terreno se desenvolveu a partir dos trabalhos do ITC - International Institute of Aerial Survey and Earth Sciences, com vistas ao planejamento urbano e regional.

2.5.7.5 - Evolução das Formas do Relevo em Clima Tropical

O conhecimento adquirido entre associação das feições do relevo ("landforms") e os materiais do meio físico, sob condições de clima temperado, tem permitido a utilização em larga escala da avaliação do terreno como critério da caracterização das condições geotécnicas.

Nas regiões de clima tropical, as condições climáticas favorecem grandemente o intemperismo químico com uma tendência à suavização das formas, espessamento do manto de alteração e a tendência a produzir perfis de alteração completamente diferentes dos produzidos em clima temperado.

A maior espessura do manto de alteração e a existência de três superfícies de aplainamento em regiões de clima tropical (uma superior entre as porções lateríticas e saprolítica do perfil, uma intermediária entre a porção saprolítica e a rocha pouco

alterada, e uma superfície inferior situada entre a rocha alterada e a rocha sã), ao contrário do que ocorre em climas temperados onde existem duas superfícies (uma superior, entre o manto de alteração e a rocha pouco alterada e outra inferior, no limite entre rocha alterada e rocha sã), faz com que a identificação dos "landforms" em regiões de clima tropical torne-se mais difícil.

Segundo TRICART (1972) as formas suaves do relevo tropical são conseqüências diretas das condições climáticas. O autor descreve o processo para três condições litológicas distintas:

- ♦ Em rochas arenosas, a intensidade de lixiviação favoreceria a formação de crostas ferruginosas que protegeriam as formas suaves da erosão;
- ♦ Em rochas sedimentares e metamórficas de textura fina, as altas taxas de precipitação associadas às baixas permeabilidades favoreceriam a erosão em lençol criando formas mais aplainadas;
- ♦ Em rochas graníticas e gnáissicas, o intemperismo químico tenderia a criar um manto de alteração altamente permeável e facilmente erodível, favorecendo o desenvolvimento de "meias laranjas".

2.6 - Perfis de Alteração

Diversas são as definições existentes para solo. As definições variam de acordo com a área de atuação do profissional que o define e com os objetivos e aplicações do mesmo nos estudos do meio físico. RETALLACK *et al.* (1984) *apud* MARTINI & CHESWORTH (1992) definem solo como “o material na superfície terrestre de um planeta ou num corpo similar, alterado no local (*in situ*) por agentes físicos, químicos ou biológicos, ou por uma combinação deles”.

MARTINI & CHESWORTH (1992), definem solo como um corpo natural, tridimensional ou de material inconsolidado na superfície terrestre que tem sido submetido e influenciado por fatores genéticos e ambientais, climáticos, biológicos, topográficos, todos atuando sobre um período de tempo e produzindo diferenças nas propriedades físicas, químicas, biológicas e morfológicas, e nas características da rocha original do qual foi derivado, sendo também capaz de suportar o crescimento das plantas.

O solo é um corpo natural, diferenciado em horizontes de constituintes minerais e orgânicos, usualmente inconsolidados, com variações em profundidade, os quais diferem do material de origem, abaixo dos horizontes, em propriedades morfológicas, físicas, químicas, biológicas e em sua constituição e composição (JOFFE, 1936; *apud* JENNY, 1941).

Para a Engenharia Civil, é bastante utilizada a interpretação para solo como sendo "todo material da crosta terrestre escavável por meio de picareta, pá, escavadeira, etc. ou ainda, que perde sua resistência quando em contato prolongado com a água.

Para o profissional da Geologia de Engenharia, é necessário, cada vez mais, conhecer as características geológico-geotécnicas do meio físico onde serão construídas as diferentes obras, nos mais variados tipos de terrenos, principalmente naqueles constituídos por materiais inconsolidados. Estes materiais, que se sobrepõem ao substrato rochoso, são caracterizados por diversos níveis de alteração.

Os estudos dos perfis de alteração ajudam os geotécnicos a compreender a gênese e evolução dos solos e das formas de relevo, e permitem identificá-los e diferenciá-los em suas propriedades, características geométricas e tipos de materiais, e auxiliá-los quanto aos problemas que possam surgir frente às solicitações impostas ao meio físico num determinado projeto ou obra.

2.6.1 - Fatores de Formação dos Perfis de Alteração

A diferenciação dos solos e, conseqüentemente, dos perfis de alteração está relacionada aos seus fatores de formação, cuja atuação apresenta caráter independente. Os cinco fatores de formação são: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo (JENNY, 1941).

Atuando sobre os perfis de alteração estão os processos formadores de solo. É necessário estabelecer uma distinção entre processos e fatores de formação dos solos (BIRKLAND, 1984, *apud* DE MIO, 1990), pois os processos (físicos, químicos e biológicos) apresentam grande complexidade e são de difícil utilização nas classificações de solos. Já os fatores de formação dos solos são aqueles que definem certas características básicas e resultam na condição atual do sistema solo.

A evolução dos perfis de alteração está fortemente relacionada aos fatores e processos de formação dos solos. Portanto, a maior ou menor evolução de um determinado perfil está diretamente relacionada com a intensidade de atuação dos processos e das características do meio.

2.6.2 - Material de Origem

Constitui-se na fonte de material para a formação do solo (perfil de alteração), ou seja, a rocha fonte ou "rocha-mãe", que pode ser de origem ígnea, metamórfica ou sedimentar. Independentemente da fonte, o material de origem é de fundamental importância, pois impõe limitações a muitos atributos dos solos, entre eles, textura, cor, composição química e características mineralógicas.

O material de origem varia em sua composição e desse modo influi também na intensidade e velocidade das reações devido a maior ou menor quantidade e susceptibilidade de seus constituintes. Diferentes tipos de rocha podem originar solos iguais, a depender das variações climáticas da região, assim como rochas de mesma composição podem decompor-se diferentemente sob mesmas condições climáticas.

Portanto, o maior ou menor grau de alteração das rochas depende da estabilidade química dos seus constituintes.

A composição mineralógica no perfil do solo é muito importante pois, tanto o estado de alteração em que se encontram os minerais analisados bem como a natureza e quantidade de minerais secundários permitem estabelecer os diferentes graus de intemperismo.

2.6.3 - Textura e Estrutura

As orientações preferenciais exibidas pelas rochas, quer sejam ígneas (porfíróide, porfiritica, maculada, vesícula, etc.), sedimentares (planos de acamamento, estratificações, bandamentos composicionais, linhas de seixos, etc), ou metamórficas (foliação, disposição planar de minerais placóides), e as descontinuidades (falhas, juntas, fraturas, zonas de cisalhamento) presentes na mesmas exercem maior ou menor influência na facilidade e velocidade de

percolação de soluções e consequentemente maior ou menor alteração. Estas descontinuidades estão associadas diretamente à deformabilidade e à resistência do material rochoso e auxiliam no entendimento dos estudos geotécnicos e geomorfológicos, podendo ser associadas aos diferentes graus de alteração.

2.6.4 - Relações Solo x Relevo x Clima

Para MCFADDEN & KNUEPFER (1990) *apud* GERRARD (1995) muitos processos de formação dos solos também podem ser considerados como processos geomorfológicos. O autor utiliza o termo "solo-geomorfologia" (*soil-geomorphology*) na avaliação das relações genéticas dos solos e dos "landforms", e estuda tanto a gênese do solo quanto a evolução e/ou a estabilidade dos elementos do relevo.

O relevo é esculpido segundo fatores que atuam no desgaste e remoção do material de origem. Sua relação com o clima é quanto à distribuição de energia, ao escoamento da água, à drenagem do solo, à exposição do solo à luz solar e ao vento (PRADO, 1993).

A topografia controla a profundidade assim como a natureza e a espessura do perfil de alteração. Os elementos da topografia que mais influem nos fenômenos de alteração e erosão das rochas são a altitude e a declividade. Regiões montanhosas apresentam intemperismo predominantemente mecânico enquanto que em regiões com altitudes baixas o intemperismo químico é mais freqüente. Isso se deve a topografia, que afeta a superfície e subsuperfície das drenagens, produz vertentes de comprimento variável, posição e escalonamento para a transmissão de água e controla a posição e a declividade da superfície freática. Encostas íngremes apresentam um rápido escoamento superficial e a água é ligeiramente retida pelo intemperismo químico (hidrólise) ou pelas plantas em crescimento, promovendo uma vegetação relativamente esparsa.

Encostas suaves apresentam uma maior retenção de umidade e os produtos da alteração acumulam-se na superfície (maiores taxas de infiltração), tornando a vegetação mais densa.

O desenvolvimento da maioria dos "landforms" associa-se a redução da rocha por intemperismo, que origina um material mais facilmente erodível, principalmente por agentes como água, gelo, vento e ondas. A maioria das feições de relevo que não estão diretamente atribuídas às forças tectônicas estão associadas aos processos de intemperismo diferencial e a atuação de erosão nas superfícies de fraqueza das rochas, sejam fraquezas estruturais ou não (SELBY, 1990).

O clima possui uma atuação direta sobre a pedogênese e seus elementos principais de atuação são: radiação solar (calor), precipitação pluvial (chuva), e pressão atmosférica (vento). O calor influi diretamente nas atividades das reações químicas e processos biológicos que ocorrem no perfil de solo (PRADO, 1993).

A quantidade e a distribuição da precipitação são igualmente importantes, pois a água promove o intemperismo químico. Em solos tropicais, onde as chuvas são intensas e bem distribuídas todo o ano, o contato da água com o material alterado por longos períodos de tempo propicia uma intensa lixiviação e um perfil de alteração profundo.

O regime de chuvas em regiões áridas é baixo e de pouca intensidade durante o ano. As precipitações e a baixa infiltração no solo limitam o tempo de duração do contato água-material rochoso, reduzindo a eficiência dos processos de intemperismo químico. Próximo a regiões polares, onde tanto a temperatura quanto a umidade são baixas, a decomposição é lenta.

2.6.5 - Tempo

O tempo afeta o material original diretamente. Ele é o fator de formação dos solos que define o quanto a ação do clima e dos organismos ocorreram sobre o material original, em um determinado tipo de relevo (PRADO, 1993).

A idade relativa entre os solos é estimada a partir da comparação de solos de diferentes superfícies geomorfológicas. Superfícies mais antigas desenvolvem solos mais intemperizados enquanto nas superfícies mais jovens ocorrem solos menos intemperizados.

É necessário distinguir tempo e maturidade (grau de desenvolvimento). A maturidade depende da intensidade e velocidade de atuação dos processos

pedogenéticos. Um solo numa região de intensa pluviosidade e altas temperaturas atingirá a maturidade em um curto espaço de tempo. Em regiões onde os processos pedogenéticos atuam mais lentamente, como locais de clima frio, podem ocorrer solos pouco desenvolvidos.

2.6.6 - Processos de Formação dos Solos

Os processos que atuam na formação dos solos podem ser pedogenéticos, intempéricos físicos e intempéricos químicos.

PATON *et al.* (1995) citam que os fatores de formação dos solos não atuam independentemente, mas sempre em uma interrelação complexa. Os autores expressam esta complexidade por meio de fatores por eles designados "iniciais", processos de epimorfismo ou próximos à superfície e, a interação destes com o tempo na formação dos solos, resultando numa seqüência hierárquica pedológica.

2.6.6.1 - Processos Pedogenéticos

Os processos pedogenéticos resultam da ação interdependente dos fatores de formação dos solos (PRADO, 1993).

Segundo SIMONSON (1959), *apud* PRADO (1993), estes processos consideram:

- ♦ Adição ao solo (materiais minerais e orgânicos, nos estados sólido, líquido e gasoso);
- ♦ Transformação;
- ♦ Perda;
- ♦ Translocação (no perfil do solo).

VAZ (1996a) cita a eluviação, a iluviação, a lixiviação, a laterização e a podzolização como os principais processos pedogenéticos, e considera a água (percolação e movimentação no solo) o agente principal dos mesmos.

BUOL *et al.* (1973), *apud* PRADO (1993), subdividem alguns processos pedogenéticos em subprocessos e reações, sendo eles:

- ♦ Eluviação e iluviação;
- ♦ Lixiviação;
- ♦ Enriquecimento;
- ♦ Erosão superficial;
- ♦ Cumulização;
- ♦ Decalcificação e calcificação;
- ♦ Salinização e dessalinização;
- ♦ Alcalinização e desalcalinização;
- ♦ Lessivagem e pedoturbação;
- ♦ Podzolização e laterização;
- ♦ Decomposição e síntese;
- ♦ Melanização e leucinização;
- ♦ "Littering" e humificação;
- ♦ Braumificação, rubrificação, ferruginação e gleização.

2.6.6.2 - Processos do Intemperismo

Intemperismo são os processos de alteração e desagregação de rochas e materiais do solo próximo à superfície da Terra por processos químicos, físicos e bióticos (SELBY, 1990).

De acordo com a Geological Society Engineering Group (1995), o intemperismo é o processo de alteração e colapso das rochas e em materiais do solo próximos à superfície da Terra por decomposição e desintegração física, por meio biótico, químico e físico, onde a rocha busca um equilíbrio físico-químico com o ambiente desta superfície.

É importante salientar que processos físicos, químicos e biológicos usualmente atuam em conjunto e que a taxa de intemperismo varia de acordo com diferenças de intensidade dos processos num determinado local.

Processos Físicos:

- ♦ Expansão e contração termal;

- ♦ Descongelamento e congelamento;
- ♦ Pressão de cristalização;
- ♦ Hidratação e secagem;
- ♦ Atividade orgânica.

Processos Químicos:

- ♦ Dissolução (Solubilização);
- ♦ Hidrólise;
- ♦ Carbonatação;
- ♦ Oxidação;
- ♦ Redução;
- ♦ Quelação;
- ♦ Troca Iônica

Em regiões tropicais, o tipo de processo predominante é o intemperismo químico, que depende da presença da água e da susceptibilidade das rochas a este tipo de processo. A quantidade de água presente, sua composição e sua hidrodinâmica também influenciam na alteração dos solos destas regiões.

Em regiões frias, há o predomínio de intemperismo físico, onde o congelamento e descongelamento dos materiais rochosos origina quebra e fraturamento dos mesmos.

Processos Biológicos:

Estes processos relacionam-se às atividades de organismos de modo geral e compreendem a microflora, a microfauna, a macroflora, a macrofauna e o homem.

Esses organismos atuam nos processos de decomposição dos restos vegetais e animais e na liberação do húmus, provendo a natureza com elementos como carbono e nitrogênio, os quais normalmente não ocorrem nas rochas. Eles também agem no perfil do solo por meio de atividades de escavação, aeração, oxidação, entre outras.

O homem interfere nos atributos dos solos quando utiliza práticas de manejo, como drenagem, adubação, uso de herbicidas, calagem, uso de produtos químicos, irrigação, entre outros.

2.6.7 - Perfil de Alteração dos Solos

O resultado final do intemperismo é o solo, que dependendo das condições, é produto de efeitos combinados de climas atuais e passados (paleoclimas), vegetação, litologia presente e atividade humana. Através de identificação dos níveis de alteração presentes num determinado solo pode-se estimar o grau de intemperismo atuante, o qual varia de grau IA até VI, sendo este último o mais intemperizado (Geological Society Engineering Group Working Party, 1977 *apud* FOOKES & VAUGHAN, 1986).

As camadas superficiais do solo são fortemente influenciadas pela matéria orgânica e pelas variações sazonais. Em profundidade, o movimento da água é lento e o transporte de partículas finas e de soluto é dificultado. Conseqüentemente, a mineralogia e a distribuição das partículas, assim como as propriedades geotécnicas, podem apresentar variações (mudanças) vertical e lateralmente em todo o perfil de solo desenvolvido.

Segundo VAZ (1996a), os perfis de intemperismo utilizados atualmente seguem duas escolas, a americana de Deere e Patton e a européia, de Dearman, ambas utilizando critérios de alteração mineralógica e da porcentagem relativa de solos e blocos para a definição dos horizontes presentes. O perfil de Deere e Patton constitui-se em três horizontes de solo e três de rocha. O perfil de Dearman apresenta dois horizontes de solo e quatro de rocha, e apesar de ter sido desenvolvido para rochas graníticas de clima tropical é aplicado para todos os tipos de rocha. O autor cita também que os métodos para descrição de grau de alteração de maciços rochosos pela ISRM são decorrentes dos trabalhos de Dearman, enquanto os trabalhos de autores brasileiros seguem a proposta de Deere e Patton.

SOUZA e ZUQUETTE (1991) consideram os perfis de alteração e sua amostragem por níveis de alteração de grande validade pois permitem uma caracterização mais representativa do local e mais coerente das unidades de terreno. Os perfis de alteração típicos por áreas homogêneas permitem uma análise do aspecto evolutivo do solo e podem suprir a necessidade de parâmetros para obras civis (que geralmente desprezam os dois primeiros metros) com economia de recursos e tempo na execução de todas as etapas de trabalho.

2.6.8 - Critérios/Atributos para Reconhecimento do Perfil de Alteração

Existem diversas classificações para determinar os tipos de solos presentes em um perfil de alteração. Elas são obtidas a partir da análise de atributos pré-estabelecidos e de seu reconhecimento em campo, fotografias aéreas e ensaios laboratoriais.

SOUZA e ZUQUETTE (1991) consideram como atributos fundamentais os aspectos geomorfológicos, litológicos, mineralógicos, texturais e estruturais, origem e grau de alteração, espessuras, compactidade e/ou consistência, erosão, pedregosidade e rochosidade, permeabilidade e nível de água, além de aspectos de localização, ocupação e usos atuais.

2.6.9 - Fotografias Aéreas e Perfis de Alteração

Os critérios para reconhecimento dos perfis de alteração em fotografias aéreas constituem-se no estudo sistemático de elementos visuais como: identificação e interpretação das formas de relevo, padrões de drenagem, feições erosivas, uso da terra, vegetação original, tonalidade fotográfica e aparência ao estereoscópio.

BURINGH (1960), *apud* PRADO (1993), desenvolveu a "análise dos elementos", os quais são analisados individualmente na busca de "convergência de evidências", ou seja, diferentes elementos analisados que levam à mesma conclusão. O mesmo autor propõe a análise fisiográfica, a qual classifica o terreno em unidades fisiográficas distintas que apresentam diferentes tipos de solos.

Para BELCHER *et al.* (1943), a fotointerpretação associada a um mapa de solo e a perfis de solo registrados fornecem uma concepção tridimensional da área investigada. Segundo o autor, deve-se analisar primeiramente a topografia, cuja natureza é indicada por meio dos padrões de drenagem observados. Os padrões de drenagem desenvolvidos e as taxas de erosão presentes indicam as características gerais dos solos na área.

LOLLO & ZUQUETTE (1996) utilizam as fotografias aéreas no reconhecimento de perfis de alteração a partir da técnica de avaliação dos terrenos,

que permite um zoneamento da área em termos de homogeneidade das feições de relevo associadas aos materiais presentes.

Para CECARELLI (1994), fatores como drenagem, fraturamento, relevo, forma da encosta, litologia e texturas de relevo podem ser obtidos por meio de fotointerpretação e fornecem propriedades específicas à sua caracterização.

2.6.10 - Classificação Genética

Para uma classificação genética, é importante diferenciar os solos quanto a sua origem, em solos residuais (alteração *in situ*) ou transportados (considerados por muitos autores como solos retrabalhados). Os solos residuais caracterizam-se pelas heterogeneidades existentes ao longo do perfil, decorrentes das estruturas reliquias do material original. Os solos transportados apresentam uma variação maior devido a diversidade de fontes dos materiais que lhe deram origem ("materiais originais" distintos), o que dificulta sua classificação.

