UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 013

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR EM ESCALA DE SEMI-DETALHE (1:25.000) DA ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE UBERLÂNDIA-MG

Ricardo Fernandes de Andrade

FECIV

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Nº 013

Ricardo Fernandes de Andrade

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR EM ESCALA DE SEMI-DETALHE (1:25.000) DA ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE UBERLÂNDIA-MG.

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil.**

Área de Concentração: Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama
Co-orientadora: Profª Dra. Maria Elisa Borges Rezende.

UBERLÂNDIA, 29 DE SETEMBRO DE 2005.

Aos meus pais pelo carinho, exemplo de vida e educação; a minha esposa pelo companheirismo do dia a dia e aos meus irmãos pela sincera amizade e motivação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de ter participado desta pesquisa e pelo conhecimento adquirido ao longo deste trabalho.

A secretária da Pós-graduação Sueli Maria Vidal da Silva pelo incentivo, atenção e companheirismo que tem com todos os alunos da pós-graduação e que nos acompanha desde a seleção até a defesa das dissertações.

Ao meu orientador, Luiz Nishiyama e a minha co-orientadora Maria Elisa Borges Resende, pelas idéias, empenho e apoio no desenvolvimento da dissertação.

Agradeço a todos os meus amigos pela força e motivação durante este período de estudo.

Aos meus colegas do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

A Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, que forneceram o apoio necessário.

A FAPEMIG pelo apoio financeiro na realização dos ensaios da metodologia MCT.

Ao aluno da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Rheno Batista Tormin Filho, que me apoiou nos ensaios de mecânica dos solos com o trabalho de iniciação científica “Caracterização Geotécnica dos Solos Superficiais de Uberlândia”.

Aos técnicos do laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da UFU: José Antônio Veloso e Romes Aniceto da Silva, pelo acompanhamento nos ensaios laboratoriais.

As empresas de fundações GEOMETA e ESTAC pelo fornecimento dos dados de sondagens de simples reconhecimento com “SPT”.

Ao aluno do curso de graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia Dérikles Robson Sousa da Silva pela ajuda nos trabalhos de digitalização das Cartas e Mapas elaborados nesta pesquisa.

Ao DER e ao DENIT pelo fornecimento dos relatórios de SPT e resultados de ensaios de mecânica dos solos utilizado para a confecção dos projetos executivos do anel viário da cidade de Uberlândia, sendo estes de fundamental importância para a realização do mapeamento.

Ao Senhor Edson Buiate pelo apoio, incentivo e empréstimo de um veículo de reboque, que foi muito útil na fase de observações de campo e amostragem.

Andrade, R. F. de. Mapeamento Geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25. 000) da área de expansão urbana de Uberlândia – MG. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. 114 p.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) realizado na porção peri-urbana da cidade de Uberlândia – oeste do estado de Minas Gerais, abrangendo uma área aproximada de 303 Km². A realização deste trabalho teve como objetivo geral gerar subsídios ao planejamento do uso e ocupação do meio físico urbano a partir da caracterização e delimitação de unidades geotécnicas. O desenvolvimento do trabalho de mapeamento seguiu basicamente a proposta metodológica da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, elaborada por Zuquette (1987). Como produto final foram gerados três documentos cartográficos, a saber: Mapa de documentação, Carta de Declividade e o Mapa dos Materiais Inconsolidados. O Mapa dos Materiais Inconsolidados foi gerado mediante a avaliação dos seguintes atributos pertinentes à cobertura inconsolidada: tipo e natureza, textura, espessura, análise dos resultados de sondagens de simples reconhecimento para definição das espessuras dos materiais, tanto nas regiões com alto índice de urbanização quanto nas de baixo, e ensaios de campo e laboratório. Foram identificadas 9 unidades geotécnicas de materiais inconsolidados. Todos os materiais da área estudada foram caracterizados como colapsíveis. Os solos de seis destas unidades, foram caracterizados como lateríticos dos tipos LA LA' (segundo a classsificação MCT) e, quando avaliadas quanto às suas propriedades mecânicas e hidráulicas após a compactação, apresentaram elevada capacidade de suporte, baixa permeabilidade, baixa expansibilidade e baixa a média contração, sendo os mais indicados para base de pavimento, reforço de sub-leito, aterro compactado e revestimento primário.

Palavras Chave: mapeamento geotécnico, planejamento urbano; materiais inconsolidados; meio físico.

Andrade, R. F. de. Preliminary Engineering Geological Mapping in a scale of semi-detail (1:25.000) of the urban expansion area of the Uberlândia - MG Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2005. 114 p.