VAZ (1996b) sugere uma classificação para solos residuais e solos transportados a partir de considerações genéticas. Para o autor, o solo residual pode ser homogêneo (isotrópico) ou heterogêneo (anisotrópico) e caracterizado em solo eluvial ou de alteração, respectivamente. O solo transportado pode resultar da ação de processos gravitacionais (colúvio, tálus), costeiros (fluvial), marítimos e eólicos, sendo caracterizado de acordo com o(s) processo(s) sofridos.

2.6.11 - Reconhecimento em Campo

No reconhecimento dos perfis de alteração em campo, é necessário observar, medir, representar, e interpretar os dados coletados.

Os trabalhos de campo tem como objetivo a verificação dos resultados obtidos por meio do uso da fotointerpretação, de forma a proporcionar maior precisão ao zoneamento pré-estabelecido (LOLLO, 1996).

O trabalho de campo permite não só confirmar os limites considerados mas também sanar dúvidas nos locais onde não se tem confiança no zoneamento obtido.

Segundo LOLLO (1996), a caracterização de materiais inconsolidados consiste na identificação dos diferentes intervalos presentes no perfil de alteração destes materiais, que raramente apresenta-se completo em uma única exposição ou corte, e torna necessária a investigação em pontos topograficamente mais elevados ou mais rebaixados, e outras exposições que proporcionem o reconhecimento completo destes materiais.

É fundamental também avaliar a relação entre a forma de encosta e o comportamento do perfil em termos de espessura e intervalos.

PRICE (1993), ao analisar a alteração em diferentes tipos de rochas, elaborou diversas tabelas para quantificar e caracterizar os estados de alteração das mesmas.

Segundo este autor, algumas das descrições que devem ser feitas em campo são:

- ♦ proporção dos constituintes da rocha, classificando-a em : fresca, descolorida, friável;
- ♦ grau de alteração das juntas e alteração em profundidade;
- ♦ descontinuidades presentes como estruturas reliquias, em todos os tipos de rochas.

De modo geral, deve-se avaliar em campo:

- ♦ origem do solo: residual ou transportado;
- ♦ quantidade de horizontes presentes;
- ♦ composição mineralógica e espessura de cada horizonte identificado;
- ♦ estabelecer uma associação dos constituintes do solo, modificações em seus arranjos, estruturas e porosidade;
- ♦ entender a dinâmica das transformações observadas;
- ♦ caracterizar a qual unidade geomorfológica pertence o perfil analisado;
- ♦ correlacioná-lo a pequenas distâncias entre situações distintas.

2.6.12 - Solos Residuais Tropicais

SOUZA e ZUQUETTE (1991) definem solo residual tropical como sendo "aquele intemperizado *in situ* , onde a estrutura da rocha original foi totalmente destruída pela alteração".

SOUZA e ZUQUETTE (1991), BLIGHT (1994) e FOOKES (1994), *apud* BACHION (1997), colocam que a gênese dos solos residuais tropicais está relacionada ao processo de laterização, caracterizado pela rápida decomposição dos feldspatos e minerais ferromagnesianos, pela remoção da sílica e das bases, e pela concentração de óxidos de alumínio e ferro, promovidos por processos ambientais como chuvas sazonais intensas, altas temperaturas sazonais, mobilidade e acidez nas águas subterrâneas, e densa cobertura vegetal.

Segundo SOUZA e ZUQUETTE (1991), o solo residual tropical apresenta níveis de alteração compostos por duas porções: a de solo laterítico e a de solo saprolítico.

O solo laterítico evolui a partir de materiais residuais, de sedimentos terciários ou de depósitos superficiais neo-cenozóicos, e pode englobar ou se limitar ao solo coluvionar superficial, separado pela linha de seixos, podendo conter abaixo deste limite solo residual maduro (laterítico) ou solo residual jovem (saprolítico).

O solo saprolítico ocorre abaixo do nível superficial em região de perfil bem evoluído, acima do nível da rocha alterada, e apresenta a estrutura reliquiar da rocha como feição principal. Pode ser subdividido em solo saprolito fino (solo residual jovem) e saprolito propriamente dito (saprolito grosseiro).

GIDIGASU (1978) subdivide o perfil laterítico em três horizontes, os quais variam vertical e horizontalmente, sendo eles :

A) Primeiro horizonte: rico em sesquióxidos (pode apresentar-se cascalhado ou com crostas endurecidas);

B) Segundo horizonte: zona mosqueada com evidência de enriquecimento em sesquióxidos; e

C) Terceiro horizonte: apresenta-se descolorido sobre a rocha original (zona lixiviada).

NOGAMI e VILLIBOR (1996) citam a importância da determinação do processo de laterização em geotecnia, pois este processo impõe aos solos inúmeras peculiaridades de ocorrência e de suas propriedades *in situ*, que diferem muito dos solos tradicionais.

2.6.13 - Perfis de Alteração x Problemas Ambientais e de Engenharia

Segundo BARROSO *et al.* (1981), *apud* DE MIO (1990), o estudo dos perfis de alteração associados aos parâmetros geotécnicos dos solos fornece importantes subsídios nas investigações básicas sobre:

- ♦ erodibilidade e escorregamentos, aspectos geotécnicos gerais envolvendo obras civis de desenvolvimento linear (estradas, canais, linhas de transmissão, etc.);
- ♦ problemas de fundação e de posicionamento do lençol freático, distribuição das fontes de fornecimento de materiais naturais de construção (materiais de empréstimo);
- ♦ planejamento da ocupação territorial e urbana envolvendo aspectos geotécnicos de desenvolvimento social, econômico e de uso da terra;

Nas cartas interpretativas propostas por ZUQUETTE (1987) nota-se a grande influência, ou até a dependência direta do material de cobertura superficial, onde o mapa de materiais inconsolidados representa um documento básico essencial à elaboração de outras cartas como:

- ♦ escavabilidade e erodibilidade;
- ♦ fundação;
- ♦ estabilidade de taludes;
- ♦ irrigação;
- ♦ obras viárias;
- ♦ obras enterradas;
- ♦ disposição de rejeitos sépticos;
- ♦ materiais de construção;
- ♦ restrições ambientais e de orientação de uso.

SOUZA e ZUQUETTE (1991) citam a importância do levantamento geotécnico com base nos perfis de alteração, que por meio de uma caracterização por áreas homogêneas com perfis típicos, individualizados quanto as propriedades geotécnicas distintas em superfície e profundidade. Esta caracterização permite a definição dos atributos e seus comportamentos que possibilitem a elaboração de

cartas interpretativas de riscos geotécnicos, restrições ambientais, viabilidade de ocupação e materiais de construção.

BELCHER *et al.* (1943) citam as necessidades dos estudos dos perfis de alteração e os diversos problemas de engenharia que podem ocorrer em estradas e aeroportos.

BRUNSDEN *et al.* (1975) consideram a importância do mapeamento geomorfológico na definição dos cortes das estradas, os quais podem fornecer dados para mapas derivados, como os de drenagem, instabilidade de taludes e características geotécnicas dos solos.

Independentemente da escala de trabalho adotada, a caracterização geotécnica de rochas alteradas (intemperizadas) requer atenção especial, além do que normalmente é feito para caracterizar rochas "frescas". As caracterizações feitas dependem da natureza do problema e da escala adotada, e obviamente, do grau e extensão da alteração (intemperismo).

2.7 - Tópicos das Principais Metodologias Aplicadas ao Planejamento Urbano

2.7.1 - Metodologia da IAEG (International Association of Engineering Geology)

A metodologia da IAEG começou a ser elaborada no final da década de 60, tendo seus primeiros trabalhos publicados no boletim da IAEG e posteriormente pela IAGE-UNESCO (1976).

Os principais fatores de interesse para o mapeamento geotécnico são: rocha e solo, água, condição geomorfológica e fenômeno geodinâmico (ANON, 1976).

Com referência ao planejamento e a gestão ambiental, esta metodologia apresenta como requisitos principais:

- 1) Apresentar as informações de forma facilmente compreensível por usuários, os quais podem não ser especialistas no assunto;
- 2) Demonstrar as informações necessárias de forma objetiva indispensáveis para avaliar as características geotécnicas relativas ao planejamento regional e à definição de adequabilidade das áreas;
- 3) Prever as variações na situação do meio físico induzidas pela atividade proposta e sugerir medidas preventivas necessárias.

Os mapas geotécnicos podem ser classificados de acordo com: finalidade, conteúdo e escalas.

De acordo com a finalidade eles são classificados em:

1. Finalidade especial: fornecem informações sobre um aspecto específico da geologia de engenharia;
2. Multifinalidade: fornecem informações de muitos aspectos da geotecnia, fornecendo informações para vários usos do planejamento e trabalhos de engenharia.

De acordo com o conteúdo, dividem-se em:

1. Analíticos: dão detalhes que avaliam componentes individuais do ambiente geológico;

2. Sintéticos: informam sobre as condições geotécnicas indicando os principais componentes de interesse para a geotecnia. Podem ser classificados em:

- a) Mapas de condições geotécnicas que descrevem os principais componentes do ambiente.
- b) Mapas de zoneamento geotécnico que avaliam e classificam unidades territoriais com base na uniformidade de suas condições geotécnicas.

De acordo com a escala, são classificados em:

- 1. Grande: 1:10.000 ou maior
- 2. Média: entre 1:10.000 e 1:100.000
- 3. Pequena: 1:100.000 ou menor.

Desta forma, existe a possibilidade de inúmeras combinações gerando diversos documentos.

As formas de obtenção de dados são feitas a partir da fotogeologia, métodos geofísicos, sondagens, amostragens, ensaios *in situ* e laboratoriais (MACARI, 1995).

2.7.2 - Metodologia Francesa

SANEJOUAND (1972) publicou o tratado denominado "A Cartografia Geotécnica na França", onde analisou os vários projetos de cartografia geotécnica executados pelos diversos órgãos públicos franceses, com o objetivo de esclarecer os princípios que devem governar tal atividade.

O produto final desta metodologia é um conjunto de vários mapas de fatores e de aptidões, associados a uma carta de documentação, onde se acham lançados todos os dados utilizados no trabalho ou passíveis de utilização futura (BACHION, 1997).

Nesta proposta, as cartas geotécnicas, para fins de planejamento do meio físico, podem ser classificadas quanto à escala, ao conteúdo e a forma.

Quanto à escala são classificados os seguintes critérios:

- 1) Planejamento de áreas metropolitanas – 1:100.000 e 1:50.000
- 2) Áreas menores e detalhadas – 1:25.000 a 1:10.000
- 3) Zonas de Planejamento – 1:10.000 a 1:2.000

Quanto ao conteúdo e forma são classificadas em:

1) Cartas Analíticas ou de Fatores: onde se representam um ou mais fatores, caracterizando-se como uma síntese parcial de dados pontuais ou não. São divididas em dois grupos:

a) Cartas de Fatores Normais - são estabelecidas no decorrer do estudo. São informações de uso amplo para o planejamento regional e local, e servem como um primeiro estágio na realização de cartas mais sintéticas.

As cartas de fatores normais não são, em regra geral, diretamente utilizadas pelos urbanistas. Para sua síntese, necessita-se de conhecimento mínimo das ciências da Terra (AGUIAR, 1997).

b) Cartas de Fatores Especiais - resultam de um melhor detalhamento das cartas de fatores normais; são realizadas quando da necessidade de informações específicas e portanto usadas para resolver problemas singulares, que às vezes fogem da normalidade.

2) Cartas Sintéticas ou de Aptidão: representam a síntese dos diferentes fatores, delimitando áreas homogêneas, quanto a um tipo de utilização. São cartas redigidas em termos de utilização.

2.7.3 - Metodologia da (Ex) Tchecoslováquia

MATULA (1979) foi o precursor desta metodologia, voltada principalmente ao planejamento urbano, levando em conta os seguintes aspectos específicos: adequabilidade geotécnica para construção e/vulnerabilidade do ambiente geológico e as características das condições locais.

MATULA & LETKO (1980) definiram três grupos de fatores geoambientais (geofatores) limitantes ao desenvolvimento urbano:

A) Fatores geoambientais que comprometem o desenvolvimento urbano;

B) Fatores geoambientais que limitam a adequabilidade geotécnica de construção;

C) Fatores geoambientais que devem ser protegidos contra os impactos indesejáveis da urbanização.

Cada um destes geofatores recebe uma escala de intensidade com três graus de classificação, de acordo com sua influência na urbanização, seguindo os seguintes critérios:

I) O fator geoambiental não afeta a urbanização negativamente, ou sua influência é negligenciável;

II) O fator geoambiental impede a urbanização: medidas corretivas são necessárias para implementação da urbanização o que lamenta consideravelmente os custos;

III) O fator geoambiental impede a urbanização, ou a torna praticamente impossível.

Cada um destes itens acima é combinado com outros fatores como processos geodinâmicos, condições geomorfológicas e hidrogeológicas, qualidades geotécnicas do solo e da rocha.

Para cada grupo de fatores geoambientais (A, B e C) é realizado um mapa de zoneamento da região seguindo a classificação dos critérios (I, II e III), gerando diversas zonas (AI, AII e AIII; etc.) cuja sobreposição permite a obtenção do mapa final das unidades (zonas) geotécnicas do uso racional do terreno para desenvolvimento urbano, sendo as zonas mais favoráveis, onde houve sobreposição dos geofatores AI, BI e CI, e assim por diante, com as diversas combinações possíveis.

2.7.4 - Metodologia PUCE (Pattern Unit Coponent Evaluation)

Esta metodologia foi elaborada por AITCHINSON & GRANT (1967), GRANT (1968) *apud* SARAIVA (1993).

Nos trabalhos de GRANT (1975), GRANT & FINLAYSON (1978), FINLAYSON (1982) *apud* AGUIAR (1997) são apresentados os princípios do programa PUCE (Padrão-Unidade-Componente-Avaliação) de avaliação do terreno, para propósito de engenharia.

Este programa foi desenvolvido na Austrália com o objetivo de racionalizar os procedimentos de aquisição e processamento de informações para engenharia nos estágios de pré-planejamento, planejamento e projetos de obras civis. Esse programa proporciona também um método para estocagem de informações de engenharia para usos futuros.

A base de classificação da avaliação do terreno no sistema PUCE é de que o terreno deve ser considerado como produto da interação entre a geologia e o clima.

Terrenos que tenham evoluído de materiais similares e passando pelos mesmos processos geológicos possuem propriedades semelhantes.

Qualquer terreno pode ser compartimentado considerando-se as características do relevo, do substrato litológico, das estruturas, solo e vegetação.

Esta compartimentação pode ser executada em vários níveis de homogeneidade, de acordo com o detalhe de avaliação dos atributos ou feições do terreno.

O Sistema PUCE opera em quatro níveis de generalização: Província, Padrão do Terreno, Unidade do Terreno e Componente do Terreno.

1) Província - Associação limitada de padrões de terreno que está subordinada a um conjunto constante de rochas de um tipo definido. É considerada como uma área apresentando as seguintes características:

- ♦ Rochas de origem sedimentar ou vulcânica com geologia uniforme em nível de grupo;
- ♦ Rochas de origem plutônica com litologia uniforme e idade semelhante;
- ♦ Aluviões ou coluviões ocorrendo em uma forma singular de padrão de drenagem;

- ♦ Material eólico com litologia uniforme em uma bacia continental.

2) Padrão de Terreno - Associação limitada de unidade de terreno que formam paisagens distintas e reconhecíveis.

Apresenta uma consistente amplitude de relevo local, padrões de drenagem característico e densidade de drenagem uniforme. É uma paisagem essencialmente uniforme. Deve ser coincidente com a área representada por um modelo (forma) distintivo em fotografia aérea.

3) Unidade do Terreno - Associação limitada de componentes de terreno, que formam feições distintas e reconhecíveis do relevo tendo uma característica associação de solos e vegetação.

As classes são caracterizadas resumidamente com base nos seguintes itens:

- ♦ Superfícies planas ou com variante grau de ondulação;
- ♦ Os taludes entre as superfícies citados em (A) são suaves, íngremes ou escarpados;
- ♦ Morros isolados, cadeias de montanhas, etc. Exceto as que apresentam topos planos, deste modo serão classificados como em (A) e (B);
- ♦ Linhas de drenagem, lagos, etc.

4) Componente do Terreno - É a menor subdivisão do Sistema, sendo que a chave para sua definição está na determinação das características do talude.

Qualquer área do terreno pode ser considerada homogênea, com respeito aos taludes, quando estes, em seções independentes, mantém constantes as taxas de curvatura.

Esta unidade pode ser definida como uma área com as seguintes características:

- ♦ Feições estruturais e substrato litológico uniforme;
- ♦ Consistente associação de solo, em que cada camada deste é definida de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de solos, e em que o perfil completo é

caracterizado de acordo com classes de subdivisão das formas de perfil primário (FINLAYSON, 1982 *apud* SARAIVA, 1995);

- ♦ Associação de vegetação característica;
- ♦ Uma parte da micro-topografia, isto é, uma parte da paisagem que apresente as características citadas acima.

As escalas utilizadas nos quatro níveis de generalização do Sistema PUCE são:

Província: escalas de 1:250.000 ou menores;

Padrão do Terreno: escalas menores que 1:100.000;

Unidade do Terreno: escalas menores que 1:10.000;

Componente do Terreno: escalas maiores que 1: 10.000.

O Sistema PUCE para análise de terreno começa com um processo de interpretação de fotografia aérea, seguido por um período de trabalho de campo (AGUIAR, 1994).

As informações geotécnicas são coletadas em termos de diferenças significativas do terreno, que são determinadas pelo estágios de classificação do processo, e não baseadas em distâncias de um ponto de referência fixado arbitrariamente.

O uso deste método economiza esforço, custos de amostragem e testes pela eliminação de amostragens desnecessárias, onde nenhuma significativa mudança ocorreu no terreno.

Na Tabela 2.5 são demonstradas a relação entre alguns estágios de planejamento e classes de terreno apropriadas.

Tabela 2.5 - Estágios de Interpretação Quanto à Engenharia de Acordo com as Classes do Terreno (Modificado de GRANT, 1975)

CLASSES DO TERRENO	ESTÁDIO DE PLANEJAMENTO APROPRIADO PARA CONSTRUÇÕES
Província	- Exame da profundidade do substrato rochoso - Informe geral somente dos fatores específicos aos níveis mais inferiores da classificação
Padrão do Terreno	- Planejamento para estradas e ferrovias: - Terraplenagem (quantidade, equipamento) - Frequência de execução de pontes - Frequência de galerias, esgotos - Planejamento de pistas de pouso - Adequabilidade topográfica - Barragens - Adequabilidade topográfica - Escavações do subsolo afetadas por feições superficiais - Informe geral para fatores específicos nos níveis de classificação de unidade e componente do terreno
Unidade do Terreno	- Planejamento para estradas e ferrovias - Locação preferencial da "linha de referência" - Adequabilidade dos materiais naturais como base na rota estipulada - Fonte de empréstimo para barragens, aterros - Proporção de escavação em rocha - Planejamento de pistas de pouso - Locação - Adequabilidade dos materiais naturais como base - Proporção de escavação em rocha - Barragem - Locação - Fontes de empréstimo - Planejamento de obras - Locação - Informe para fatores específicos no nível de classificação componente do terreno
Componente do Terreno	- Trafegabilidade da superfície natural - Riscos (possibilidade) de inundação - Pavimentos de estrada e aeroportos - Adequabilidade dos materiais naturais como subleito - Fontes de empréstimo para materiais de pavimento (pedregulho, rocha para britar, etc.) e estimativa de quantidade - Fontes de empréstimo para agregados de concreto (areia, brita, etc.) e estimativa de quantidade - Fundações - Susceptibilidade à mudança de volume com a umidade - Susceptibilidade ao recalque - Reservatórios contidos por diques - Adequabilidade topográfica - Adequabilidade do material

2.7.5 - Metodologia de ZUQUETE (1987 e 1993)

O trabalho elaborado por ZUQUETTE (1987) intitulado "Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras" pode ser considerado como um marco na evolução dos estudos sistemáticos sobre levantamento geotécnico. Nesta obra, verifica-se uma nítida tendência metodológica voltada à elaboração de cartas dedicadas, especialmente, ao planejamento urbano (AGUIAR, 1989).

O levantamento de informações do meio físico deverá ser executado através de técnicas e métodos que sejam simples, baratos e objetivos. A aplicação da proposta não deve exigir equipe numerosa de profissionais especializados, assim como o esqueleto básico deve permitir a sua aplicação em escalas variadas (COSTA, 1995).

Esta metodologia teve como objetivo atender as condições Brasileiras e de regiões com aspecto sócioeconômico semelhantes, respeitando as seguintes características (ZUQUETE & GANDOLFI, 1990):

- ♦ Apresentar o menor custo possível, para não concorrer com investigação específica;
- ♦ Fornecer dados úteis;
- ♦ Permitir o acréscimo de informação;
- ♦ Servir a multifinalidades, tais como: obras de engenharia, saneamento, etc.;
- ♦ Fornecer informações úteis à proteção do meio ambiente;
- ♦ Auxiliar no desenvolvimento de projetos específicos;
- ♦ Fornecer aos administradores públicos dados relativos a orientação da ocupação do solo;
- ♦ Realizar amostragem dirigida dentro da região e na unidade considerada homogênea (áreas-chaves).

Na proposta metodológica em questão, o estudo de avaliação e especificações das unidades geotécnicas passa pelas seguintes etapas: levantamento e análise de informações já produzidas, reconhecimento dos atributos e identificação das unidades homogêneas.

Para obtenção dos atributos, deve-se proceder uma análise da forma e validade das observações (AGUIAR, 1997).

Para identificação dos atributos são utilizados todos os documentos levantados (mapas topográficos, geológicos, sondagens, fotoaéreas, etc.).

Após esta fase de levantamento dos documentos, inicia-se o mapa preliminar com unidades homogêneas (SOUZA, 1992).

Os trabalhos de campo com amostragem podem ser separados em investigações superficiais e subsuperficiais (estas por ser muito onerosas e trabalhosas devem ser ao máximo evitadas).

Terminada a etapa de campo, inicia-se os ensaios de laboratório, que possibilitam a caracterização prévia dos materiais:

Para os inconsolidados:

- Granulometria;
- Limite de Atterberg (LL e LP);
- Compactação (Proctor);
- Mineralogia;
- Comportamento laterítico (MCT);
- Características dos agregados;
- Densidade relativa.

Para materiais rochosos:

- Densidade;
- Mineralogia;
- Resistência à compressão.

Algumas propriedades como permeabilidade, compressibilidade, expansibilidade e resistência, devido ao alto custo de amostragem e execução dos ensaios, devem ter os seus índices obtidos por estimativa a partir de outros índices mais facilmente obtidos, permitindo a classificação dos atributos em faixas (alta, média e baixa).

Com relação às escalas, ZUQUETE (1987 e 1993) propõe a seguinte divisão:

- Escala Geral/Básica: menores que 1:1000.000
- Escala Regional: 1:100.000 a 1:25.000
- Escala Semi-detalhada/detalhe: 1:25.000 a 1:2.000

As escalas utilizadas estão diretamente ligadas à finalidade do mapeamento. Nas escalas gerais, destinadas ao planejamento regional, os grupos de atributos que melhor participam no estudo são: condições geomorfológicas, materiais rochosos e/ou inconsolidados e ocupação atual do solo.

Para as escalas regionais e de semi-detalle, sobretudo aquelas maiores que 1:50.000, integram-se à análise os seguintes componentes do meio físico: materiais inconsolidados e rochosos, elementos geomorfológicos, águas superficiais e subterrâneas, fatores climáticos e ações antrópicas (AGUIAR, 1994).

Para amostragem, considera-se os limites propostos por ZUQUETE (1993) conforme a Tabela abaixo.

Tabela 2.6 - Número mínimo de observações para amostragens
(Modificado de ZUQUETTE, 1993)

Finalidade	Escala	Locais Observados	
		QUALITATIVAMENTE	QUANTITATIVAMENTE
Básico	1: 250.000	Cristalino Sedimentar	1/10 km ²
		1/10 km ²	
	1: 100.000	4/10 km ² 3/10 km ²	2/10 km ²
Regional	1: 50.000	6/5 km ² 1/ km ²	3/10 km ²
	1: 25.000	3/ km ² 2/ km ²	1/10 km ²
	1: 25.000	5/ km ² 4/ km ²	4/10 km ²
Detalhe	1: 10.000	15/ km ² 15/ km ²	10/ km ²

As informações obtidas nas diversas fases do mapeamento são apresentadas na forma de três documentos:

A) Mapa das Condições Geotécnicas: caracteriza o meio físico sem delimitar as similaridade geotécnicas das áreas, sendo mais indicado para as escalas gerais;

B) Mapa de Zoneamento Geotécnico: separa porções do terreno geotecnicamente semelhantes sem, no entanto, considerar suas finalidades;

C) Mapa de zoneamento geotécnico específico: recomendado para trabalhos em escalas maiores que 1:50.000, onde as condições geotécnicas são agrupadas de modo a atender uma determinada finalidade.

Quatro categorias de documentos são levantadas e analisadas: mapas básicos fundamentais e opcionais, mapas auxiliares e cartas derivadas ou interpretativas:

1) Mapas Básicos Fundamentais:

É neste grupo de mapas que se representam os componentes do meio físico. Pertencem a este grupo os seguintes mapas:

- ♦ Mapa topográfico: praticamente controla a escala do trabalho, pois além de permitir a confecção da carta clinométrica, é sobre ele que serão colocadas as outras informações.
- ♦ Mapa geológico: representam os materiais inconsolidados e o substrato rochoso.
- ♦ Mapa de águas: devem fornecer informações sobre as condições hidrológicas (superficial) e hidrogeológica (subsuperficial).

2) Mapas Básicos Opcionais:

Todos os mapas disponíveis que contenham informações do meio físico estudado, com exceção dos citados anteriormente, são posicionados nesse grupo, e em função das características geotécnicas da região podem passar a fundamentais.

- ♦ Mapa pedológico: apresentam os materiais inconsolidados, até uma profundidade próxima de 3,0 metros. Fornecem informações da gênese e rocha-mãe dos diferentes materiais inconsolidados, composição mineralógica, índices físicos, textura, granulometria, permeabilidade, porosidade, matéria orgânica, etc.
- ♦ Mapa geofísico: possibilitam a avaliação relativamente rápida do comportamento de materiais para uso na construção civil, tanto em termos de rocha dura como de material inconsolidado, bem como a profundidade dos níveis da água subterrânea.
- ♦ Mapa geomorfológico: representa as características do meio físico como a morfologia, morfogênese e morfocronologia. Registram os processos geodinâmicos internos e externos.
- ♦ Mapa climático: retrata as variações climáticas da região relativas à pluviosidade, umidade, temperatura, evapotranspiração, insolação, direção e intensidade dos ventos e a outros fatores que compõem ou alteram as condições climáticas.
- ♦ Mapa de ocupação atual ou prevista: retrata a situação da ocupação e as aptidões da região, fornece subsídios para a seleção de áreas para determinada utilização.

3) Mapas Auxiliares:

O mapa de documentação ou de dados é usado no mapeamento geotécnico para registrar todos os locais de observações, qualitativas e/ou quantitativas, diferenciando as maneiras como foram obtidas as informações.

4) Cartas Derivadas ou Interpretativas:

São cartas originadas das interpretações realizadas sobre informações contidas nos outros mapas.

- ♦ Carta de Erodibilidade: retrata a susceptibilidade da região a erosão (erosividade e erodibilidade). No trabalho de ZUQUETE (1993) este documento recebeu a denominação de Carta de Potencial à Erosão.

- ♦ Carta para Escavabilidade: tem como objetivo retratar o comportamento dos terrenos frente a eventuais escavações, sendo os materiais avaliados segundo a resistência, condições de escavação.
- ♦ Carta para Deposição de Rejeitos Sépticos: avalia o comportamento do meio físico frente à deposição de rejeitos sépticos. Esta carta passou a ter um contexto mais amplo com o trabalho de ZUQUETE (1993), onde este documento recebeu a denominação de Carta para Disposição de Resíduos.
- ♦ Carta para Materiais de Construção: demarca na região, a ocorrência de materiais que possam ser explorados para a construção civil. Ela deve apresentar informações sobre utilidade dos materiais para transformação ou emprego direto, bem como suas características mineralógicas, estruturais e de alteração. ZUQUETE (1993) dá uma maior abrangência a esta carta, denominando-a de Carta de Potencial Mineral e de Materiais para Construção Civil.
- ♦ Carta para Obras Viárias: registra dados do meio físico que possam afetar tecnicamente e economicamente uma obra viária. Fornece informações para as fases que vão desde o início do projeto até o planejamento regional ou urbano. No trabalho de ZUQUETE (1993) este documento recebeu a denominação de Carta para Estradas.
- ♦ Carta para Obras Enterradas: orienta sobre as condições do meio físico que possam afetar os custos e a qualidade das obras que estarão em contato com materiais do meio físico. No trabalho de ZUQUETE (1993) este documento também passou por modificações recebendo a denominação de Carta para Estradas.
- ♦ Carta para Estabilidade de Taludes: demonstra as condições de estabilidade dos taludes e estabelece prognósticos quanto a possíveis problemas de movimento de materiais.

- ♦ Carta para Fundações: demonstra a capacidade de carga dos solos a instalação de fundações superficiais e profundas, analisando diferentes profundidades (2,5,10 e 15 metros) diminuindo desta maneira os custos e tempo de trabalho.
- ♦ Carta para Irrigação: Indica geotécnicamente as áreas com melhor potencial para a irrigação em função dos atributos do meio físico.
- ♦ Carta de Restrições Ambientais: Orienta o planejamento, uso e ocupação do meio físico. Fornece dois grupos de informações:
  - 1º grupo - áreas de exploração de recursos naturais renováveis ou não;
  - 2º grupo - áreas de recarga de aquíferos e nascentes de rios, áreas permanentemente alagadas e para fins turísticos ou paisagísticos.
- ♦ Cartas para Orientação (Zoneamento): orienta na tomada de decisão, quanto as diversas formas de uso e ocupação do solo, do ponto de vista geotécnico. É confeccionada a partir dos documentos básicos e derivados. Suas unidades são definidas pelo peso de cada atributo, obedecendo a um dos seguintes critérios:
  - 1º Geral – define as unidades que melhor se enquadram nas necessidades das formas de ocupação;
  - 2º Parcial – quando existe para a mesma região, interesse em dois ou mais modos de ocupação, a serem implementados conjuntamente;
  - 3º Individual – quando houver uma única maneira de ocupação.

3 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

3.1 - Localização e Vias de Acesso

O Município de São Leopoldo-RS encontra-se inserido nas folhas topográficas de Novo Hamburgo (SH.22-V-D-VI-2) e São Leopoldo (SH.22-V-D-VI-4), na escala de 1:50.000, elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico, do Ministério do Exército (1978).

O Município de São Leopoldo - localizado na região metropolitana de Porto Alegre (RS) - possui uma área de 103,91 km² e está distante 34 km de Porto Alegre, sendo a principal via de acesso ao município a BR 116.

O município apresenta uma altitude média de 26 metros acima do nível do mar e tem o Morro de Paula como seu principal marco fisiográfico, com uma altitude de 302 metros. O Rio dos Sinos é a drenagem mais importante, com extensa planície de inundação.

A população do município, segundo o censo de 2000, é de 193.403 habitantes.

O Município de São Leopoldo faz limite com os municípios de Novo Hamburgo ao norte e nordeste, Estância Velha a noroeste, Portão a oeste e Sapucaia do Sul ao sul (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Mapa de localização do Município de São Leopoldo-RS
na região Metropolitana de Porto Alegre-RS
(Modificado de METROPLAN, 1995)

3.2 - A Fundação de São Leopoldo

Os primeiros moradores do Vale do Rio dos Sinos eram índios pertencentes às tribos dos Charruas e Minuanos. Vários achados arqueológicos, encontrados ao longo das margens do Rio dos Sinos, comprovam este fato.

Como ponto de partida da história de São Leopoldo, vários pesquisadores apontam como a chegada de um dos primeiros desbravadores do interior rio-grandense, Antônio de Souza Fernando, que provindo da Colônia de Sacramento, em 1735, fixou-se em um dos raríssimos estabelecimentos então construídos, a fazenda Sapucaia no local conhecido como "Fachinal do Courita".

Nas imediações da denominada fazenda Sapucaia, outros moradores ocuparam vastas áreas de terras, simplesmente conhecidas por Estância Velha.

Em 1783 foi fundada, no Rincão do Canguçu, localidade hoje pertencente ao município de Pelotas, uma feitoria, onde, centenas de escravos, sob a orientação de capatazes e peritos portugueses, iniciaram o cultivo do linho cânhamo, importante fonte de fibras para a fabricação de cordas, cabos e velas de que tanto necessitava a Real Armada Portuguesa para manter o seu vasto império colonial.

Porém, devido à infertilidade das terras, os resultados foram negativos e não corresponderam às expectativas.

Por proposta dos dirigentes da empresa, esta foi transferida, em 1788, para as margens do Rio dos Sinos, no lugar denominado "Fachinal do Courita", nome que mais tarde foi mudado para "Real Feitoria do Linho Cânhamo" (FORTES, 1960).

Iniciada a mudança do estabelecimento de Canguçu, em 25 de setembro de 1788, chegou à feitoria, em 14 de outubro do mesmo ano, uma caravana, chefiada pelo inspetor Moraes Sarmento e pelos feitores João Martins e Matias Martins.

Moraes Sarmento iniciou com coragem o trabalho, construindo casas e ranchos para abrigo dos empregados e de seus escravos. Foram preparadas as roças, sendo lançadas ao solo as primeiras sementes.

Todavia, o resultado do estabelecimento estava longe de compensar os gastos investidos. A colheita do linho cânhamo nunca chegou a produzir mais de 330 arrobas (FORTES, *op cit.*).

Em 1801, Moraes Sarmento é substituído pelo padre Antônio Gonçalves da Cruz, que consegue levantar um pouco a produção. No entanto, dado a infligir maus tratos aos escravos, que eram, muitas vezes, barbaramente castigados, morreu assassinado em 1815, por um escravo.

Seguiu-se como inspetor, o tenente José Manuel Antunes da Frota, que toma posse no ano seguinte. Foram quatro anos de uma péssima administração, que quase levaram a bancarrota definitiva a feitoria.

Com a morte prematura de José Manuel Antunes da Frota, é nomeado como inspetor, em julho de 1820, José Thomaz de Lima.

Com a independência do Brasil em 7 de setembro de 1822, o estabelecimento passou a denominar-se "Imperial Feitoria do Linho Cânhamo".

Porém, apesar da boa vontade de José Thomaz de Lima, o estabelecimento não consegue se recuperar da péssima administração implementada por José Manuel Antunes da Frota. A decadência tinha tomado tal vulto, que não foi mais possível impedir o fracasso total, que veio irremediavelmente, obrigando o governo a suspender definitivamente as suas tentativas e experiências.

Já em 1725, o "Conselho Ultramarino" sugeria a remessa de açorianos para as terras de além-mar e, quando estes não eram suficientes, conseguia casais estrangeiros, sendo alemães e italianos e outras nações que não castelhanos, ingleses, holandeses e franceses (FORTES, 1960).

A restrição contida na última parte da sugestão do Conselho Ultramarino era motivado pela inexistência de colônias destes países, no continente sul americano.

Tentativas de colonização, além da açoriana, já haviam sido feitas em 1881 e 1819 em Santa Leopoldina (Ba) e Nova Friburgo (RJ) com imigrantes suíços.

A Suíça porém, país pequeno, onde não havia excesso de população, pouco poderia contribuir com um fluxo constante de imigrantes para o Brasil.

Voltaram-se, por isso, as atenções do governo para a Alemanha, onde, após as guerras napoleônicas, os agentes brasileiros encontrariam vasto campo de ação para sua propaganda.

Com o intuito de incentivar a migração européia para o Brasil, foi criado, pelo governo Imperial, um departamento especial para atender o serviço da colonização, tendo sido nomeado para dirigir essa inspetoria, em 23 de dezembro de 1823,

monsenhor Pedro Machado de Miranda Malheiro, sendo encarregado o major alemão José Antônio Schaeffer de contratar colonos para o empreendimento projetado e de aliciar mercenários para o Exército Imperial.

O governo brasileiro, através de José Antônio Schaeffer, começa a divulgar boletins impressos, em que prometiam, aos que resolvessem emigrar, várias vantagens, sendo as principais:

- 1) Pagar as passagens dos alemães que quisessem vir a colonizar o Brasil;
- 2) Conceder a cidadania brasileira a todos os colonos;
- 3) Liberdade de culto religioso;
- 4) Dar a cada chefe de família, uma propriedade, demarcada, com área de 160.000 braças quadradas;
- 5) Isenção durante 10 anos de quaisquer tributos com o Estado;
- 6) Pagar a cada colono, diariamente, durante o primeiro ano, a quantia de um franco e no segundo ano, a metade por cabeça, indistintamente.

Em 31 de março de 1824, o desembargador José Feliciano Fernandes Pinheiro, presidente da Província do Rio Grande do Sul, recebeu do Governo Imperial uma portaria em que era comunicada a resolução de fundar uma colônia de alemães nas terras da Feitoria do Linho Cânhamo.

Em fevereiro de 1824, o navio *Wilhelmine* parte de Porto de Hamburgo, com a primeira leva de imigrantes para as terras brasileiras, formando um grupo de 45 pessoas, que chegam ao Rio de Janeiro, em 22 de abril do mesmo ano, seguindo algumas semanas depois para Porto Alegre, no bergantim *Protetor*.

No dia 18 de julho, chegam em Porto Alegre e, no dia 25 de julho de 1824 desembarcam no Porto das Telhas em São Leopoldo os 39 primeiros imigrantes alemães, fundando a primeira colônia Alemã, no Rio Grande do Sul.

Não sendo ainda demarcados os lotes coloniais, tiveram autorização de iniciarem suas primeiras plantações nas roças abandonadas do velho estabelecimento do governo, na Feitoria do Linho Cânhamo.

Deu-se início, desta maneira, a colonização alemã no Rio Grande do Sul, o que ocasionaria uma profunda modificação na estrutura fundiária do Estado com a introdução do minifúndio, da policultura e do trabalho familiar.

A partir deste grupo precursor, sucessivas levas de imigrantes ingressaram na região de São Leopoldo, conforme dados do arquivo municipal. De 1824 a 1854 desembarcaram em São Leopoldo 7491 imigrantes.

De 1854 até 1859, quando foi proibido pelo governo Alemão a emigração para o Brasil, não existem dados precisos sobre o número de imigrantes que entraram na região de São Leopoldo.

Com o surgimento das primeiras casas de comércio, São Leopoldo passaria a fornecer alimentos e produtos manufaturados às demais regiões do Estado, desenvolvendo a economia e fazendo com que, em 12 de abril de 1846, fosse elevada à categoria de cidade.

3.3 - Trabalhos Realizados na Área

São Leopoldo, como a maioria dos municípios do Rio Grande do Sul, não conta com trabalhos de caracterização do meio físico ou com trabalhos específicos de mapeamento geológico-geotécnico.