ABSTRACT

This research presents the preliminary Engineering Geological Mapping of an contour area of the urban portion of the city of Uberlândia –western of the state of Minas Gerais– in a scale of semi-detail (1:25.000), covering approximated an area of 303 Km². The development of this work had as a general objective to provide subsidies to the planning of the use and occupation of the urban environment having the characterization and delimitation of geotechnical unities as a starting point. The development of the mapping followed the methodology proposed by the Escola de Engenharia de São Carlos - USP, proposed by Zuquette (1987). As a final result, three cartographic documents were elaborated: a Document Map, a Declivity Chart and a Map of Unconsolidated Materials. The Map of Unconsolidated Materials was generated by the analysis of the following attributes related with the unconsolidated covering: type and nature, texture, thickness and analysis of the results of Standard Penetration Tests for definition of the thickness of the materials, not only in the regions with higher index of urbanization but also on those with lower one, and field rehearsals and laboratory. They were identified 9 geotechnical unities of unconsolidated materials. All the materials of the studied area were characterized as colapsíveis. The soils of six of these units, they were characterized as lateríticos of the types LA and LA' (according to the classification MCT) and, when appraised as for their mechanical and hydraulic properties after the compacting, they presented high Bearing capacity, low permeability, low expansibility and low to medium contraction. They are the most indicated for pavement base, sub grade reinforcement, compacted embankment and primary covering.

Key Words: engineering geological mapping, urban planning; unconsolidated materials; environment.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

1.1 SÍMBOLOS

c`	Coeficiente utilizado na classificação geotécnica MCT.
d`	Coeficiente angular do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes do ensaio de Mini-MCV.
D*r*	Densidade relativa.
D	Diâmetro da partícula.
eo	Índice de vazios de campo.
e máx	Índice de vazios máximo de laboratório.
e mín	Índice de vazios mínimos de laboratório.
e_n	Índice de vazios natural.
e_L	Índice de vazios no limite de liquidez.
e`	Índice que diferencia o comportamento laterítico do não laterítico.
IP	Índice de Plasticidade.
IG	Índice de grupo.
K	Coeficiente de identificação de solos colapsíveis.
LL	Limite de liquidez.
LP	Limite de plasticidade.
Pi	Coeficiente de perda de massa por imersão.
$S_{r\,n}$	Grau de saturação natural.
t	Tempo percorrido pela partícula.
$W_{ótima}$	Umidade ótima.
W_n	Teor de umidade natural.
v	Velocidade de queda das partículas.
μ	Viscosidade da água.
V_S	Volume de sólidos.
V_V	Volume de vazios.
z	Distância percorrida pela partícula.
$\gamma_{d\,máx}$	Massa específica máxima do Mini-MCV.
$\gamma_{máx}$	Massa específica máxima.
γ_w	Massa específica da água.
γ_s	Massa específica dos sólidos.
γ	Massa específica.

1.2 SIGLAS

ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BRGM	Bureau de Recherches Geologiques et Minieres
CEASA	Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S/A
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
COMECOM	Council for Mutual Economic Assistance
CPRM	Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
Cwa	C_meio quente; w_ com chuvas no verão; a_ verões quentes e os invernos brandos
DENIT	Departamento de Infra-estrutura de Transporte.
DER/MG	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FCA	Ferrovia Centro Atlântica
FECIV	Faculdade de Engenharia Civil
FEPASA	Ferrovia Paulista S.A
GASP	Geotechnical Area Study Programme
IAEG	International Association of Engineering Geology
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	Instituto Geológico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
MCT	Miniatura, Compactado, Tropical.
MINEROPAR	Minerais do Paraná S/A
Mini-MCV	Ensaio Moisture Condition Value com corpos de prova reduzidos
PUCE	Pattern, Units, Components and Evaluation
NBR	Normas Brasileiras
RADAMBRASIL	Projeto Radar da Amazônia
SPT	Standart Penetration Test
TQDL	Cobertura Terciário-Quartenária Detrítico-Laterítica
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UNB	Universidade Federal de Brasília.
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, à Ciência e a Cultura
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transverso Mercator
ZERMOS	Zonas Expostas aos Riscos de Movimentações do Solo e do Subsolo

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fotos e Ilustrações de sondagem de simples reconhecimento e equipamentos. 27

Figura 2.2 – Sistema fotográfico acoplado a um balão 30

Figura 2.3 – Exemplo de superposição longitudinal e Área de cobertura de uma fotografia aérea. 31