Entre os poucos trabalhos realizados de caracterização do meio físico da região, destaca-se o trabalho de Mapeamento Geológico, Estratigrafia, Recursos Minerais e Paleontologia realizado por ANDREIS *et al.* (1984), na escala 1:100.000, nas folhas de São Leopoldo - RS e Novo Hamburgo - RS.

Outro trabalho realizado na região, este na escala 1:50.000, foi o Mapa Geológico da folha de São Leopoldo - RS, realizado por ZELTZER *et al.* (1992).

Os trabalhos realizados, especificamente, na área do Município de São Leopoldo foram os elaborados pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SEMMAM, num projeto que visava a caracterização do meio físico do município, através de uma série de cartas temáticas, voltado ao planejamento municipal e à gestão ambiental. Entre eles destacam-se o Mapa Geológico elaborado na escala 1:50.000, por COLLAÇO *et al.* (1996) e o Mapa Geomorfológico, na escala 1:50.000, por RODRIGUES *et al.* (1996).

3.4 - Geomorfologia Regional

O Município de São Leopoldo encontra-se situado na unidade geomorfológica denominada de Depressão Central (CARRARO, 1974), onde observam-se rochas gonduânicas e cenozóicas, determinando um relevo rebaixado e suavemente ondulado, separando, com isso, as províncias do Escudo Sul-Rio-Grandense ao sul e do Planalto ao norte (Figura 3.2).

A Depressão Central caracteriza-se por apresentar um relevo sem grandes variações altimétricas. As formas dominantes são as colinas alongadas, de topo convexo, conhecidas popularmente por "coxilhas". Ao lado destas formas ocorrem vastas superfícies planas, rampeadas, recobertas por colúvios, com dissecação incipiente e mapeadas como superfícies pediplanadas. Os vales dos rios são, geralmente, largos e de fundo plano, apresentando-se encaixados nas cabeceiras.

O padrão de drenagem é dendrítico e, algumas vezes, quando encaixada em falhamentos, passa para retangular.

Figura 3.2 - Mapa Geomorfológico do Rio Grande do Sul
(Modificado de CARRARO, 1974).

Observando-se a área drenada pelo Rio dos Sinos, consegue-se avaliar, de forma melhor, as modificações que ocorrem no relevo, quando são comparados aos diversos domínios morfo-estruturais.

Em seu curso superior, à montante, o Rio dos Sinos está inserido em um compartimento de relevo fortemente escarpado, apresentando um modelo do tipo dissecação, que obedece a um controle estrutural evidenciado por sulcos e vales pluviais profundos.

Este modelo ocorre sobre rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que quando decompostas, acumulam-se como material sedimentar nos vales (IBGE/SEPLAN, 1986).

Seu curso médio situa-se na área de ocorrência da Formação Botucatu, com relevo constituído por amplas áreas planas, que se interpenetram com as formas de dissecação, que foram já descritas.

As rochas areníticas afloram em rupturas do relevo, que determinam o início dos modelos de acumulação. Neste trecho, aparecem alguns morros testemunhos da Formação Serra Geral e Formação Botucatu.

O curso inferior do Rio dos Sinos é caracterizado por um relevo de colinas ("coxilhas"), resultante da atuação dos processos modeladores. As vertentes apresentam textura de drenagem grossa e baixa declividade.

Este relevo de colinas está bem delimitado pelas planícies de inundação dos rios da região, caracterizados por extensas rampas planas cobertas por espessas camadas de argila.

Os terrenos cenozóicos são representados pelas planícies aluviais que estão sendo construídas, atualmente, pelos rios da região, formando extensas áreas planas, como é o caso do Rio dos Sinos, de material predominantemente argiloso, além dos depósitos de encostas formados por leques aluviais que evoluíram a partir do transporte de material erodido das terras mais elevadas.

3.5 - Aspectos Pedológicos

Os solos da região do Município de São Leopoldo, segundo o mapa de reconhecimento de solos do Projeto RadamBrasil (1986), escala 1:1.000.000, são compostos basicamente por três unidades de solos:

- ♦ TR (Terra Roxa Estruturada + Brunizem Avermelhado);
- ♦ PL (Planossolo + Solos Glei);
- ♦ PV (Podzólico Vermelho Amarelo + Podzólico Vermelho Escuro).

As unidades PV e TR são formadas pelos solos ditos tropicais. Constituem perfis nos quais é possível identificar os horizontes lateríticos e saprolíticos.

Para LEMOS *et al.* (1973), em estudos na região, na escala 1:750.000, estas mesmas unidades foram regionalmente denominadas de Unidade Pituba (Classificação: Laterítico Bruno Avermelhado), Unidade Vacacaí (Classificação: Planossolo) e Unidade Bom Retiro (Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo).

Estas unidades pedológicas ocorrem, respectivamente, nas áreas dos derrames basálticos, dos sedimentos quaternários e dos arenitos e apresentam perfis de solos de evolução genética, variando de intermediária a medianamente desenvolvida.

3.6 - Geologia da Região

No mapeamento geológico das folhas de São Leopoldo - RS e de Novo Hamburgo - RS, realizado por ANDREIS *et al.* (1984), na escala 1:100.000, foram mapeadas as seguintes unidades litoestratigráficas (Tabela 3.1):

3.6.1 - Grupo Itararé (Permiano Inferior)

3.6.1.1 - Formação Rio do Sul: Composta por siltitos arenosos/arenitos muito finos, com intercalações de até 30cm de espessura de arenitos médios e grossos, e coloração cinza-claro, em fratura fresca e coloração amarelada na superfície dos afloramentos.

A forma das camadas é sempre tabular, de pequena espessura (até 15cm). A laminação plano-paralela é a estrutura primária mais comum, principalmente nos sedimentos várvidos.

O contato superior com a Formação Rio Bonito não aflora nas folhas, mas é considerado gradacional pela maioria dos pesquisadores.

3.6.2 - Grupo Guatá (Permiano)

3.6.2.1 - Formação Palermo: Não aflora nas folhas de São Leopoldo e Novo Hamburgo, mas é encontrada em testemunhos de sondagem na folha de São Leopoldo.

A Formação Palermo, na região, apresenta duas fácies: a inferior, constituída, predominantemente, por arenitos finos a muito finos, de cores cinzentas, exibe estratificação cruzada tabular, laminação plano-paralela e laminação *flaser*. A fácies superior é composta, essencialmente, por fácies pelíticas, com delgadas intercalações arenosas. Apresenta tonalidades mais escuras que a inferior e as estruturas mais comuns são a laminação plano-paralela e a estratificação cruzada lenticular.

3.6.2.2 - Formação Rio Bonito: Ocorre apenas na parte sudeste da folha de São Leopoldo, com raras exposições. Em afloramento, apresenta-se constituída por intercalações de argilitos e arenitos finos, com até 40cm de espessura, de cor cinza-claro.

Os arenitos possuem estratificação cruzada acanalada e crostas silificadas. Impressões de folhas e talos ocorrem nos pelitos. Em testemunho de sondagem, os pelitos são dominantes sobre os arenitos, apresentando, localmente, estratificação

lenticular, horizontes de raízes e camadas de carvão. Estruturas de escorregamento são comuns nos pelitos.

3.6.3 - Grupo Passa Dois (Permiano Superior)

3.6.3.1 - Formação Rio do Rastro: Esta formação não apresenta bons afloramentos nas folhas de São Leopoldo e Novo Hamburgo, mas em testemunhos de sondagem mostra-se, predominantemente, arenosa (60%), com pelitos (39%) e ruditos (1%) subordinados. As cores são predominantemente avermelhadas, coexistindo tonalidades amareladas e esverdeadas.

Os arenitos são quase sempre finos, com raras intercalações de arenitos médios e grossos. As estruturas primárias são abundantes, destacando-se as estratificações lenticulares, acamadamento *wavy* e *flaser*, estratificações cruzadas tabulares de pequena e grande escala e laminação plano-paralela. Também ocorrem níveis com fendas de ressecamento.

O contato com a Formação Estrada Nova, inferior, é gradacional.

3.6.3.2 - Formação Estrada Nova: Possui pequena distribuição na área mapeada. Tanto em afloramento, quanto em testemunhos de sondagens, apresenta-se, essencialmente, pelítica, com delgadas intercalações de arenitos finos e médios.

As cores cinzentas são características da parte inferior da unidade. Em direção ao topo, começam a ocorrer tonalidades avermelhadas, vinculadas ao aumento do teor de areia.

A seqüência inferior da unidade (Membro Serra Alta) é formada por argilitos maciços ou laminados, com raras intercalações centimétricas de arenito fino. No topo desta seqüência, o teor em areia nos pelitos aumenta gradativamente, refletindo-se no aparecimento da estratificação lenticular, além do aumento de freqüência e espessura das intercalações arenosas (Membro Terezina).

A parte superior da formação é predominantemente siltica e torna-se comum, neste intervalo, o acamadamento de tipo *wavy*. Os arenitos são maciços ou apresentam estratificação *flaser*. As litologias de toda a unidade são cortadas por veios sub-verticais a horizontais, de sílica fibrosa, com 3 a 5cm de espessura.

3.6.3.3 - Formação Irati: Não aflora nas folhas de São Leopoldo e Novo Hamburgo, porém é comumente encontrada em testemunhos de sondagem na região.

Esta unidade é constituída por argilitos maciços, de coloração cinza-escura, freqüentemente betuminosos. São comuns as intercalações de calcários e margas. O limite superior, com a Formação Estrada Nova, é gradacional e definido no desaparecimento das camadas de folhelhos betuminosos e calcários.

3.6.4 - Grupo Rosário do Sul (Triássico)

3.6.4.1 - Formação Sanga do Cabral: Constituída, predominantemente, por arenitos arcoseanos e sub-arcoseanos, finos e médios (80%), ocorrendo também pelitos (19%) e raros ruditos intraformacionais (1%). As cores vermelhas e castanho-avermelhadas são as mais comuns. Secundariamente, aparecem cores branca e púrpura.

Estratificações cruzadas acanaladas e tabulares, de pequena e grande escala, e laminação plano-paralela encontram-se, normalmente, presentes nos siltitos. Conglomerados intraformacionais são comuns na base da unidade. As camadas são sempre lenticulares.

A natureza do contato superior, com a Formação Botucatu, não é de todo conhecida, supondo-se que seja discordante. O contato inferior, com a Formação Rio do Rastro, é concordante e arbitrado no crescimento das camadas de arenito com estratificação cruzada acanalada e conglomerado.

3.6.5 - Grupo São Bento (Triássico Superior - Cretáceo)

3.6.5.1 - Formação Serra Geral: Rochas de composição basáltica com algumas intercalações lenticulares de arenitos finos e médios, com estratificação cruzada cunha-planar.

Ocorrem sills e diques de diabásio, gabros e piroclásticas, com cores que variam desde cinza escuro até tonalidades mais claras.

O contato inferior, com a formação Botucatu, é discordante.

3.6.5.2 - Formação Botucatu: Composta, essencialmente, por arenitos finos e médios, de cores avermelhadas e amareladas.

As estruturas primárias mais comuns são a laminação plano-paralela e as estratificações cruzadas de tipo cunha-planar, tabular e acanalada, de pequena a muito grande escala. No interior das lâminas ocorrem fluxos de areia e ondulações cavalgantes translantes.

Apresenta, na região, duas fácies mineralogicamente distintas, sendo a inferior caracterizada pelo maior teor em silte, cor avermelhada, composição feldspática e friabilidade; enquanto a superior é melhor classificada: arenito médio, quartzoso, de cor amarelada e muito silicificado. As estruturas primárias são as mesmas nas duas fácies, embora a laminação plano-paralela seja mais comum na inferior. O contato entre elas parece ser gradacional.

3.6.6 - Cenozóico

Depósitos inconsolidados, arenosos, possivelmente relacionados com terraços antigos dos rios Gravataí e Sinos.

3.6.7 - Recente

Depósitos modernos dos rios Gravataí, Sinos e Jacuí, com amplo desenvolvimento de planícies aluviais, onde são encontrados banhados e solos hidromórficos.

Tabela 3.1 - Coluna Estratigráfica proposta por Andreis *et al.* (1984) para as folhas de São Leopoldo e Novo Hamburgo. As linhas onduladas significam contato discordante e as tracejadas contato gradacional.

ESTRATIGRAFIA	GRUPO	FORMAÇÃO
Cenozóico/Recente	Areias e Terraços Antigos	
Triássico Superior	São Bento	Serra Geral
a Cretáceo		Botucatu
	Rosário do Sul	Sanga do Cabral
		Rio do Rastro
	Passa Dois	Estrada Nova
Permiano		Irati
	Guatá	Palermo
		Rio Bonito
	Itararé	Rio do Sul
Pré-Cambriano	Embasamento	Cristalino

3.7 - Cobertura Vegetal

Conforme o Mapa Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, elaborado pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SEMMAM (2000), a cobertura vegetal original da bacia do Rio dos Sinos é composta pela:

Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica): a composição florística caracteriza-se por ser urna floresta latifoliada correlacionada com índices de temperatura e chuva mais elevados, características da zona litorânea do norte do Estado. Esta floresta caracteriza-se por apresentar uma grande heterogeneidade, formando um estrato superior denso e contínuo, com predominância das Lauráceas,

com diversas espécies de canela, e Mirtáceas como guamirins (*Myrcia pubipetala* e *M. glabra*). No estrato das arvoretas podemos citar a presença do palmitheiro (*Euterpe edulis*).

O estrato herbáceo é formado principalmente pelo caité (*Calathea spp*) e o bico-de-papagaio ou caité-banana (*Heliconia velloziana*).

No interior da floresta encontra-se uma riqueza extraordinária de cipós das famílias das Sapindáceas, Hipocrateáceas e Bignoniáceas.

Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária): ocorre, predominantemente nas regiões ecoclimáticas do Planalto Superior-Serra do Nordeste, além da região da Encosta Inferior da Serra do Nordeste.

Esta área é caracterizada pela ocorrência de florestas com pinheiro (*Araucaria angustifolia*) e pela presença de pinhais em contato com os campos de cima da serra.

Esta floresta com pinheiros caracteriza-se pela predominância absoluta do pinheiro no estrato superior e por um denso sub-bosque, constituído, principalmente, por Lauráceas (canelas) e Mirtáceas (guamirins, cambuins e araçazeiros).

Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Submontana): esta área apresenta-se totalmente desbravada, com predomínio dos cultivos agrícolas do fumo, milho, feijão e áreas de pastagem, na sua maior parte estabelecidas em pequenas propriedades rurais.

A cobertura floresta foi quase que totalmente removida ou descaracterizada, restando apenas reduzidos agrupamentos florestais em áreas de difícil acesso.

Algumas áreas desfavoráveis para as lavouras estão sendo abandonadas e cederam espaço para uma vegetação secundária, a capoeira.

Entre as espécies desta formação, podemos citar o mata-olho (*Pachystroma longifolium*) e a batinga (*Eugenia rostrifolia*).

Floresta Estacional Decidual: esta formação vegetal, originalmente, ocorria em áreas da encosta da Serra Geral, na parte oeste do Vale do Rio dos Sinos.

As florestas eram dominadas pela grápia (*Apuleia leiocarpa*) no estrato emergente, além do angico-vermelho (*Paraptadenia rigida*), a cabreúva (*Myrocamus frondosus*) e a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*).

Mesmo ocorrendo numa área desfavorável para a agricultura, esta formação foi quase que totalmente devastada, restando amostras destas florestas nas encostas íngremes e de difícil acesso.

Áreas de Tensão Ecológica: as áreas de tensão ecológica caracterizam-se pela existência de contato entre diversas formações vegetais do Rio Grande do Sul, sem que ocorra uma mistura das características florísticas de cada grupamento.

Vegetação com Influência Fluvial: nesta área ocorrem formas vegetais adaptadas aos solos pobres e arenosos, tratando-se de locais brejosos e sujeitos às inundações.

Entre as espécies arbóreas ocorrentes podemos destacar o salseiro (*Salix humboldtiana*), o sarandi (*Sebastiania klotzschiana*), o maricá (*Mimosa birmucronata*) e o ingazeiro (*Inga uruguensis*). Parte destas áreas foram drenadas e transformadas em lavouras do arroz.

3.8 - Elementos do Clima

O clima, na latitude entre os paralelos de 23° a 52° - região de São Leopoldo - segundo a classificação de Koeppen, é do tipo "C", mesotérmico sub-tropical, mas com períodos de temperado. Apresenta meses com temperatura média inferior a 18 °C (Celsius), porém, superior a -3°C, pelo menos um mês acima de 10°C.

A sub-categoria é "F", úmido. A precipitação é uniformemente distribuída durante o ano. A variação é "a", verão muito quente com temperatura média do mês mais quente, acima de 22°C.

Apresenta uma estação fria, na qual, pelo menos um mês possui temperatura inferior a 18°C. A variação da temperatura é muito significativa. Do mesmo modo, a variação das condições do tempo é muito grande, pois a região está situada numa faixa limítrofe entre a influência das massas de ar tropical e as massas de ar polar, em

consequência, apresenta grande atividade frontal. Formação de frentes frias e de frentes quentes numa alternância semanal.

Nas tabelas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7 são apresentados alguns elementos climáticos do Município de São Leopoldo, obtidos na Estação de Observação Meteorológica José Soares Lima, nos últimos 37 anos.

Tabela 3.2 - Temperatura

Temperatura
Média anual: 19,7 ⁰ C
Média da máxima: 25,5 ⁰ C
Média da mínima: 15,4 ⁰ C
Máxima absoluta: +40,4 (positivo)
Mínima absoluta: -0,6 (negativo)

Tabela 3.3 - Média Pluviométrica

Precipitação Pluviométrica
Média anual: 1.626,0 mm
Mês com menor chuva (março): 91,4 mm
Mês com maior chuva (junho): 159,4 mm
Precipitação máxima absoluta: 113,7 mm

Tabela 3.4 - Umidade Relativa do Ar

Umidade Relativa do Ar
Média anual: 76%
Menor índice registrado: 19%
Maior índice registrado: 100%
Mês mais seco (dezembro): 68%
Mês mais úmido (junho): 84%

Tabela 3.5 - Índice de Evaporação

Evaporação
Índice Anual: 778,0 mm
Índice mínimo (junho): 31,1mm
Índice máximo (dezembro): 90,4mm

Tabela 3.6 - Pressão Atmosférica

Pressão Atmosférica
Média anual: 1011,7 hPa
Índice extremo (pressão baixa): 989,5 hPa
Índice extremo (pressão alta): 1037,0 hPa
Pressão atmosférica normal: 1013,2 hPa

Tabela 3.7 - Direção predominante dos Ventos

Vento	
Direção Predominante	Porcentagem Anual
Leste/Sudeste	45%
Oeste/Sudoeste	17,5%
Norte/Nordeste	13, %
Noroeste	9,8%
Intensidade Máxima absoluta: 110 km/h	

4 - MÉTODOS E MATERIAIS

Esta dissertação não seguiu uma metodologia específica de cartografia geotécnica ou propõe uma proposta metodológica de mapeamento geotécnico, mas sim a adaptação de metodologias já existentes e que se adequassem à realidade socio-econômica e às características do meio físico do Município de São Leopoldo - RS.

Da análise das principais metodologias existentes, voltadas ao planejamento urbano, observa-se um nível de detalhamento bastante grande para o bom desenvolvimento dos trabalhos, deduzindo-se, facilmente, que estas metodologias foram desenvolvidas para realidades e condições técnicas bem diferentes das realidades de conhecimentos geológico-geotécnicos existentes na maioria das cidades brasileiras.

Procurou-se, através da utilização das várias metodologias de mapeamento geotécnico, ligadas ao planejamento urbano, conduzir os trabalhos de maneira a se obter o maior número possível de informações que pudessem ser, objetivamente, úteis e aplicáveis ao planejamento urbano do Município de São Leopoldo.

4.1 - Levantamento dos Dados

- ♦ Revisão bibliográfica das metodologias de cartografia geotécnica, aplicadas ao Planejamento Urbano;
- ♦ Pesquisa bibliográfica dos trabalhos existentes na área do Município de São Leopoldo;
- ♦ Fotointerpretação preliminar para o reconhecimento das principais feições do meio físico;

- ♦ Primeira etapa de campo: fase de reconhecimento e identificação das principais litologias e formas de relevo, visando verificar as informações obtidas na fotointerpretação preliminar;
- ♦ Segunda etapa de campo: fase de reconhecimento dos perfis típicos dos materiais inconsolidados.

4.2 - Materiais Utilizados e Dados Anteriores

Na elaboração dos trabalhos foram utilizadas as seguintes fontes de informações:

- ♦ **Levantamento Aerofotogramétrico:**

- METROPLAN, ano 1971 escala 1:25.000 - AEROSUL;
- METROPLAN, ano 1990 escala 1:25.000 - ENGEFOTO;
- METROPLAN, ano 1990 escala 1:50.000 - ENGEFOTO;
- SEMMAM, ano 1990 escala 1:8.000 - ENGEFOTO.

- ♦ **Mapas Topográficos:**

- Folha Topográfica de Novo Hamburgo (SH.22-V-D-VI-2), escala 1:50.000 - Diretoria de Serviço Geográfico, do Ministério do Exército (1978);
- Folha Topográfica de São Leopoldo (SH.22-V-D-VI-4), escala 1:50.000 - Diretoria de Serviço Geográfico, do Ministério do Exército (1978);
- Mapa Topográfico da Região Metropolitana de Porto Alegre, escala 1:25.000 METROPLAN (1982).

- ♦ **Informações Pré-Existentes:**

A aquisição de informações geotécnicas pré-existentes, na área do Município de São Leopoldo, foi prejudicada, em virtude, principalmente, da inexistência de banco de dados e da prática comum de não se manter arquivos permanentes de dados geotécnicos.

Desta forma, foi possível cadastrar:

- 18 perfis de poços tubulares profundos - Hidrogeo Poços Artesianos Ltda.;

- 60 coeficientes de Infiltração do Solo (NBR 7229) - Solar Imobiliária Ltda.;
- 14 relatórios de sondagens para descrição das litologias, até a profundidade de 10m (FEPAM);
- 14 medidas da altura do lençol freático, em poços de monitoramento (FEPAM);
- 12 medidas da altura do lençol freático em sondagens - Solar Imobiliária Ltda.;

Por meio da observação destas sondagens, foram obtidas informações acerca, principalmente, da textura e espessura dos materiais inconsolidados, bem como, a constituição dos materiais rochosos.

4.3 - Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados durante o segundo semestre do ano de 2000 e no decorrer do ano de 2001. No total, foram locados 130 pontos de observação.

Em cada ponto de observação, foram verificadas as características dos perfis de materiais inconsolidados, dos afloramentos de rocha e das formas de relevo local.

Com o objetivo de promover uma sistematização das descrições dos pontos observados, durante os trabalhos de campo, foi elaborada uma ficha de campo (Figura 4.1) a partir do modelo proposto por BARISON (1995).

- Ficha de Levantamento de Campo -			
São Leopoldo-RS - Escala 1:25.000			
EESC/USP			
Departamento de Geotecnia		Data: / /	
Dados Básicos			
Ponto nº	Localização		
Coord. (GPS) km	UTMN:	UTME:	Altitude (m)
Situação - Folha:			
Tipo de afloramento:	Tipo de relevo:	Posição no relevo:	
Feição erosiva:	Tipo/dimensão:	Origem:	
Exploração mineral:	Finalidade		
Ocupação atual:	Cobertura vegetal:	Foto/filme	
Amostra nº:	Tipo:	Posição:	
Material Inconsolidado			
Mineralogia:	Classificação:		
Textura:	Unidade:		
Cor:	Contatos:		
Origem:	Intercalações:		
Estágio de alteração:	Continuidade lateral:		
Rocha original provável	Continuidade Vertical:		
Espessura:	Observação:		
Consistência:			
Material Rochoso			
Mineralogia:	Classificação:		
Textura:			
Cor:	Unidade:		
Litologia:			
Unidade geológica:			
Estruturas:			
Preenchimento:	Intercalações:		
Atitude(s):			
Grau de alteração:	Continuidade lateral:		
Grau de fraturamento:	Continuidade vertical:		
Observação:			

Figura 4.1 - Ficha de levantamento geológico-geotécnico de campo
(Adaptado de BARISON, 1995)

5 - DOCUMENTOS GRÁFICOS ELABORADOS

Neste capítulo, são apresentados os 10 produtos cartográficos resultantes dos trabalhos de caracterização geológico-geotécnica do Município de São Leopoldo - RS, os quais são os seguintes:

- Mapa de Documentação;
- Carta de Declividade;
- Mapa do Substrato Rochoso;
- Mapa de Formas de Relevo;
- Mapa dos Materiais Inconsolidados;
- Carta de Materiais de Construção e Problemas Ambientais;
- Mapa de Expansão Urbana;
- Carta para Disposição de Resíduos Sépticos;
- Carta de Adequabilidade à Escavação;
- Carta de Zoneamento Geotécnico Geral.

A seguir, são comentados os critérios e métodos utilizados na elaboração destes documentos, assim como, são feitas algumas considerações julgadas pertinentes ao assunto.

5.1 - Mapa de Documentação

Este documento (Anexo I) registra as várias informações reunidas da área de estudo, e tem como objetivo principal:

- ♦ Fornecer ao usuário as várias informações que embasaram a execução do documento utilizado;

- ♦ Funcionar como fonte de dados, podendo ser atualizado e utilizado em futuros trabalhos realizados na área.

A origem das informações utilizadas nesta carta foram:

- ♦ 130 pontos de observação em afloramentos de rocha e/ou material inconsolidado;
- ♦ 18 perfis de poços tubulares profundos;
- ♦ 60 ensaios de determinação do Coeficiente de Infiltração do Solo NBR - 7229;
- ♦ 14 medidas de altura do lençol freático de poços de monitoramento, instalados em postos de combustível;
- ♦ 14 relatórios de sondagens para descrição das litologias, até 10 metros de profundidade, em postos de combustível;
- ♦ 12 medidas da altura do lençol freático em sondagens realizadas para licenciamento de loteamentos.

Constam ainda neste documento as principais vias, a rede de drenagem, o limite municipal e os locais de extração de bens mineral em operação e desativados.

Não constam neste mapa os pontos 127, 128, 129 e 130 por se encontrarem fora da área municipal. Estes pontos foram utilizados para a análise e correlação com os perfis típicos de alteração que ocorrem na área do município.

O número de pontos observados (130) está abaixo do que recomendam as principais metodologias aplicadas ao Planejamento Urbano, as quais foram apresentadas na revisão bibliográfica.

Esta quantidade de pontos justifica-se pelo elevado grau de urbanização do município, pela homogeneidade das litologias do substrato rochoso e pelos materiais inconsolidados, bem como, pela dificuldade de acesso às áreas ao longo da planície aluvial do Rio dos Sinos.

5.2 - Carta de Declividade

Para a elaboração da Carta de Declividade (Anexo II), foi utilizado o mapa topográfico na escala 1:25.000 (METROPLAN) com equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, utilizando-se o método do gabarito (DE BIASI, 1991).

A carta de declividade é uma ferramenta indispensável para o planejamento urbano podendo ser utilizada como um instrumento de recomendação ou de restrição ao uso e ocupação do solo urbano (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Classes de Declividade em função das recomendações e/ou restrições para uso e ocupação do solo (modificada INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993)

Declividade	Recomendações/Restrições
< 2%	- Áreas impróprias às instalações de saneamento e canalização subterrânea de água. - Favorável à atividade agrícola intensiva.
2 - 5%	- Favorável à implantação de aeroportos, rodovias e ferrovias.
5 - 10%	- Exige práticas simples de conservação do solo. - Limite máximo para implantação de saneamento, ferrovias e indústrias.
10 - 15%	- Áreas recomendadas para pastagens ou reflorestamento. - Limite de vias principais e loteamentos perpendiculares às curvas de nível. - Limite máximo para implantação de projeto de engenharia pouco complexos.
15 - 20%	- Favorável à implantação do sistema viário local. - Favorável à implantação de lotes paralelos às curvas de nível. - Classe limite para implantação de residências individuais e estradas.
20 - 25%	- Classe limite para estruturas de engenharia.
25 - 30%	- Classe limite para o parcelamento do solo para fins urbanos.
30 - 47%	- Classe limite para o uso de áreas como recreação ou qualquer tipo de ocupação.

Para a área do Município de São Leopoldo, foram definidas sete classes de declividade, quais sejam: <2%; 2%-5%; 5%-10%; 10%-15%; 15%-20%; 20%-30%; > 30%.

A análise da carta de declividade permite verificar que a maioria da área do município apresenta o predomínio das classes de <2% e 2%-5%.

As classes de <2% e 2%-5% estão associadas às áreas de sedimentos atuais e cenozóicos encontrados ao longo da planície aluvial, terraços antigos e zonas de

várzea do Rio dos Sinos e dos arroios Portão, Manteiga, Cerquinha, Peão, Quilombo e Kruze.

As classes de 5%-10%, 10%-15%, 15%-20% e 20%-30% estão associadas à Formação Sanga do Cabral onde predomina a ocorrência de formas de relevo de colinas de média e baixa declividades.

As classes $> 30\%$ são as que apresentam as menores expressões em área e estão restritas a pequenas ocorrências, associadas a terrenos fortemente inclinados da Formação Sanga do Cabral e aos relevos escarpados, formados por rochas areníticas da Formação Botucatu, localizados na porção SE do município.

5.3 - Mapa do Substrato Rochoso

O mapa do substrato rochoso (Anexo III) foi elaborado mediante observações de campo e análise de fotografias aéreas, tendo como base os mapas geológicos produzidos por ANDREIS *et al.* (1984), na escala 1:100.000 e COLLAÇO *et al.* (1996), na escala 1:50.000.

Os contatos litológicos foram definidos através da análise de fotografias áreas na escala 1:50.000 e 1:25.000 e confirmados durante os trabalhos de campo.

A partir de observações de campo e de suas características macroscópicas, foram identificadas 4 unidades geológicas: Formação Sanga do Cabral, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e Recente/Cenozóico.

5.3.1 - Grupo Rosário do Sul

5.3.1.1 - Formação Sanga do Cabral: A Formação Sanga do Cabral representa 44% da área mapeada e está localizada na porção norte e sul do Município de São Leopoldo. Caracteriza-se por apresentar declividades baixas a médias (5 a 20%), com relevo suave e ondulado.

No Município de São Leopoldo, a Formação Sanga do Cabral apresenta duas fácies bem distintas: uma fluvial e outra eólica.

A fácies fluvial é constituída, predominantemente, por arenitos (90%), secundariamente, por pelitos (8%) e por conglomerados intraformacionais (2%).

Os arenitos são arcoseanos ou subarcoseanos, médios a finos, apresentando cores vermelhas e castanho-avermelhadas.

As estruturas primárias mais freqüentes são a estratificação cruzada acanalada (Foto 1), tangencial de pequeno a médio porte e laminação plano-paralela.

Uma das características marcantes desta fácies é a ocorrência de muscovita que, muitas vezes, serve como critério para diferenciar amostras da fácies fluvial da eólica.

As formas são predominantemente lenticulares e as paleocorrentes têm direção preferencialmente para nordeste.

Os pelitos apresentam-se ora maciços, ora com laminação plano-paralela.

Os conglomerados polimíticos, a base de seixos de quartzo, de rochas ígneas e metamórficas apresentam-se na forma de lentes, com espessuras de até 10 centímetros.

A fácies eólica é composta por arenitos médios e finos, quartzosos, com teores secundários de feldspato e silte.

Os arenitos são friáveis, de coloração avermelhada, apresentando como estrutura primária mais freqüente a laminação plano-paralela e a estratificação cruzada acanalada e tangencial de grande porte.

Uma característica marcante desta fácies é a total ausência de muscovita, o que os difere da fácies fluvial.

Esta unidade apresenta uma espessura em torno de 50 metros. As medidas de paleocorrentes são, preferencialmente, para sudeste.

Em alguns afloramentos, conglomerados intraformacionais, de até 50 cm de espessura, cortam estes corpos arenosos.

FACCINI (1989) interpreta a associação desta fácies como regiões de interdunas úmidas, relacionadas ao grande campo de dunas ou *paleoerg* da Formação Rosário do Sul.

5.3.2 - Grupo São Bento

5.3.2.1 - Formação Serra Geral: A presença de basaltos da Formação Serra Geral, no Município de São Leopoldo, restringe-se a uma pequena ocorrência no topo do Morro de Paula e compreende cerca de 1% da área de estudo.

Esta unidade é constituída por derrames basálticos toleíticos de coloração cinza avermelhada, textura afanítica e bastante alterados (Foto 2).

É comum a presença de amígdalas preenchidas por calcita e zeolita que representam o topo dos derrames do intenso vulcanismo fissural, que recobrem as formações gonduânicas da Bacia do Paraná.

Alguns diques de diabásio, com espessura de até 50 centímetros, de coloração cinza claro recortam os sedimentos eólicos da Formação Botucatu, na base do morro.

O contato do basalto com os arenitos da Formação Botucatu é discordante.

5.3.2.2 - Formação Botucatu: A Formação Botucatu é formada, predominantemente, por arenitos de origem eólica, compreende, aproximadamente, 5% da área de estudo e está restrita à parte sudoeste do Município de São Leopoldo, no limite com os municípios de Sapucaia do Sul e Novo Hamburgo.

É nesta formação que se encontram as maiores altitudes do município, com cota de 302 metros, formando um morro testemunho (Morro de Paula) com faces íngremes e alta declividade (> 50%), apresentando o topo aplainado.

A Formação Botucatu no Município de São Leopoldo é constituída por arenitos de composição, predominantemente, quartzosa, com granulação variável de média a fina, apresentando grãos foscos, arredondados, bem classificados, silicificados e de coloração amarela-avermelhada (Foto 3).

As estruturas primárias mais freqüentes encontradas no Morro de Paula são: estratificação cruzada acanalada e tabular de médio a muito grande porte, estratificação cruzada tangencial e laminação plano-paralela, com geometria lenticular.

As paleocorrentes medidas apresentam sentido, preferencialmente, para nordeste.

Estes arenitos vêm sendo largamente utilizados na construção civil, sendo empregados como alicerces e calçamentos.

5.3.3 - Recente/Cenozóico

Estes sedimentos compreendem cerca de 50% da área de estudo e estão localizados na parte central do Município de São Leopoldo.

Esta unidade é constituída pelos sedimentos atuais e cenozóicos encontrados ao longo da planície aluvial, terraços antigos e zonas de várzea do Rio dos Sinos e dos arroios Portão, Manteiga, Cerquinha, Peão e Kruze.

Estes sedimentos são formados, essencialmente, por seixos e areias quartzosas dos depósitos residuais do Rio dos Sinos, silte, argila e solos hidromórficos de sua zona de várzea.

Ao longo da planície de inundação do Rio dos Sinos, encontram-se inúmeros braços de meandros abandonados que são preenchidos por silte e argila, proveniente das constantes cheias do Rio dos Sinos.

Estes depósitos constituem uma importante fonte de matéria-prima para a indústria cerâmica da região.

Os terraços, que se destacam levemente na topografia dos depósitos da planície de inundação, são formados pela antiga zona de acumulação dos sedimentos do Rio dos Sinos.

Estes terraços são constituídos, predominantemente, por areias finas intercaladas com lentes de argila. Secundariamente, alguns terraços são de conglomerados, formados a base de seixos, principalmente de basalto, imersos numa matriz areno-siltosa.

5.4 - Mapa de Formas de Relevo

Este documento (Anexo IV) tem como objetivo a delimitação e caracterização das feições geomorfológicas que ocorrem no Município de São Leopoldo.

Este mapa foi confeccionado, tendo como base, as observações de campo, a análise de fotografias aéreas nas escalas 1:50.000 (METROPLAN-1990), 1:25.000 (METROPLAN-1990) e 1:8.000 (SEMMAM-1990), o mapa de declividade (Anexo II), o mapa do substrato rochoso (Anexo III) e o mapa dos materiais inconsolidados (Anexo V) do Município de São Leopoldo.

As formas de relevo foram definidas considerando os seguintes critérios: amplitude local, formas de topo e padrão de drenagem, expressão de colinas e declividade. Desta maneira, foram estabelecidas para a área do Município de São Leopoldo 3 unidades de formas de relevo (Foto 4):

- 1) *Planície Aluvial*;
- 2) *Colinas*;
- 3) *Morro Testemunho*.

1) *Planície Aluvial*: abrange 50% da área mapeada e é composta pelos sedimentos atuais e terraços subatuais depositados ao longo da planície de inundação do Rio dos Sinos e de seus principais tributários.

É uma região plana, apresentando as menores altitudes do município com cotas variando de 5 a 20 metros, com baixas declividades (< 2%).

A planície aluvial atual é a área inundada por ocasião das cheias do Rio dos Sinos, o que torna a unidade imprópria para o assentamento humano. Apresenta como paisagem característica os banhados e meandros abandonados (Foto 5). Predominam os solos hidromórficos, associados às areias quartzosas do Rio dos Sinos.

Os terraços correspondem à antiga zona de acumulação dos sedimentos do Rio dos Sinos. O limite dos terraços subatuais dos sedimentos da planície aluvial atual é marcado por uma pequena quebra morfológica com desníveis que variam de 2 até 10 metros.

Estes terraços apresentam espessos perfis de solo constituídos por material areno-argiloso e, localmente, apresentam intercalações de níveis de seixos e cascalhos.

Os terraços, por serem uma região predominantemente plana, com baixa declividade é a região que apresenta as maiores densidades de urbanização do Município.

2) *Colinas*: localizam-se nas porções norte e sul do município e correspondem a 44% da área mapeada. Predominam formas alongadas com vertentes plano-convexas, densidade de drenagem média a baixa e com padrão dendrítico (Foto 6).

Apresentam uma topografia suave com a presença de morros arredondados e arrasados.

Os morros arredondados apresentam declividades de 20 a 30%, com cotas que variam de 70 a 125 metros, com encostas convexas.

Os morros arrasados apresentam declividades de 5 a 20%, com cotas que variam de 20 a 80 metros, com encostas plano-convexas ou convexas.

Ao longo das encostas destas colinas é comum a presença de depósitos coluvionares com formas lenticulares, apresentando composição, predominantemente, areno-argilosa com espessuras que variam de 3 a 6 metros.

3) *Morro testemunho*: localizado na porção SE do município, representa o relevo residual formado por rochas areníticas da Formação Botucatu, correspondendo a 5% da área mapeada.

Este morro testemunho é o marco fisiográfico do município, com uma altitude de 302 metros, formando o Morro de Paula (Foto 7), área em que, nas últimas décadas, vem sofrendo graves problemas ambientais, devido a exploração indiscriminada de arenitos.

O Morro de Paula apresenta um topo aplainado, sendo que em alguns pontos são recobertos por derrames basálticos toleíticos.

As encostas são íngremes, na porção norte, e as vertentes apresentam declividades entre 50 a 70%. Na porção sul, as encostas apresentam declividades superiores a 70%, formando paredões rochosos abruptos.