Figura 2.4 – Aerofoto vertical pancromática, em escala aproximada de 1:25.000 de junho de 1972 33

Figura 2.5 – Exemplo de superposição longitudinal 33

Figura 3.1 – Identificação do sistema viário e situação do município no Triângulo Mineiro e no país. 41

Figura 3.2 – Identificação da área de estudo. 42

Figura 3.3 –Tabela de média térmica, de precipitação pluviométrica total mensal e umidade relativa do ar relativas ao ano de 2002. 43

Figura 4.1 – Seqüência de procedimentos adotados para a elaboração do Mapeamento Geotécnico. 51

Figura 4.2 – Ficha de campo para levantamento geotécnico para perfil de alteração. 55

Figura 4.3 –Coleta da amostras deformadas e indeformadas 56

Figura 4.4 – Vista parcial do setor leste próximo aos pontos observados e amostrados OA-46 e AO-47 56

Figura 4.5 – Amostrador de parede fina tipo shelby (adaptado) 57

Figura 4.6 – Dispositivo hidráulico utilizado. 58

Figura 4.7 – Amostra indeformada. 59

Figura 4.8 – Amostra indeformada extraída com o uso de anel volumétrico..... 60

Figura 4.9 – Gráfico semi-logarítimo para determinação do limite de liquidez (ponto 2).. 62

Figura 4.10 –Aparelho para determinação do limite de liquidez. 62

Figura 4.11 – Equipamento utilizado no ensaio de compactação..... 65

Figura 4.12 – Equipamento utilizado no ensaio de Perda de massa por imersão. 68

Figura 4.13 –Nomograma da Classificação MCT 68

Figura 4.14 – Equipamento utilizado no ensaio Mini-MCV 69

Figura 4.15 – Equipamento utilizado no ensaio Capacidade de Suporte Mini-CBR 70

Figura 4.16 – Aparelhagem utilizada no ensaio de infiltrabilidade..... 72

Figura 4.17 – Aparelhagem utilizada no ensaio de permeabilidade..... 72

Figura 4.18 – Elementos e estrutura do solo 74

Figura 4.19 – Ábaco para confecção da Carta de declividades. 77

Figura 5.1 – Vista parcial e perfil de alteração estabelecido para a Unidade 1..... 85

Figura 5.2 – Vista parcial de uma área típica de ocorrência de materiais hidromórficos e perfil para a Unidade 2. 86

Figura 5.3 – Vista parcial do setor norte como perfil típico da Unidade 3 87

Figura 5.4 – Vista parcial do setor oeste e perfil de alteração da Unidade 4 88

Figura 5.5 – Vista parcial do setor leste e perfil típico de alteração da Unidade 5 90

Figura 5.6 – Vista parcial e perfil de alteração estabelecido para a Unidade 6..... 91

Figura 5.7 – Vista parcial e perfil de alteração estabelecido para a Unidade 7..... 92

Figura 5.8 – Vista parcial da região sudoeste na Unidade 8..... 93

Figura 5.9 – Vista parcial da região sudoeste e perfil típico estabelecido para a Unidade 9 94

Figura 6.1 – Curvas de distribuição granulométrica..... 97

Figura 6.2 – Expansão x Umidade de moldagem..... 98

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Principais procedimentos que ajudaram no desenvolvimento do mapeamento geotécnico. 7

Tabela 2-2 – Classificação Espanhola 10

Tabela 2-3 – Classificação das Cartas Geotécnicas segundo Sanejouand..... 11

Tabela 2-4 – Ficha técnica de cadastramentos de dados, utilizada pela Metodologia Zermos. 12

Tabela 2-5 – Principais características da metodologia do sistema PUCE. 14

Tabela 2-6 – Classificação formal dos mapas geotécnicos segundo a IAEG..... 15

Tabela 2-7 – Classificação litogenética dos Mapas Geotécnicos segundo a IAEG 16

Tabela 2-8 – Tipos de atributos e a fatores de ocupação..... 21

Tabela 2-9 – Observações mínimas sugeridas..... 22

Tabela 2-10 – Trabalhos realizados a partir da metodologia de Zuquette..... 24

Tabela 2-11– Correlação de Amostradores. 28

Tabela 2-12– Possíveis utilizações das fotos aéreas..... 31

Tabela 2-13– Números de fotos necessário para um estudo de uma região de 100 km²..... 32

Tabela 2-14– Atributos x Meios de obtenções. 35

Tabela 2-15– Critérios de identificação de solos colapsíveis..... 39

Tabela 3-1– Evolução da População. 41

Tabela 3-2– Municípios Vizinhos e as respectivas rodovias de acesso. 42

Tabela 3-3 – Coluna estratigráfica das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. ... 46