Nas porções inferiores das encostas, ocorrem depósitos de tálus formados por blocos de rochas areníticas em matriz areno-argilosa.

Em épocas de precipitação prolongada, é freqüente a ocorrência de deslizamentos e escorregamento de massa.

5.5 - Mapa dos Materiais Inconsolidados

Este mapa (Anexo V) apresenta os materiais inconsolidados que ocorrem na área do Município de São Leopoldo.

Estes materiais foram definidos a partir dos trabalhos de campo, trabalhos anteriores, informações constantes dos mapas de Formas de Relevo e de Substrato Rochoso e de dados de sondagens e fotointerpretação.

O conhecimento das características geológico-geotécnicas dos materiais inconsolidados é de suma importância para o planejamento urbano, pois a grande maioria das estruturas e obras de engenharia localiza-se sobre a superfície do terreno, a qual é constituída, na maioria das vezes, por um manto de materiais inconsolidados, resultantes da atuação dos processos de intemperismo.

Neste trabalho, foi adotado o conceito de materiais inconsolidados utilizado por ZUQUETE (1987), ou seja, todo material sobrejacente à rocha, seja ele residual ou transportado.

A classificação de solos adotada para a descrição dos perfis de alteração pode ser observada na figura abaixo.

Figura 5.1 - Descrição de perfil de solo adotado para a área
(Adaptado de Bachion, 1997).

Os solos residuais englobam os níveis do saprolito, do residual jovem e do residual maduro. O solo retrabalhado é caracterizado pelo colúvio e materiais aluvionares.

Normalmente, os solos residuais e transportados são separados por uma linha de seixos. Esta separação não foi verificada na área do Município de São Leopoldo.

Na área de São Leopoldo foram definidas 4 unidades de materiais inconsolidados. Quando possível, cada unidade foi caracterizada por um perfil típico de alteração.

As 4 unidades identificadas foram as seguintes:

Unidade I:

Constituem os materiais aluvionares encontrados ao longo da planície aluvial, terraços antigos e zonas de várzea do Rio dos Sinos e de seus afluentes, constituindo um relevo plano e suave ondulado com declividades de até 5%.

Nas porções mais elevadas do terreno, que constituem as áreas de terraços, estes materiais apresentam textura arenosa, até a profundidade aproximada de 0,5 metros, a partir do qual ocorre uma transição abrupta para texturas mais argilosas.

Apresentam-se mal drenados, com cores cinzentas, característico de processos de gleização.

Nas porções mais baixas do relevo, que constituem as zonas de várzea, os materiais aluvionares apresentam textura argilosa.

Encontram-se muito mal drenados, de coloração preta, com altos teores de matéria orgânica.

Ao longo da planície aluvial do Rio dos Sinos é comum a associação destes materiais com lentes de areias quartzosas depositadas pelo Rio dos Sinos.

Não foi observado o desenvolvimento de um perfil típico de alteração para esta unidade.

Unidade II:

Esta unidade apresenta a menor abrangência no município, restringindo-se a uma pequena ocorrência no topo do Morro de Paula. O substrato rochoso desta unidade é representado por derrames de basalto toleítico.

A porção residual apresenta coloração vermelha escura, com alto teor de óxido de ferro, bem drenados, com textura argilosa e estrutura moderadamente desenvolvida em blocos angulares e subangulares, com cerosidade bem desenvolvida. Formam um horizonte plástico e pegajoso, de 1,0 a 3,0 metros de espessura (Foto 8).

O saprolito apresenta espessura de até 1,5 metros, com minerais em diferentes estágios de alteração, caracterizando um aspecto mosqueado a este horizonte (Foto 9).

A base do saprolito é formada por blocos rochosos de basalto, intensamente intemperizados.

Na Figura 5.2 é apresentado o perfil típico de alteração desta Unidade.

Unidade III:

Esta unidade está restrita à porção SE do município, na região compreendida pelo Morro de Paula.

A geomorfologia local é caracterizada por um relevo escarpado formando um morro testemunho com topo plano e faces bastante íngremes.

O substrato rochoso é composto por arenitos da Formação Botucatu, bem silicificados e de coloração amarela-avermelhada.

O perfil típico desta unidade (Figura 5.3) é representado por um solo residual, pouco evoluído, com textura arenosa de coloração vermelha-amarelada (Foto 10). São solos rasos, com até um 1,5 metros de espessura.

O saprolito é constituído por fragmentos angulosos de arenito com diferentes estágios de alteração. O saprolito, em geral, apresenta espessura em torno de 1 metro (Foto 11).

A estrutura original da rocha apresenta-se preservada podendo-se identificar, em vários afloramentos, estratificação cruzada acanalada e laminação plano-paralela.

Unidade IV:

Esta unidade localiza-se nas porções NW e SE do Município de São Leopoldo, ocupando as áreas urbanas e de expansão urbana. Desta maneira, torna-se

de grande importância o conhecimento de suas características geológico-geotécnicas para o planejamento urbano.

A Unidade IV ocorre onde o substrato rochoso é constituído por arenitos da Formação Rosário do Sul e está associada a um relevo de colinas de média e baixa declividades, onde predominam formas alongadas com vertentes plano-convexas. A topografia é suave, com presença de morros arredondados e arrasados e cotas que variam de 20 a 125 metros.

O perfil típico desta unidade (Figura 5.4) é representado por um solo residual maduro, bem desenvolvido, com boa drenagem interna, espessuras entre 0,5 a 2 metros e coloração bruno-acinzentada.

A textura é arenosa a areno-siltosa, com estrutura francamente desenvolvida, granular ou em blocos subangulares, apresentando-se extremamente friável, com consistência não plástica e não pegajosa.

O solo residual jovem exhibe espessuras de 3 a 5 metros, com coloração vermelho-amarelado a vermelho-escuro.

A textura deste solo é argilo-arenosa a argilosa, com estrutura de moderada a fortemente desenvolvida em blocos subangulares a angulares, sendo ligeiramente plástica e pegajosa.

Nas fotos 12a e 12b são apresentados os solos residuais desta Unidade.

ORLANDINI (1991), em ensaios de Difração de Raios - X, realizados em materiais inconsolidados desta unidade (Unidade IV), no município de Novo Hamburgo, identificou a caulinita como o argilo-mineral predominante nos horizontes residuais desta unidade.

O saprolito é representado por materiais em vários estágios de alteração dos arenitos da Formação Rosário do Sul, com espessuras entre 10 a 15 metros.

Quando o substrato rochoso é formado por arenitos da fácies fluvial, o saprolito apresenta uma textura silto-arenosa a argilo-arenosa. Quando o substrato rochoso é composto por arenitos da fácies eólica o saprolito apresenta uma textura arenosa a silto-arenosa (Foto 13).

NUNEZ (1991), ao realizar a análise granulométrica do saprolito de um perfil típico de alteração da Formação Rosário do Sul, localizado no bairro Scharlau em São Leopoldo, evidenciou a predominância da fração areia (53% dos grãos têm

Figura 5.2 - Perfil típico de alteração da Unidade II.

Figura 5.3 - Perfil típico de alteração da Unidade III.

Figura 5.4 - Perfil típico de alteração da Unidade IV.

diâmetro compreendido entre 2,0 mm e 0,074 mm), com elevada porcentagem de silte (33% dos dos grãos têm diâmetro compreendido entre 0,074 mm e 0,005 mm), sendo de apenas 4% a presença de argila coloidal (diâmetro inferior a 0,001 mm).

Em ensaios de Difração de Raios - X, NUNEZ (1991) chegou aos seguintes resultados para análise semiquantitativa da fração argila:

Fração cristalina: 15,7%, assim constituída:

Caulinita	9,2%
Hematita	3,2%
Micas e ilita	2,1%
Quartzo	1,2%

Fração amorfa: 84,34%.

A predominância do argilo-mineral caulinita, ao longo do perfil dos materiais inconsolidados da Unidade IV, enfatiza a ausência de problemas relacionados com a presença de argilo-minerais expansivos.

Ensaio de permeabilidade realizados por ORLANDINI (1991) conduziram a coeficientes de permeabilidades da ordem de 5×10^{-4} cm/s para os horizontes residuais e saprolito para esta unidade de materiais inconsolidados.

Segundo este autor, as sondagens de simples reconhecimento revelam que, para os materiais residuais os valores de N-SPT variam de 4 a 12 golpes. Para o saprolito, os valores são muito variados e dependem do grau de compactidade, variando entre 4 e 6, quando pouco compactos, até acima de 40, quando muito compactos.

Nesta Unidade, foi possível distinguir dois perfis típicos de alteração, um relacionado a fácies eólica e outro a fácies fluvial da Formação Rosário do Sul.

A colocação destes dois perfis de alteração, em uma mesma unidade, tem como justificativa a dificuldade na delimitação da variação litológica, a urbanização, a cobertura vegetal e a prática comum da retirada do solo residual como material de empréstimo e implantação de loteamentos.

5.6 - Carta de Materiais de Construção e Problemas Ambientais

Este documento (Anexo VI) apresenta o potencial mineral (materiais de construção com uso imediato na construção civil) existente na área do Município de São Leopoldo, bem como, expor a relação conflitante da atividade mineira com o meio ambiente. Esta relação de conflito é o resultado de vários anos de exploração predatória e sem preocupações ambientais ou de recuperação de áreas degradadas por mineração.

Os recursos minerais do município estão incluídos em sua maioria na classe II, substâncias para emprego imediato na indústria da construção civil.

Este mapa foi confeccionado, tendo como base, as observações de campo, análise de fotografias aéreas na escala 1:50.000 (METROPLAN, 1990) e 1:25.000 (METROPLAN, 1990) e relação dos processos de pesquisa e licenciamento de minerais classe II, protocolados no Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM.

O potencial mineral do Município de São Leopoldo está relacionado à ocorrência das rochas areníticas da Formação Botucatu, argilas da planície e terraços do Rio dos Sinos e areias do leito do Rio dos Sinos e de seus tributários.

No Departamento Nacional da Produção Mineral existem protocolados 7 processos para extração de argila, 14 processos para extração de areia e 1 processo para extração de arenito (Tabela 5.2).

Com a realização dos trabalhos de campo e análise de fotografias aéreas foram identificadas 5 extrações irregulares de argila, 46 extrações irregulares de arenito e 5 pontos de extração irregular de areia em arroios tributários do Rio dos Sinos.

Existem, no município, 6 olarias que abastecem o mercado consumidor da região, com tijolos e telhas comuns.

A matéria-prima básica destas olarias são os depósitos de argila localizados ao longo da planície aluvial do Rio dos Sinos, que se caracterizam, de maneira geral, por uma seqüência fluvial granodecrescente, a qual inicia a partir da superfície por argilas-arenosas, com freqüentes intercalações de camadas de argila com textura

plástica e pegajosa, gradando para areias-argilosas e areias quartzosas que se sobrepõem ao substrato de arenitos da Formação Rosário do Sul.

Tabela 5.2 - Processos Protocolados no DNPM para Pesquisa (P) e Licenciamento (L) mineral na área do Município de São Leopoldo

Processo	Empresa	P/L	Substância	Área/Ha
89810239	Mello Ind. e Com. de Pedras Ltda.	L	Arenito	14,93
97810165	Distribuidora de Areia Kapilé	L	Areia	12,38
95811128	Transportadora Ricamar Ltda.	L	Argila	21,57
94810294	Deposito de Areia Rio do Vale	L	Areia	2,00
86810088	Joinville Mineração Ltda.	L	Areia	3,69
92810235	Depósito de Areia Rio do Vale	L	Areia	2,21
86810089	Joinville Mineração Ltda.	L	Areia	3,21
86810086	Transportadora Ricamar Ltda.	L	Areia	2,96
96810265	Luiz Carlos Luz Silva	L	Argila	33,0
97810175	Distribuidora de Areia Kapilé	L	Argila	31,51
95810881	Cerâmica Minuano Ltda.	L	Argila	36,18
88810403	Transportadora Ricamar Ltda.	L	Areia	1,43
88810404	Transportadora Ricamar Ltda.	L	Areia	1,01
94810507	Lauro José Lassel	P	Argila	98,0
90810256	Cerâmica Minuano	L	Argila	7,85
95810880	Cerâmica Itapuy	L	Argila	28,78
97810176	Distribuidora de Areia Kapilé	L	Areia	6,63
97810197	Distribuidora de Areia Kapile	L	Areia	21,27
92810251	Dragagem E Extração de Areia Sinos	L	Areia	2,39
97810177	Distribuidora de Areia Kapilé	L	Areia	49,96
97810178	Distribuidora de Areia Kapilé	L	Areia	12,5
97810198	Distribuidora de Areia Kapilé	L	Areia	46,50

Ao longo da planície aluvial do Rio dos Sinos, analisando as características litofaciológicas, é possível distinguir a ocorrência de três tipos básicos de depósitos de argilas explotadas pelas indústrias cerâmicas do município:

A) Camadas de argila ou argilo-arenosa, com freqüentes intercalações de sedimentos arenosos finos e espessas camadas de argila orgânica, apresentando textura plástica e pegajosa.

B) Depósitos arenosos, finos a médios, apresentando intercalações de argila ou silte, distribuídos ao longo da planície de inundação, meandros abandonados e depósitos de areia em trechos meandrados do leito do Rio dos Sinos.

C) Associação de aluviões argilo-sílticos ou argilo-arenosos e arenosos, depositados ao longo da planície de inundação.

O desenvolvimento da lavra ocorre, normalmente, através da abertura de cavas, por uma retro-escavadeira, com profundidades que variam em torno de 3 a 5 metros, formando taludes com ângulos de até sessenta graus (60°).

O sistema de retirada é pontual e cíclico, utilizando a deposição ocorrida pelas inundações do Rio dos Sinos (normalmente no inverno) que traz o material argiloso em suspensão para dentro da cava anteriormente feita, onde é depositado.

O principal impacto ao meio ambiente causado pela exploração de argila ocorre quando as cavas de extração são abandonadas, o que descaracteriza a paisagem original. Na maioria das vezes, estas cavas expõem o lençol freático formando lagos de várias dimensões com água estagnada constituindo ambientes favoráveis à proliferação de agentes transmissores de doenças (Foto 14).

A proliferação de plantas aquáticas flutuantes, muitas vezes, mascara a profundidade destes lagos, formando verdadeiras armadilhas para as populações ribeirinhas do Rio dos Sinos.

A extração de areia é realizada no município, predominantemente, ao longo do leito do Rio dos Sinos e em alguns pontos isolados ao longo dos arroios Kruze, Cerquinha e Manteiga.

A exploração de areia no Rio dos Sinos é feita através de pequenas embarcações com um sistema de sucção acoplado. Esta operação é executada, normalmente, por um mangote de 6", com bocal, que tem a função de succionar o material para o interior da "draga".

O único beneficiamento que o minério sofre é um peneiramento na sua descarga, de forma a que sejam retirados o material orgânico, como restos de vegetação, entulhos, etc. que, normalmente, são succionados com a areia (Foto 15).

Os principais impactos gerados ao meio ambiente, pela extração de areia, no Rio dos Sinos, são:

- ♦ Turbilhonamento produzido pelo efeito de dragagem que ocasiona, geralmente, um aumento da carga de sólidos em suspensão com a conseqüente diminuição da luz disponível para os organismos aquáticos;
- ♦ Devido à prática de uma lavra predatória, ocorre, muitas vezes, uma alteração no regime de deposição fluvial, ocorrendo uma taxa de extração superior ao potencial de deposição, principalmente, na porção central do leito do rio, fazendo com que as "dragas" executem os trabalhos de lavra nas margens do canal, ocasionando grandes desmoronamentos das margens, propiciando o tombamento e arraste da vegetação ciliar.

A extração de areia no leito dos arroios Kruze, Cerquinha e Manteiga é realizada de maneira artesanal e as frentes de mineração são constantemente abandonadas e novas frentes são abertas. Esta atividade mineira, na sua totalidade, não apresenta licenciamentos mineral e ambiental.

A extração de areia do leito destes arroios é feita manualmente com pás. A areia é depositada nas margens dos arroios (Foto 16) e, posteriormente, é retirada por caminhões até as pequenas lojas de material de construção da região.

Os principais problemas ambientais gerados por esta atividade são:

- ♦ o desmoronamento das margens, com o conseqüente alargamento do leito dos arroios;
- ♦ o desmatamento ou soterramento da vegetação ciliar, quando se estabelecem as vias de acesso às frentes de extração, e, quando se implementam as áreas de depósito de areia.

A extração de arenito, conhecido no meio mineiro como "pedras grês", no Município de São Leopoldo, está restrita às ocorrências das rochas da Formação

Botucatu, especificamente na localidade do Morro de Paula, porção sudeste do município.

Estes arenitos vêm sendo largamente utilizados na construção civil, sendo empregados como alicerces e calçamentos.

Na região do Morro de Paula, COLLAÇO *et al.* (1996) cadastraram 46 pedreiras irregulares que, invariavelmente, caracterizavam-se por praticarem uma lavra predatória (Foto 17).

A exploração indiscriminada destes arenitos, sem nenhuma orientação técnica, vem causando graves problemas ambientais.

Os impactos ambientais gerados pela extração de arenito devem-se, principalmente: à falta de critérios técnicos na sua extração, à lavra predatória e à falta de um planejamento ambiental integrado.

O Morro de Paula apresenta a cota mais elevada da região (302m). A constante agressão à sua geomorfologia vem ocasionando o aparecimento de verdadeiras "crateras lunares" (Foto 18), destruindo uma das mais belas e exuberantes paisagens da região metropolitana de Porto Alegre.

A Mata Atlântica, localizada nas encostas do morro, é agredida, constantemente, pela deposição de rejeitos em suas escarpas (Foto 19).

Em épocas de precipitação prolongada, é freqüente o escorregamento de massa e o recobrimento do solo pelo material estéril dos taludes, provocando degradação e inertização da matéria orgânica existente, diminuindo as condições de vida no solo.

O decapeamento do solo para a abertura de novas frentes de extração e o posterior abandono sem projetos de revegetação e adequação do sistema de drenagem geram um processo erosivo acentuado, pelo escoamento da água superficial e carreamento de finos para os cursos d'água.

O arroio Kruze, principal do município, tem suas nascentes localizadas no Morro de Paula, e, ao longo dos anos, vem suportando um agressivo assoreamento, e conseqüentes inundações nas vilas localizadas em suas regiões ribeirinhas.

O abastecimento de água para a vila, no Morro de Paula, é feito através de um poço artesiano do SEMAE (Serviço Municipal de Água e Esgoto), que vem apresentando sérios problemas de vazão, em virtude do uso indiscriminado de

explosivos para desmonte, através de planos de fogo superdimensionado, causando sérios conflitos entre moradores da vila e "proprietários" das frentes de extração.

5.7 - Mapa de Expansão Urbana

Este documento (Anexo VII) tem por objetivo identificar os principais vetores de expansão urbana do Município de São Leopoldo, entre os anos de 1971 e 1990.

Identificar os vetores de expansão urbana são um importante instrumento de análise e implementação de políticas de gestão e planejamento urbano e ambiental dos municípios.

São Leopoldo apresenta uma taxa de crescimento populacional acima da média de Porto Alegre e do estado do Rio Grande do Sul.

Em 1970, a população era de 64.433 habitantes, em 1980 apresentava 98.592 habitantes, em 1992 possuía 171.725 habitantes e, em 2000, segundo o Censo, a população é de 193.403 habitantes.

O grande crescimento populacional ocorrido nas décadas de 70, 80 e 90 fez com que a cidade se expandisse sem levar em conta o conhecimento prévio do meio físico.

Este processo de expansão urbana ocasiona, geralmente, uma ocupação inadequada de seu sítio urbano. Surge daí a necessidade de planejar o ambiente urbano, onde locais com más condições de substrato sejam evitados e fontes de recursos naturais sejam preservadas.

O limite urbano do Município de São Leopoldo de 1971 foi estabelecido a partir da análise de fotografias aéreas na escala 1:25.000 (METROPLAN), e para delimitação do limite urbano de 1990 foram utilizadas fotografias áreas na escala 1:25.000 (METROPLAN).

A superposição entre os limites de urbanização de 1971 e 1990 permitiu diagnosticar o sentido preferencial dos eixos de expansão urbana do Município de São Leopoldo.

Os principais vetores de expansão urbana, identificados neste trabalho, são as avenidas Getúlio Vargas (Br 116), Feitoria, Cel. Atalíbio Resende, São Borja e a

construção e implementação do novo Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), a partir de 1980.

O processo de expansão urbana, ao longo da avenida Getúlio Vargas (Br 116), está vinculado ao grande desenvolvimento da indústria de plásticos e calçados que ocorreu no município a partir da década de 70.

A Br 116 funciona como a principal via de acesso ao município e também como uma importante via de fornecimento de matérias-primas, assim como, um verdadeiro corredor de escoamento da produção para o centro do país e para o mercado externo, através do porto de Rio Grande-RS.

O vetor de expansão urbana ao longo da avenida Feitoria está relacionado com o início da construção do grande complexo habitacional da COHAB - Feitoria, no início da década de 80, onde foram construídos 3850 unidades habitacionais.

A expansão urbana ao longo da avenida Cel. Atalíbio está diretamente associada à implantação de dezenas de loteamentos e invasões ocorridas durante as décadas de 70 e 80, no auge da expansão da indústria calçadista no vale do Rio dos Sinos e do êxodo rural, ocasionado pela ruptura da estrutura fundiária do minifúndio, com a introdução da soja nos campos gaúchos.

A avenida São Borja serviu como um vetor de expansão urbana com a criação e implantação do distrito industrial do Município de São Leopoldo durante o ano de 1977. Com a criação deste distrito industrial, formou-se um importante pólo metal-mecânico e o conseqüente desenvolvimento de um acelerado processo de urbanização.

A construção do novo Campus da UNISINOS, na porção sul do município, funcionou como um núcleo de atração urbana, com o desenvolvimento de uma ampla estrutura urbana e o conseqüente desenvolvimento de núcleos habitacionais, durante as décadas de 1980 e 1990.

Com o desenvolvimento dos trabalhos de campo e de fotointerpretação foi possível diferenciar e caracterizar as áreas em:

- ♦ Áreas densamente urbanizadas, referentes a 1971, em que as construções residenciais eram concentradas na porção central do município e na vila Scharlau, com poucos edifícios, a presença de poucas indústrias e com apenas as ruas das quadras mais centrais do município dotadas de pavimentos;

Áreas em urbanização, referentes a 1971, nas quais construções residenciais eram esparsas e as ruas desprovidas de pavimentos;

- ♦ Áreas urbanizadas, referentes a 1990, onde existia uma concentração de imóveis residenciais, comerciais, industriais, edifícios e ruas asfaltadas e pavimentadas;

Áreas em urbanização, referentes a 1990, nas quais construções residenciais são esparsas, com algumas ruas asfaltadas e outras desprovidas de pavimentos.

Com a realização dos trabalhos de superposição entre os limites de urbanização de 1971 e 1990, pôde-se evidenciar que ocorreu, no intervalo de 20 anos, um incremento de 109,3% no grau de urbanização do Município de São Leopoldo. Atualmente, a área do município possui cerca de 46 km² urbanizados, configurando-se em 46,9% do total da área.

5.8 - Carta para Disposição de Resíduos Sépticos

Este documento (Anexo VIII) visa orientar os usuários e planejadores urbanos na escolha de áreas adequadas para a disposição de resíduos sépticos (fossas e tanques sépticos).

A definição de áreas, visando a disposição de resíduos sépticos, requer informações das características do meio físico, evitando, desta maneira, que áreas inadequadas sejam utilizadas, causando, geralmente, a contaminação do solo, dos mananciais de superfície e da água subterrânea, bem como, a redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças, uma vez que grande parte delas está relacionada com a falta de uma solução adequada do esgotamento sanitário.

Para a elaboração desta carta selecionou-se os atributos do meio físico disponíveis e considerados importantes e representativos da área de estudo.

Os atributos do meio físico utilizados foram os seguintes :

- ♦ Coeficiente de Infiltração do Solo;
- ♦ Nível d'água;
- ♦ Profundidade Substrato Rochoso;
- ♦ Declividade.

Coefficiente de Infiltração do Solo:

Solos constituídos por areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos, apresentando coeficiente de infiltração maior que $90 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$, permitem a rápida percolação de líquidos contaminados, não propiciando uma filtração adequada dos poluentes; já os solos argilosos, com coeficiente de infiltração inferior a $20 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$, não permitem a percolação dos líquidos contaminados o que também é prejudicial ao meio ambiente.

Os solos constituídos por porcentagem iguais de argila, silte e areia, com coeficiente de infiltração entre $40 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e $80 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$, são os que fornecem condições adequadas para a disposição de resíduos sépticos.

Nível d'água:

A profundidade do lençol freático é um outro fator preponderante na escolha de áreas para disposição de resíduos sépticos.

A maior profundidade do lençol freático tende a proteger o aquífero das possíveis contaminações pela disposição de resíduos sépticos.

Segundo PEDROTO & BARROSO (1984), para que ocorra uma purificação do efluente é necessário que o fundo do sumidouro ou vala de infiltração esteja pelo menos a 1,5 metros acima do lençol freático. Resulta disso que, para se evitar a contaminação da água subterrânea, a profundidade do lençol freático deve ser maior que 2 metros, no caso de valas de infiltração, ou 3 metros, quando se utiliza sumidouro.

Profundidade Substrato Rochoso:

A profundidade do substrato rochoso é um outro fator a ser considerado. Quanto mais profundo o substrato rochoso mais adequada é a área. As estruturas planares das rochas facilitam o fluxo dos líquidos percolados em uma direção preferencial, o que pode ocasionar contaminação do lençol freático. A contaminação de aquífero em meio rochoso é quase que praticamente irreversível.

Declividade:

A declividade, apesar de ser um fator que pode ser corrigido por obras de terraplanagem ou de drenagem das águas pluviais, também deve ser considerada.

Declividades muito baixas ($< 2\%$) propiciam o acúmulo de líquidos, enquanto declividades maiores do que 10% favorecem aos processos erosivos.

Com definição dos atributos do meio físico, foram estipuladas as seguintes classes para a elaboração da carta de adequabilidade à disposição de resíduos sépticos: Adequada, Razoável e Inadequada.

- ♦ **Adequada:** áreas com Coeficiente de Infiltração entre $40 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e $80 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$, lençol freático superior a 5 metros, declividades entre 2 e 5%, profundidade do substrato rochoso maior que 10 metros.
- ♦ **Razoável:** áreas com Coeficiente de Infiltração entre $20 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e $40 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$, lençol freático entre 5 e 3 metros, declividades entre 5 e 10%, profundidade do substrato rochoso entre 5 a 10 metros.
- ♦ **Inadequada:** áreas com Coeficiente de Infiltração $< 20 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e $> 80 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$, lençol freático inferior a 3 metros, declividades $< 2\%$ ou $> 10\%$, profundidade do substrato rochoso inferior a 5 metros.

Para a definição das unidades, utilizou-se a superposição simples dos atributos do meio físico. As unidades definidas indicam quais são os fatores considerados, segundo a classificação: adequada, razoável ou inadequada.

Desta forma, estabelece-se uma hierarquização das unidades frente à adequabilidade à disposição de resíduos sépticos.

Portanto, quanto mais atributos desfavoráveis apresentar a unidade, maiores serão as dificuldades encontradas no processo de tratamento e disposição dos efluentes dos tanques sépticos.

Os materiais inconsolidados, pertencentes aos materiais aluvionares encontrados ao longo da planície aluvial do Rio dos Sinos (Unidade I - Anexo IV), por apresentarem declividades de até 5%, lençol freático inferior a 1 metro, textura

predominantemente argilosa e Coeficiente de Infiltração $< 20 \text{ l/m}^2$ delimitam uma área classificada como inadequada para a disposição de resíduos sépticos.

A unidade de material inconsolidado resultante da alteração dos basaltos toleíticos (Unidade II - Anexo IV) apresenta textura argilosa, profundidade do substrato rochoso inferior a 5 metros, Coeficiente de Infiltração entre $20 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e $60 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$, lençol freático superior a 10 metros de profundidade e declividades entre 5 e 10% e é, desta maneira, classificada como uma área razoável para a disposição de resíduos sépticos.

Os materiais inconsolidados resultante da alteração dos arenitos da Formação Botucatu (Unidade III - Anexo IV) apresentam profundidade do substrato rochoso inferior a 5 metros, textura arenosa, lençol freático superior a 10 metros, Coeficiente de Infiltração entre $60 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e $90 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e declividades entre 5 e 10% e são classificados como uma área razoável para a disposição de resíduos sépticos.

O material resultante da alteração dos arenitos da Formação Rosário do Sul (Unidade IV - Anexo IV) apresenta lençol freático entre 5 e 10 metros, textura areno-siltosa, profundidade do substrato rochoso maior que 10 metros e Coeficiente de Infiltração entre $60 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e $90 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$ e é classificado como uma área adequada para a disposição de resíduos sépticos.

5.9 - Carta de Adequabilidade à Escavação

A carta de adequabilidade à escavação (Anexo IX) tem como objetivo apresentar o comportamento dos terrenos frente à adequabilidade à escavação, seja para obras enterradas ou outras finalidades.

Para a elaboração desta carta, selecionaram-se os atributos do meio físico disponíveis e considerados importantes e representativos da área de estudo, com a finalidade de classificar o terreno quanto à adequabilidade à escavação.

Os atributos do meio físico considerados foram os seguintes :

- ♦ Profundidade do Substrato Rochoso;
- ♦ Textura dos Materiais Inconsolidados;
- ♦ Declividade;
- ♦ Nível d'água;

♦ Ocorrência de matacões.

Com a definição dos atributos do meio físico, foram estipuladas as seguintes classes para a elaboração da carta de adequabilidade à escavação:

Favorável: Profundidade do substrato rochoso maior que 5 metros, textura arenosa, declividade menor que 10%, lençol freático superior a 5 metros, sem a ocorrência de matacões.

Moderada a Severa: Profundidade do substrato rochoso entre 1 e 5 metros, textura silto-arenosa ou silto-argilosa, declividades entre 10 e 20%, lençol freático entre 1 a 5 metros, sem a ocorrência de matacões.

Restritiva: Profundidade do substrato rochoso inferior a 1 metro, textura argilosa, declividades maiores que 20%, lençol freático menor que 1 metro e ocorrência de matacões.

Para a definição das unidades, utilizou-se a superposição simples dos atributos do meio físico. As unidades definidas indicam quais são os fatores considerados, segundo a classificação de favorável, moderada a severa e restritiva.

Desta maneira, estabelece-se uma hierarquização das unidades frente à adequabilidade de escavação, pois é apontada a gradação da dificuldade de escavação diante dos atributos do meio físico estabelecidos. Logo, quanto mais atributos desfavoráveis apresentar a unidade, maiores serão as dificuldades encontradas no processo de escavação.

Fazendo-se uma análise do mapa dos materiais inconsolidados e do mapa de adequabilidade à escavação, pode-se afirmar, para as unidades de materiais inconsolidados pertencentes aos materiais aluvionares, encontrados ao longo da planície aluvial do Rio dos Sinos (Unidade I - Anexo IV), que os atributos que mais dificultam o processo de escavação são a altura do lençol freático inferior a 1 metro e a textura, predominantemente, argilosa.

Os materiais inconsolidados, resultantes da alteração dos basaltos toleíticos (Unidade II - Anexo IV), apresentam como atributos que mais dificultam a escavação a ocorrência de textura argilosa e a presença de matacões ao longo do perfil.

A unidade de material inconsolidado resultante da alteração dos arenitos da Formação Botucatu (Unidade III - Anexo IV) apresenta a profundidade do substrato rochoso inferior a 1 metro e a declividade maior do que 20% como os principais atributos que dificultam a escavação.

O material resultante da alteração dos arenitos da Formação Rosário do Sul (Unidade IV - Anexo IV) é a unidade que apresenta as maiores facilidades à escavação, excetuando algumas áreas que apresentam declividades maiores que 20%.

5.10 - Carta de Zoneamento Geotécnico Geral

Este documento (Anexo X) tem como objetivo orientar aos usuários, planejadores e outros profissionais sobre as diversas formas de ocupação do meio físico, relacionadas às suas potencialidades e limitações.

Esta carta foi obtida a partir da combinação de atributos pelo método da simples sobreposição e transposição dos mapas do Substrato Rochoso, dos Materiais Inconsolidados e da Carta de Declividade.

Desta maneira, pode-se individualizar unidades com características semelhantes. As unidades geradas são representadas por quatro atributos: espessura, textura, litologia e declividade.

Normalmente, as unidades geradas com a sobreposição dos mapas do substrato rochoso, dos materiais inconsolidados e da carta de declividade diferem entre si somente pela variação de apenas um atributo, desta maneira, optou-se pelo uso de uma legenda composta de números e letras onde se registra a variação referente a cada atributo utilizado: exemplo U30, 3.C.20.G.

- U30 : Unidade de zoneamento geotécnico de número 30;
- 3 : espessura (>2 metros);
- C : textura (arenosa);
- 20 : litologia (arenito da Formação Botucatu);
- G : declividade (2 - 5 %).

Os números e as letras adotados para a elaboração da legenda das Unidades Geotécnicas Gerais definidas são apresentados em forma de tabela, como é demonstrado abaixo:

Tabela 5.3 - Tabela das Unidades de Zoneamento Geotécnico Geral

U 1 a U 53 - Unidades de Zoneamento Geotécnico Geral						
Classes dos Atributos						
Atributos						
Espessura (m)	≤ 2 (1)	$> 2 \leq 5$ (2)	> 5 (3)			
Textura	Argilosa (A)	Areno-siltosa (B)	Arenosa (C)			
Litologia	Sedimentos aluvionares (40)	Arenito (Fm Sanga do Cabral) (30)	Arenito (Fm Botucatu) (20)	Basalto (Fm Serra Geral) (10)		
Declividade	$> 30 \%$ (I)	$20 - 30 \%$ (H)	$10 - 20 \%$ (G)	$5 - 10 \%$ (F)	$2 - 5 \%$ (E)	$< 2 \%$ (D)

Neste trabalho, a partir da sobreposição e transposição da espessura, textura, litologia e declividade foi possível definir 53 Unidades Geotécnicas Gerais.

A grande vantagem deste documento é a sua fácil operacionalidade, permitindo que o usuário tenha um número significativo de informações do meio físico para cada unidade determinada. Desta forma, pode ser usado como base para a elaboração de outros documentos a serem utilizados no planejamento urbano.

Deve-se ressaltar, que as características do meio físico, individualizadas nas unidades de zoneamento geotécnico geral, fornecem subsídios para uma avaliação preliminar do uso e ocupação do solo no Município de São Leopoldo, não substituindo, de forma alguma, as investigações locais.

6 - CONCLUSÕES

A revisão bibliográfica realizada sobre o mapeamento geotécnico foi de suma importância para a realização dos trabalhos de caracterização geológico-geotécnicas do Município de São Leopoldo.

O conhecimento de seus princípios e critérios, escalas adotadas e técnicas utilizadas, assim como, as principais metodologias aplicadas ao planejamento urbano serviram como embasamento para a compreensão do meio físico do município e para a elaboração dos diversos documentos confeccionados.

Quanto aos pontos de observação, foram levantados 130 pontos. A área do Município de São Leopoldo é de 103,91 km². O número de pontos levantados em relação a área total estudada está abaixo do que recomendam as principais metodologias aplicadas ao Planejamento Urbano.

Esta quantidade de pontos justifica-se pelo elevado grau de urbanização do município, pela homogeneidade das litologias do substrato rochoso e pelos materiais inconsolidados, bem como, pela dificuldade de acesso às áreas ao longo da planície aluvial do Rio dos Sinos.

Os documentos produzidos, na escala 1:25.000, demonstraram-se de fácil manuseio e apresentam ganhos de conteúdo, quando comparados com trabalhos produzidos na região metropolitana de Porto Alegre em escalas de 1:50.000 e 1:100.000.

Para a elaboração da Carta de Declividade foram utilizadas sete classes de declividade: <2%; 2%-5%; 5%-10%; 10%-15%; 15%-20%; 20%-30%; > 30%.

O município apresenta o predomínio das classes de <2% e 2%-5%, que estão predominantemente associadas às áreas de sedimentos atuais e cenozóicos

encontrados ao longo da planície aluvial do Rio dos Sinos e de seus principais arroios.

O Mapa do Substrato Rochoso retrata a variação espacial das unidades litológicas mapeadas, com o grau de informação compatível com os objetivos do trabalho. Foram identificadas 4 unidades geológicas: Formação Sanga do Cabral, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e Recente/Cenozóico.

Foi possível identificar a ocorrência de derrames basálticos, não reconhecidos em trabalhos em escalas regionais.

O Mapa de Formas de Relevo permitiu a caracterização dos diferentes tipos de relevo existentes na área do Município. Foram estabelecidas 3 unidades de formas de relevo: Planície Aluvial; Colinas e Morro Testemunho.

As formas de relevo estão diretamente ligadas às litologias que ocorrem na área. As colinas estão relacionadas aos arenitos da Formação Sanga do Cabral, o morro testemunho às rochas areníticas da Formação Botucatu e a planície aluvial aos sedimentos atuais e cenozóicos.

Foram delimitadas, na área do município, 4 unidades de materiais inconsolidados. Estes materiais foram definidos a partir dos trabalhos de campo, trabalhos anteriores, informações constantes dos mapas de Formas de Relevo e de Substrato Rochoso e de dados de sondagens e fotointerpretação.

A ausência de linhas de seixos impossibilitou a separação entre os níveis coluvionares e residuais.

O potencial mineral do Município de São Leopoldo está relacionado à ocorrência das rochas areníticas da Formação Botucatu, argilas da planície e terraços do Rio dos Sinos e areias do leito do Rio dos Sinos e de seus tributários.

A exploração mineral, normalmente, é realizada sem nenhuma orientação técnica, o que vem causando graves problemas ambientais.

Com a superposição entre os limites de urbanização de 1971 e 1990 pode-se diagnosticar o sentido preferencial dos eixos de expansão urbana do Município de São Leopoldo.

Os principais vetores de expansão identificados foram as avenidas Getúlio Vargas (Br 116), Feitoria, Cel. Atalábio Resende, São Borja e a construção e

implementação do novo Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), a partir de 1980.

Com o objetivo de orientar os usuários e planejadores urbanos na escolha de áreas adequadas para a disposição de resíduos sépticos (fossas e tanques sépticos) foi elaborada a Carta para Disposição de Resíduos Sépticos. Para a elaboração desta carta, foram utilizados os seguintes atributos do meio físico: coeficiente de Infiltração do solo; nível d'água; profundidade do substrato rochoso e declividade.

A partir da superposição simples destes atributos foram definidas as seguintes classes para a disposição Resíduos Sépticos: Adequada, Razoável e Inadequada.

A carta de adequabilidade à escavação tem como objetivo apresentar o comportamento dos terrenos frente à escavação, permitindo ao usuário prever quais serão as dificuldades encontradas.