Tabela 4-1–Documentos adquiridos no levantamento de dados existentes e seus respectivos órgãos. 50

Tabela 4-2– Dimensões de um amostrador de parede fina e do amostrador adaptado. 57

Tabela 4-3– Resultado comparativo da amostragem com cravação do amostrador e do anel de volume connhecido. 59

Tabela 4-4– Energias de compactação. 65

Tabela 4-5–Grupos de pontos amostrados segundo Classificação HRB..... 66

Tabela 4-6–Pontos escolhidos e parâmetros estatísticos considerados na escolha. 67

Tabela 4-7–Características do compactador com suas respectivas dimensões. 69

Tabela 4-8–Procedimentos do ensaio e suas aplicações práticas. 70

Tabela 4-9–Procedimentos do ensaio e suas aplicações práticas. 71

Tabela 4-10–Procedimentos do ensaio e suas aplicações práticas. 72

Tabela 4-11–Procedimentos do ensaio e suas aplicações práticas. 73

Tabela 5-1–Avaliação da Colapsibilidade. 78

Tabela 5-2–Resultados dos ensaios de classificação e caracterização dos materiais inconsolidados. 81

Tabela 5-3–Resultados dos ensaios de Mini-MCV e perda por Imerção. 82

Tabela 5-4–Resultados dos ensaios de Mini-CBR e perda por Imerção. 82

Tabela 5-5–Resultados dos ensaios de infiltrabilidade e permeabilidade. 82

Tabela 5-6–Classes de declividades como fator limitante para determinados tipos de uso.83

Tabela 5-7–Características apresentadas pela Unidade 1..... 85

Tabela 5-8– Características apresentadas pela Unidade 2..... 86

Tabela 5-9–Características apresentadas para a Unidade 3..... 87

Tabela 5-10–Características apresentadas na Unidade 4..... 89

Tabela 5-11 – Características apresentadas na Unidade 5..... 90

Tabela 5-12– Características apresentadas pela Unidade 6..... 91

Tabela 5-13–Características apresentadas pela Unidade 7..... 92

Tabela 5-14 – Características apresentadas pela Unidade 8..... 93

Tabela 5-15– Características apresentadas pela Unidade 9..... 94

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 _____ 1

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS _____ 1
1.2 OBJETIVOS _____ 3
1.2.1 Objetivo Geral _____ 3
1.2.2 Objetivos Específicos _____ 3
1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO _____ 4

CAPÍTULO 2 _____ 6

2.1 ASPECTOS GERAIS _____ 6
2.2 PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO _____ 9
2.2.1 Metodologia Espanhola (1967) _____ 9
2.2.2 Metodologia Francesa _____ 10
2.2.3 Metodologia ZERMOS (1973) _____ 12
2.2.4 Metodologia PUCE (1975) _____ 13
2.2.5 Metodologia da IAEG (1976) _____ 15
2.2.6 Metodologia de ZUQUETTE (1987 e 1993) _____ 17
2.3 FONTES PARA OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO _____ 26
2.3.1 Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT _____ 26
2.3.2 Fotointerpretação _____ 29
2.3.3 Observações de Campo e Amostragem _____ 34
2.3.4 Ensaios de Laboratório _____ 35
2.3.5 Colapsibilidade dos Materiais inconsolidados _____ 38

CAPÍTULO 3 _____ 40

3.1 OCUPAÇÃO, LOCALIZAÇÃO E ACESSO _____ 40
3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS _____ 43
3.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS _____ 44

3.4 GEOLOGIA REGIONAL 45
3.5 GEOLOGIA LOCAL 47
3.5.1 Formação Serra Geral 47
3.5.2 Formação Marília 48
3.5.3 Cobertura Cenozóica 48
3.5.4 Solos 49

CAPÍTULO 4 50

4.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES EXISTENTES 52
4.1.1 Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT 52
4.2 MAPA PRELIMINAR 52
4.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO E COLETA DE AMOSTRAS 53
4.3.1 Reconhecimento 53
4.3.2 Amostragem 54
4.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO 60
4.4.1 Análise granulométrica conjunta (NBR 7181/84) 60
4.4.2 Limites de Atterberg –LL, LP e IP(NBR 7180/84 e 6459/84) 61
4.4.3 Massa específica dos Grãos (sólidos) (NBR 6508/84) 63
4.4.4 Ensaio de compactação na energia do Proctor Normal (NBR 7182/86) 64
4.4.5 Ensaios para classificação pela metodologia MCT: Mini-MCV (DNER-ME 228/94 e 258/94) e perda de massa por imersão e sobrecarga (DNER-ME 256/94) 66
4.4.6 Ensaios para avaliação da capacidade de suporte como pavimento – Mini-CBR (DNER-ME 254/97) 70
4.4.7 Infiltrabilidade 71
4.4.8 Permeabilidade 72
4.4.9 Massa específica aparente (γ), massa específica aparente seca de campo (γd campo) e teor de umidade 73
4.4.10 Avaliação da Colapsibilidade 73
4.5 FOTOINTERPRETAÇÃO 75
4.5.1 Ajuste dos Limites das Unidades Homogêneas 75
4.6 DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS 76
4.6.1 Mapa de documentação 76
4.6.2 Carta de Declividades 76

4.6.3 Mapa de Materiais Inconsolidados 77

CAPÍTULO 5 78

5.1 ENSAIOS DE LABORATÓRIO E AVALIAÇÃO DA COLAPSIBILIDADE 78

5.2 CARTA DE DECLIVIDADES 82

5.3 MAPA DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS 84

5.3.1 Unidade 1 - Residuais de pequena espessura da Formação Serra Geral (RSG-I). 84

5.3.2 Unidade 2 - Materiais hidromórficos (H) 85

5.3.3 Unidade 3 – Residual da Formação Marília _Arenoso (RMA-AR I) 86

5.3.4 Unidade 4 - Materiais Residuais da Formação Marília (RMA-Arg). 88

5.3.5 Unidade 5 - Material retrabalhado argiloso II_ Cobertura de Chapada. 89

5.3.6 Unidade 6 - Material Retrabalhado Argiloso I_ Colúvio das Formações Serra Geral e Marília (Arg-I). 90

5.3.7 Unidade 7 – Material Retrabalhado Argiloso (Arg). 92

5.3.8 Unidade 8 - Materiais Residuais da Formação Marília_Arenoso II (RMA-Ar II) 93

5.3.9 Unidade 9 - Materiais Retrabalhados Arenosos_Colúvios da Formação Marília (Ar I) 94

CAPÍTULO 6 95

CAPÍTULO 7 102

REFERÊNCIAS CONSULTADA 105

ANEXOS 111

ANEXO I – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO 112

ANEXO II – CARTA DE DECLIVIDADE 113

ANEXO III – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS 114

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O processo de mapeamento geotécnico é viabilizado por meio do levantamento, avaliação, análise e representação em documentos cartográficos de atributos (qualidades pertinentes ao meio físico), relativos ao substrato rochoso, materiais inconsolidados, relevo, águas e suas interações. Constitui-se em um importante instrumento aplicado ao planejamento urbano, regional e territorial, salientando-se a importância dos processos geodinâmicos naturais ou induzidos e o comportamento geomecânicos dos materiais inconsolidados e rochosos diante das solicitações requeridas pelas atividades antrópicas.

Outras denominações são empregadas para o processo de mapeamento geotécnico no País, tais como: mapeamento geológico-geotécnico e cartografia geotécnica.

A realização do mapeamento geotécnico (*Engineering Geological Mapping*) nos países desenvolvidos como a França, Estados Unidos, Austrália e Canadá, constitui-se num dos processos fundamentais para a análise das condições do meio físico, cuja finalidade é a de subsidiar planejadores e órgãos ligados ao planejamento e/ou fiscalização na ordenação do uso e da ocupação do meio físico, em nível local, regional ou territorial. Os resultados acumulados por esses países durante várias décadas, são bastantes expressivos e largamente utilizados nos processos de planejamento (Zuquette, 1987). Cabe ainda ressaltar que, os Mapeamentos Geotécnicos são realizados pelas universidades ou pelos órgãos públicos ligados ao planejamento como o grupo francês BRGM (*Bureau de Recherches Geologiques et Minieres*) e a Organização de Pesquisa Científica e Industrial

da comunidade australiana - CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*).

No Brasil a realização de Mapeamento Geotécnico, em geral, está relacionada aos núcleos de pesquisa em geotecnia ou de geologia de engenharia das universidades. Destaca-se neste contexto a Escola de Engenharia de São Carlos - USP, com diversos trabalhos realizados nas regiões de São Carlos, Rio Claro, Piracicaba, Campinas, Araraquara, Araras, Pirassununga, Lindóia; Ouro Preto, além da UFRJ, a UNESP, a UNB, dentre outras. Outros institutos de pesquisas também vêm atuando nessa linha, como o IPT em São Paulo, a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC em Minas Gerais, a Minerais do Paraná S/A - MINEROPAR no Estado do Paraná, Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais -CPRM e o Instituto Geológico (IG) em São Paulo.