Para elaboração desta carta, foram utilizados os seguintes atributos do meio físico: nível d'água; profundidade do substrato rochoso, declividade, textura dos materiais inconsolidados e ocorrência de matacões.

A partir da superposição simples destes atributos foram definidas as seguintes classes para a adequabilidade à escavação: Favorável, Moderada a Severa e Restritiva.

Com a sobreposição e transposição de atributos relevantes do meio físico, tais como, textura, espessura, litologia e declividade foi possível definir 53 Unidades Geotécnicas Gerais, as quais compõem a Carta de Zoneamento Geotécnico Geral para o Município de São Leopoldo.

Por fim, os documentos gerados neste trabalho (mapas e cartas), por apresentarem as características do meio físico, podem ser utilizados no auxílio ao planejamento urbano, visando a adequada ocupação do meio físico.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7229 (ABNT) (1993) Projeto e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro.
- ANDREIS, R. R.; LAVINA, E.L.; PAIM, P. S. G. (1984) Geologia da folha de São Leopoldo - RS. In: BARBERENA, M. C. (Coord.) Geologia dos Recursos Minerais do Sul do Brasil, subprojeto V: Mapeamento geológico, estratigrafia, recursos minerais e paleontologia do Permiano Superior e Triássico do Rio Grande do Sul. Convênio UFRGS-FINEP. Relatório Final, Mapa 9, 1984.
- ANDREIS, R. R.; LAVINA, E.L.; PAIM, P. S. G. (1984) Geologia da folha de Novo Hamburgo - RS. In: BARBERENA, M. C. (Coord.) Geologia dos Recursos Minerais do Sul do Brasil, subprojeto V: Mapeamento geológico, estratigrafia, recursos minerais e paleontologia do Permiano Superior e Triássico do Rio Grande do Sul. Convênio UFRGS-FINEP. Relatório Final, Mapa 10, 1984.
- AGUIAR, R.L. (1989) *Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos-SP: contribuição ao planejamento*. São Carlos/SP. 2v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AGUIAR, R.L. (1994) *Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental; bases conceituais para aplicação no Distrito Federal - DF*. São Carlos/SP. 88p. Seminário Geral em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AGUIAR, R.L. (1997) *Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: Procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental*. São Carlos/SP. 2v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo.

- ANON (1976). *Engineering geological maps. A guide to their preparation*. Paris/France. The UNESCO Press,.
- BACHION, M. L. (1997) *Mapeamento geotécnico das áreas urbanas e de expansão da região sudeste do município de Campinas-SP, Escala 1:25.000*. São Carlos/SP. 2v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BARISON, M.R. (1995) *Mapeamento Geotécnico Regional da Quadricula de Amparo-SP,(escala 1:50.000): com base na análise de Landform e de perfis típicos de alteração*. São Carlos: EESC/USP. 1995. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BATES, R.L. & JACKSON, J.A. (1980) *Glossary of Geology*. 1 ed. Falls churchu Virginia: *American Geological Institute*, p. 349.
- BEAUMONT, T.E. (1987) Investigation in ground engineering - remote sesing imagery. In Bell, f. g., ed. *Ground engineer's reference book*. London-Boston-Duran-Singapore, Butterworths publ., Cap. 20, p. 1-12.
- BELL, D.H. (1987) Urban development pratices in New Zealand. In: *The Role of Geology in Urban development*. Hong Kong, 1987. Geological Society of Hong Kong Belletin, nº 3.p. 43-65.
- BELCHER, D.J. (1946) Engineering Applications of Aerial Reconnaissance. *Geological Society of America Bulletin*, New York, v.57, n. 8, p. 727-734.
- BELCHER, D.J.; GREGG, L. E.; WOODS, K.B. (1943) *The formation, distribution and engineering characteristics of soils*. ENGINEERING BULLETIN PURDUE UNIVERSITY, vol. XXVII, n. 1., PURDUE UNIVERSITY, 389p.

- BRUNSDEN, D.; DOORNKAMP, J. C.; HINCH, L. W.; JONES, D. K. C. (1975) *Geomorphological mapping and highway design*. Sixth regional Conference for Africa on SOIL MECHANICS & FOUNDATION ENGINEERING. Durban, South Africa, vol.1, p. 3-9.
- CECARELLI, I.C.F. (1994) Caracterização geotécnica do meio físico com uso de técnicas de sensoriamento remoto - Proposição metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Balneário Camboriú - SC. *Resumos*. SBG, v.1, p.453-455.
- CARRARO, C. C. (1974) Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Instituto de Geociências da UFRGS. (Mapas, 8). Escala 1:1.000.000.
- COELHO, A. M. L. G. (1980) *A cartografia geotécnica no planejamento regional e urbano; experiência de aplicação na região de Setubal*. Lisboa, 1980. 158p. (Especialização - Laboratório Nacional de Engenharia Civil).
- COLLAÇO, D. L.; SILVEIRA, A. S.; FAUTH, G.; RODRIGUES, G. B. (1996) Geologia do Município de São Leopoldo - RS. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador - Ba. *Anais* vol. 4, p.129-133.
- COSTA, T. C. .D. (1995) *Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana da porção NE de Campinas – SP. Escala 1:25.000*. São Carlos/SP. 72p. Seminário Geral em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DEARMAN, W. R. & MATULA, M. (1976) Environmental aspects of engineering geological mapping. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, nº 4, p. 15-20.

- DE BIASI, M. (1991) A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP, São Paulo*, nº 6, p.45-60.
- DE MIO, G. (1990) *A pedologia na definição de unidades de mapeamento e considerações gerais sobre os solos da quadricula de Mogi-Guaçu*. Revisão Bibliográfica n. 51, EESC, USP, São Carlos, SP, 41 p.
- DE MOOR, G. & DE BREUCK, W. (1976) Preparation of Semi-Detailed lithologic and Hidrogeologic Maps for Land Management by Means of a Geo-Electrical Survey. *Bulletin of the IAEG, Krefeld* (140): 137-140.
- DUMBLETON, M. J. (1987) Investigation in ground engineering-photointerpretation. In: BELL, F.G., ed. *Ground engineer's reference book*. London-Boston-Durban-singapore, Butterworths publ. Cap. 22, p. 1-15.
- ELIS, V. R. (1993) *A aplicação da geofísica para análise do meio físico: importância para elaboração de mapeamento geotécnico*. Rio Claro. 2v. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- FACCINI, U. (1989) *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais*. Porto Alegre/RS. Iv. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FOOKES, P. G. & VAUGHAN, P. R. (1986) *A Handbook of Engineering Geomorphology*. Survey University Press, USA, Ed. Chapman & Hall, N.Y., 343p.

- FORSTER, A. & CULSHAW, M.G. (1990) Use of site investigation data for the preparation of Engineering Geological maps and reports used by planners and civil engineers. *Engineering Geology*, v. 29, n° 4.
- FORTES, A. B. (1960) *Compêndio de História do Rio Grande do Sul*. Edição Sulina. Porto Alegre-RS.
- FUNDAÇÃO METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO - METROPLAN. Aerofotos da Região Metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre. 1971.
- FUNDAÇÃO METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO - METROPLAN. Aerofotos da Região Metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre. 1990.
- GANDOLFI, N. & ZUQUETTE, L.V. (1982) Discussão e adaptação de metodologia para mapeamento geotécnico. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 5, Argentina, 1982. *Atas*. Argentina, v.III, p.245-258.
- GERRARD, J. (1995) *Soil geomorphology – An integration of pedology and geomorphology*. London, Ed. Chapman & Hall, 269 p.
- GIDIGASU, M.D. (1978) Degree of weathering in identification of laterite materials for engineering purpose. *Engineering Geology*. Amsterdam. P. 213-266.
- GIGAN, J.P. (1973) Essai de cartographie géotechnique. Région de La Défense et Boucle de Gennevilliers. Bull. du BRGM – Deuxième série, Secc. III, n°. p. 147-177.
- GRANT, K. (1975) The PUCE Programme for Terrain Evaluation for Engineering Purposes. II procedures for Terrain Classification. Austrália, DAGTP n° 15, CSIRO.

- GUERRA, S. M. S. (1992) SINGRE - Sistema de Informação para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, *Resumos*. São Paulo, vol. 2, p. 221-222.
- HUNT, C. B. (1974) *Geology of Soils*. San Francisco: W. H. Freeman, 344p.
- IAEG – INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. (1976) *Engineering geological maps: A guide to their preparation*. Paris. UNESCO. 79p.
- INSTITUTO GEOLÓGICO (1993) Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Campinas-SP. 2v. São Paulo, IG/SMA-Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
- JENNY, H. (1941) *Factors of soil formation*. New York. Mc Graw-Hill, 218p.
- KHAWLIE, M. R. & GHANNAM, J. (1987) Land suitability and geotechnical studies for the development of greater Beirut area - Libanon. *Geotechnical society of Hong Kong Bulletin*, Hong Kong, nº 3, p. 97-113.
- KALTERHERBERG, J. (1990) The engineering geological mapping 1:25.000 of Nordrhein-Westfalen, FRG. A regional engineering geological map. In: 6th International IAEG Congress, 2, amsterdam, netherlands, 1990, *Anais*. Amsterdam, Netherlands, IAEG. P. 159-162.
- LOKIN, P. (1986) Engineering geology in regional and urban planning of Iugoslávia. In: CONGRESS OF THE IAEG, 5., Buenos Aires. *Anais*. Buenos Aires, 1986. V.6. p. 1815-1819.
- LOLLO, J. A. (1996) *O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na*

Quadricula de Campinas. São Carlos: EESC/USP. 1996. 2v. Tese (Doutorado)
– Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LOLLO, J. A. & ZUQUETTE, L. V. (1996) Aplicação da técnica de avaliação do terreno para reconhecimento de perfis de alteração de solos. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, ABGE. *Anais*. Rio de Janeiro, vol. 1, p.13-22.

MACARI, R. (1995) *Mapeamento Geotécnico da área de expansão urbana de Campinas, Porção NW*. São Carlos/SP. 76p. Seminário Geral em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MARTINI, I. P. & CHESSWORTH, W. (1992) Weathering, soils & paleosols (Developments in earth surface processes – 2). Elsevier Scientific Publishers, 618p.

MATHEWSON, C.C. & FONT, R.G. (1974) Geological environment; forgotten aspects in the land use planning process. *The Geological Society of America*. Engineering geology case histories, bouden, (10): 23-28.

MATULA, M. (1974) Engeneering geology in country and urban planning. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 2, São Paulo, 1974. *Anais*. São Paulo, v.1, p.1-2.

MATULA, M. (1979) Regional engineering geological evaluation for planning purposes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, nº 19, p. 18-24.

MATULA, M.; HRASNA, M. & VICKO, J. (1986) Engeneering geological maps for land use planning documents. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 5., 1986. Buenos Aires, v.6. p. 1821-1827.

- MATULA, M. & LETKO, V. (1980) Engineering geology in planning the metropolitan region of Bratislavia. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, nº 19, p. 47-52.
- MERLA, A.; MERLO, C.; OLIVERI, F. (1976) Detailed engineering geological mapping in selected Italian mountains areas: Methodology and Examples. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, Krefeld, nº 14, p. 129-135.
- MOREIRA, E. C. & ZUQUETTE, L. V. (1992) Revisão Bibliográfica: Sistema de Informação Geográfica aplicados ao mapeamento geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. *Resumos*. São Paulo, v.2, p.222.
- NACARAJAN, R. & SHAN, S.D. (1987) Regional engineering mapping using remotely sensed data. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, Paris, nº 35, p. 51-57.
- NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F. (1996) Importância e determinação do grau de laterização em geologia de engenharia. In : VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, ABGE. *Anais*. Rio de Janeiro, vol.1., p345-358.
- NUNEZ, W.P.1991. *Estabilização Físico-químico de um Solo Residual do Arenito Botucatu, visando seu Emprego na Pavimentação*. Porto Alegre. 143p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- OLIVEIRA, M.A.; MARTINS, L.A.M. (1994) A metrópole e a geologia: Exemplos do município de São Paulo. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1., Balneário Camburiú, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*. Balneário Camburiú, SBG. p. 508-509.

- ORLANDINI, R. 1991. *Unidade Geotécnicas dos municípios de Novo Hamburgo e Campo Bom-RS e Caracterização Geomecânica de Perfis Típicos de Solos de Arenito*. Porto Alegre. 125p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PATON, T. R.; HUMPHREYS, G. S.; MITCHELL, P. B. (1995) *Soils: a new global view*. Yale University Press, New Haven and London.
- PEDROTO, A. E. S.; BARROSO, J. A. (1984) Condicionantes do meio físico na implantação de sistema de fossas sépticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, Belo Horizonte. *Anais*. Belo Horizonte: ABGE. v.2, p.223-226.
- PRADO, H. (1993) *Manual de classificação de solos no Brasil*. Jaboticabal, FUNEP, obra n. 01150043-2, 218p.
- PRANDINI, F.L; NAKAZAWA, V.A. & FREITAS, C.G.L. (1991) *A cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais*. São Paulo, IPT. (Apostila do curso de geologia aplicada a problemas ambientais).
- PRICE, D.G. (1993) *A suggested method for the classification of rock mass weathering by rating system*. Quarterly Journal of Engineering Geology. (26):69-76.
- ROCKAWAY, J.D. (1976) The influence of map scale on engineering geologic mapping. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 13(3); 233-245.
- RODRIGUES, G. B.; SILVEIRA, A. S.; COLLAÇO, D. L.; FAUTH, G. (1996) Mapa Geomorfológico do Município de São Leopoldo - RS. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador - Ba. *Anais*. vol. 2, p.480-483.

- SADOWSKI, G. R. (1992) Aplicações de Sistema Geográfico de Informação em mapeamento geológico-geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. *Resumos*. São Paulo, vol. 2, p.219-220.
- SANEJOUAND, R. (1972) *La cartographie geotechnique en France*. Paris. Ministère de L'équipement et du logement, DAFU, 96p.
- SARAIVA, R.M. (1995) *Mapeamento Geotécnico da folha de Socorro com base na Análise das Formas de relevo (Landform)*. São Carlos: EESC/USP. 1994. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SELBY, M. J. (1990) *Hillslope materials and process*. Oxford , Oxford Press, p. 5 – 44.
- SOUZA, N.C.D.E. de (1992) *Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguai: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração*. São Carlos. 2v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- SOUZA, N.M. (1994) *Contribuição à Cartografia Geotécnica com uso de Geoprocessamento: sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica*. São Carlos: EESC/USP. 1994. 2v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, N. C. D. de & ZUQUETTE, L. V. (1991) Mapeamento geotécnico com base em perfis de alteração para caracterização de unidades de terreno. In: II SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE – RJ, *Atas*, SBG/SP. 1991. P.345-352.

- STRACHAN, A. & DEARMAN, W.R. (1982) The tyne and wear data bank, N.E. England. *Bulletin of IAEG*, Paris (25): 45-51.
- TOLEDO, A.H.P. & CAVALCANTI, M., (1978) *Planejamento Urbano em Debate* São Paulo, Ed. CORTEZ & MORAES.
- TRICART, J. (1972) Types of Wet Tropical Landform and their Genesis. In: tricart, J. *The Landforms of Humid tropics, Florests and Savannas*. 1.ed. London: Longma Group, cap. 3, p. 152-166.
- VALLEJO, G. de (1977) Engineering Geology for urban planning and Development with an Example from Tenerife (Canary islands). *Bulletin of IAEG*, Krefeld, (15): 37-43.
- VAZ, L. F. (1996a) Grau de alteração de rochas. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, ABGE. *Anais*. Rio de Janeiro, vol. 1., p71-83.
- VAZ, L. F. (1996b) Classificação genética de solos e horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. *Rev. Bras. Geotec.*, ABMS/ABGE.
- VEDOVELLO, R. (1994) Utilização de imagens de satélite (TM-LANDSAT) para obtenção de zoneamentos geotécnicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Balneário Camboriú - SC. *Boletim de Resumos Expandidos*. SBG, vol.1, p. 484-485.
- VEDOVELLO, R. & MATOS, J. T. (1991) Zoneamento geotécnico de múltiplo uso no município de Ubatuba - SP: uma abordagem através do sensoriamento remoto. *Anais: II Encontro Nacional de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Planejamento Municipal*. São Paulo-SP.

- ENEZIAN, P. & DOS ANJOS, C. E. (1982) Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos, 61p. Publicação nº INPE-2227-MO/014, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- ZELTZER, F.; PAULA, C. C.; NOWATZKI, C. H. (1992) Mapa Geológico da Folha São Leopoldo - RS. *Acta Geológica Leopoldensia*. Série Mapas, São Leopoldo, vol. 1. p.1 - 14.
- ZUQUETTE, L.V. (1987) *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras*. São Carlos/SP. 4v. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V. (1993) *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: Fundamentos e guia para elaboração*. São Carlos/SP. 330p. 2v. Tese (Livre-docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. (1987b) Metodologia de Mapeamento Geotécnico para Áreas Municipais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., São Paulo, 1987. *Anais*. São Paulo. P. 303-311.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. (1990) Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica. *Revista de Geotecnia*, Rio Claro, (9): 55-66.

ANEXO I

Fotos

Foto 1 - Detalhe da estratificação cruzada acanalada da Formação Sanga do Cabral (PT - 23).

Foto 2 - Detalhe do basalto da Formação Serra Geral (PT - 32).

Foto 3 - Vista geral dos arenitos eólicos da Formação Botucatu (PT - 74).

Foto 4 - Vista geral das três unidades de relevo: ao fundo, as colinas; no centro, a planície de inundação e em primeiro plano, o morro testemunho.

Foto 5 - Vista geral da planície de inundação do Rio dos Sinos.

Foto 6 - Ao fundo, vista geral das colinas, com formas alongadas e vertentes plano-convexas.

Foto 7 - Vista geral do Morro de Paula. Ao fundo, as colinas, forma predominante de relevo no Município de São Leopoldo.

Foto 8 - Vista geral do solo residual da Unidade II. Coloração vermelha, com textura argilosa (PT - 33).

Foto 9 - Detalhe do aspecto mosqueado do saprolito da Unidade II (PT - 33).

Foto 10 - Detalhe do solo residual da Unidade III, apresentando textura arenosa e coloração vermelha- amarela (PT - 36).

Foto 11 - Detalhe do saprolito da Unidade III, formado por fragmentos de arenitos em diferentes estágios de alteração (PT - 26).

Foto 12a - Vista geral dos solos residual maduro e residual jovem da Unidade IV. O solo residual jovem é de coloração vermelha-amarelada, com textura argilo-arenosa e espessura de 3,5 metros (PT - 90).

Foto 12b - Detalhe do solo residual maduro, com textura argilo-arenosa, de coloração vermelha escura, estrutura fortemente desenvolvida em blocos e espessura de 1 m (PT - 90).

Foto 13 - Detalhe do saprolito da Unidade IV, mostrando a preservação das estruturas da rocha original (arenito da fácies eólica), com textura arenosa (PT - 109).

Foto 14 - Cavas abandonadas para extração de argila, na planície de inundação do Rio dos Sinos.

Foto 15 - Vista geral de um dos portos de extração de areia,
localizado nas margens do Rio dos Sinos.

Foto 16 - Vista parcial de um dos pontos de extração irregular de areia,
no arroio Kruze.

Foto 17 - Detalhe de uma das frentes de extração irregular, de arenito, no Morro de Paula.

Foto 18 - Vista geral da modificação da paisagem natural, ocasionada pela mineração irregular de arenito no Morro de Paula.

Foto 19 - Vista geral de uma das pedreiras irregulares de arenito, no Morro de Paula, mostrando a deposição de rejeitos sobre a Mata Atlântica e ao longo das escarpas.