Nishiyama (1998) realizou um trabalho de mapeamento geotécnico no município de Uberlândia cuja finalidade foi definir os procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análise e avaliações ambientais do meio físico, na escala 1:100.000, sendo esta escala classificada como regional.

No período de 1996 a 2000, Uberlândia apresentou uma taxa crescimento populacional da ordem de 14,17 % representado um crescimento anual de 3,31% segundo IBGE (2002). Este desenvolvimento populacional trouxe como conseqüência a diversificação das formas de ocupação do meio físico urbano e, paralelamente a esta situação, a zona rural também vem sofrendo intensas transformações, passando da tradicional atividade de pecuária extensiva para a monocultura da soja e do milho.

Por outro lado, até a presente data, Uberlândia não possui um trabalho de mapeamento geotécnico em escala maior, o qual poderia constituir como uma importante ferramenta para o processo de planejamento do uso e ocupação do meio físico e na revisão do atual Plano Diretor da cidade, visando assim adequar as formas de ocupação de acordo com os potenciais e as limitações do meio-físico.

Assim sendo, torna-se imprescindível levantar e produzir informações que retratem, com fidelidade, todas as variações e limitações deste meio, não apenas de maneira qualitativa, mas principalmente, quantitativa e, após a sua análise criteriosa, elaborar documentos

cartográficos (mapas e cartas), cuja finalidade seja de orientar órgãos públicos e privados de planejamento e/ou de fiscalização, de maneira que os processos de uso e de ocupação se realizem de forma adequada.

O mapeamento da área de estudo será realizado com base nas propostas metodológicas de Zuquette (1987) **"Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras" (**Tese de Doutoramento), de Zuquette (1993) **"A importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração"** (Tese de Livre Docência) e segundo os procedimentos propostos por Nishiyama (1998) **"Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análise e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia - MG" (**Tese de Doutoramento).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral realizar o mapeamento geotécnico na área de expansão urbana (área urbana do distrito sede e parte da área rural) da cidade de Uberlândia - MG, em escala de 1:25.000, como subsídio ao planejamento urbano.

1.2.2 Objetivos Específicos

Com a realização desta pesquisa espera-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Contribuir para o crescimento urbano ordenado de Uberlândia;
- Ampliar o conhecimento sobre os materiais inconsolidados superficiais e de subsuperfície na área de expansão urbana;
- Contribuir com as empresas de construção civil com a disponibilização de informações sobre o meio físico local para subsidiar a implantação de obras públicas, tais como: obras viárias, aterro sanitário, loteamentos e etc.

- Realizar uma ampla pesquisa bibliográfica acerca do tema principal da pesquisa;

- Gerar uma base cartográfica digital georreferenciada, na escala de 1:25.000;

- Efetuar uma compartimentação da cobertura inconsolidada da área de estudo, na escala de 1:25.000;

- Elaborar um mapa onde serão representadas todas as unidades dos materiais inconsolidados da área de expansão urbana de Uberlândia;

- Elaborar uma carta de declividades, visando subsidiar a elaboração de outras cartas derivadas.

1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A dissertação apresentada é constituída de oito capítulos, organizados da seguinte maneira:

Capítulo 1: Faz-se uma breve explanação sobre o mapeamento geotécnico, comentado os objetivos gerais e específicos, citando a proposta metodológica utilizada.

Capítulo 2: Apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre as metodologias de mapeamento geotécnico consagradas no Brasil e no mundo, uma breve revisão dos métodos propostos nos trabalhos, destacando-se a proposta metodológica de Zuquette (1987) e os trabalhos realizados com a aplicação da mesma para diversas formas de ocupações do meio físico.

Capítulo 3: Neste capítulo faz-se a descrição das características essenciais da área de estudo, como a localização, aspectos climáticos, drenagem superficial, aspectos geomorfológicos, aspectos da vegetação e a geologia regional, com o intuito de caracterizar a área em estudo.

Capítulo 4: Apresenta-se os procedimentos metodológicos utilizados para o levantamento de informações por meio de análises qualitativas e quantitativas dentre as quais se destacam: sondagens de simples reconhecimento com SPT, levantamento de campo, interpretação de fotografias aéreas, mapas topográficos, cartas geotécnicas e ensaios de laboratórios.

Capítulo 5: Apresenta-se os resultados obtidos através dos procedimentos adotados, dando os subsídios para a elaboração dos documentos cartográficos (mapas e cartas).

Capítulo 6: Faz-se uma análise dos atributos encontrados, e de cada passo dos procedimentos.

Capítulo 7: Apresenta-se as conclusões relativas ao estudo realizado na área de expansão urbana de Uberlândia e da aplicação da metodologia adotada.

Capítulo 8: Faz-se as referências conforme as normas da ABNT, de todo material utilizado para a realização desta dissertação de mestrado.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS

Segundo Peter (1966 apud Zuquette, 1993) o mapa geotécnico, no sentido restrito, nasceu por volta de 1913 quando Langen apresentou alguns documentos gráficos durante a feira de construção de Leipzig na Alemanha. Estes documentos eram constituídos por um conjunto de plantas anexadas aos projetos de desenvolvimento de algumas cidades alemãs, que tinham como intuito demarcar por meio de cores e símbolos às áreas inundáveis, a variação do lençol freático e as áreas de exploração de materiais para construção civil.

Nishiyama (1991) comenta que no leste europeu, em meados da década de 40, a Ex-Tchecoslovaquia foi o país que mais se destacou com os trabalhos de Pasek, Rybar, Zebera, Matula, Zaruba e outros. Matula e Pasek (1966) aprovaram junto ao Conselho de Assistência Econômica Mútua - COMECOM (*Council for Mutual Economic Assistance*) um mapa geotécnico com finalidade geral, na escala 1:25.000, que serviu de modelo para instruções internacionais aos países integrantes deste conselho.

A base conceitual para trabalhos posteriores, foi realizada por Popov et al. (1950 apud Zuquette, 1993) sob o título "Técnicas de compilação de mapas de geologia de Engenharia" na extinta União Soviética em 1950. Abordava a elaboração de cartas em pequenas escalas onde existia o predomínio de três tipos de mapas: geotécnico geral (1:2.500.00), zoneamento geotécnico (1:1.000.000, 1:500.000, 1:100.000) e geotécnico especial (escala maiores).

Segundo Zuquette; Nakazawa (1998) o mapeamento geotécnico evoluiu a partir da integração de vários procedimentos. O surgimento de novas técnicas de mapeamento ajudou no enriquecimento do seu conteúdo e na representação gráfica. A Tabela 2-1 descreve os principais procedimentos.

Tabela 2-1 – Principais procedimentos que ajudaram no desenvolvimento do mapeamento geotécnico.

Procedimentos	Ano	Local	Descrição
Método de Moldenhawer	1919	Vila de Dantzig	Embasou as técnicas modernas de mapeamento. Dividiu os terrenos em função da profundidade e apresentou o resultado em dois tipos de mapas (sondagens e geotécnico)
Método de Stremme	1932	*ND	Stremme publicou um conjunto de cartas produzidas por Ostendorff sobre geologia e geotecnia dos terrenos.As cartas geológicas obedeciam ao esquema de Moldenhawer e a geotécnicas estabeleciam, de forma natural, as taxas de trabalho admissível para as fundações e as possibilidades de escorregamento.
Esquema de Muller	1938	Comunidade de Mark	Muller publicou um mapa geológico de afloramentos, uma carta de terrenos adequados à construção (interpretativa) e uma carta de planificação, usando cores e sinais para diferenciar as unidades, suas características e seus componentes.
Método de Groschopf	1951	Região de Ulm	Tem como finalidade caracterizar um tipo de representação gráfica. O mapa geológico apresenta os materiais aflorantes, representados por cores e os do substrato rochosos por letras.
Metodologia de Gwinner	1956	Vila de Gotturgen	Gwinner foi o primeiro a pensar em termos de unidade geotécnica, apoiando-se na proposta de Terzaghi de interação dos dados de propriedades físicas e comportamento mecânico dos solos com as condições geológicas.
Classificação de Benz	1951	Vila de Stuttgart	Baseia-se na subdivisão das áreas em zonas, utilizando os princípios dos ensaios da Mecânica dos solos e examinando as camadas em função da capacidade de suporte para construção.
Sistema de Graupner	*ND	*ND	Sistema composto por três pares de cartas e fichas, sendo que cada par foi usado para um fator, tendo Graupner adotado escalas em torno de 1:10.000, no estágio de reconhecimento e 1:1.000, na solução de problemas específicos.
Método do Quadran (quadrante)	1956	Freiberg-Escola Superior de Minas	Suas divisões referem-se às variações de diversas características do meio físico, tais como espessura ou profundidade do nível d'água, sendo proposto por Wawser, Rieger e Hille.

Nota: * ND _ Não definido

Fonte: Zuquette (1993) adaptado pelo autor.

Segundo Zuquette (1993) a França teve um papel fundamental na segunda metade da década de 60, ao desenvolver estudos geotécnicos direcionados para o planejamento e uso do solo em escalas regionais e urbanas, de modo menos sistemático que na Europa Central.

Sem nenhuma metodologia padrão, os Estados Unidos iniciaram os mapeamentos geotécnicos por volta de 1960. Estes eram derivados de mapas geológicos convencionais e subdivididos em três grupos (mapa de dados básicos, fatores e aptidão). O país todo está praticamente mapeado na escala 1:7.500, em um conjunto de folhas, derivado das respectivas folhas geológicas de mesma escala (Zuquette, 1993).

Nishiyama (1991) comenta que com a criação do Programa PUCE (*Pattern, Unit, Component, Evaluation*) a Austrália deu um importante passo para o desenvolvimento do mapeamento geotécnico.Grant (1970 apud Nishiyama, 1991) baseado em dados predominantemente geomórficos (flutuações paleoclimáticas, tectonismo, etc.) associados a outros tipos de dados como os de solos e em diversas escalas, teve o intuito de racionalizar certos procedimentos para o agrupamento e processamento de informações para o pré-planejamento, planejamento e projetos de engenharia.

Em Hong Kong o mapeamento geotécnico surgiu por volta de 1986 sendo estes gerados por Styles et al.(1982) que aproveitaram os dados coletados pelo GASP (*Geotecnical Area Study Programe*).Segundo Brand et al. (1982), os dados coletados e a classificação dos terrenos são armazenados em banco de dados para utilizações futuras. Os mapas gerados correspondem aos de classificação dos terrenos e aos mapas de uso (Zuquette 1993).

Segundo Zuquette (1993) a elaboração de trabalhos precursores de mapeamento geotécnico no Brasil ocorreu por volta dos anos de 1965-1966, com Haberlehner e de Heine, na UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro).Haberlehner em 1966 publicou um trabalho no 20º Congresso Brasileiro de Geologia, de Porto Alegre.

Nishiyama (1991) argumenta que o primeiro mapa geotécnico (propriamente dito) realizado em nosso País foi elaborado por Coulon (1974), o qual abrangia as Folhas de Morretes e Montenegros (RS).O autor utilizou como critério um detalhado mapa geológico básico sobre o qual posteriormente foram desenvolvidas considerações de caráter geotécnico.

Prandini et al (1974 apud Zuquette; Nakazawa, 1998) no 28º Congresso Brasileiro de Geologia discutem sobre a utilização do mapeamento geotécnico como ferramenta de planejamento no Brasil. Porém somente em 1976 foi definida uma metodologia preliminar de geologia de planejamento por Infanti Jr. Após este período inicial, diversos trabalhos se sucederam, sendo desenvolvidos a partir de 1988 algumas metodologias brasileiras como:

- Metodologia do IG-UFRJ;
- Metodologia do IPT;
- Metodologia da EESC-USP.

2.2 PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Devido à importância do mapeamento geotécnico como principal instrumento para o planejamento do uso e ocupação do meio físico, além da necessidade de procedimentos adequados à realidade de cada país, foram desenvolvidas diversas metodologias, sobretudo nos países da Europa.

Apresenta-se a seguir, de forma resumida, as principais metodologias estrangeiras e em específico, a metodologia adotada neste trabalho de dissertação de mestrado, desenvolvida por Zuquette (1987) e Zuquette (1993).

2.2.1 Metodologia Espanhola (1967)

Segundo Zuquette; Gandolfi (1988) esta metodologia teve início nos anos 50 e se destacou por volta de 1967 com o 3º plano de desenvolvimento espanhol. Utilizada para o planejamento urbano e regional, distingue quatro níveis de mapeamentos com diferentes escalas, voltadas para duas finalidades fundamentais:

- Assessorar estudos de planejamento;
- Apresentar informações básicas para projetos civis.

Para Zuquette e Gandolfi (1988, p.603),

> A sua aplicação, na íntegra, é praticamente impossível face às características intrínsecas que apresenta, porém sua estrutura básica pode servir de base a outras metodologias, por ser muito ampla em termos de escalas e atributos considerados. A forma proposta de elaboração do mapa geotécnico básico e bem como os atributos considerados são suas partes que melhor atendem às nossas condições.

Os quatro níveis de mapeamento encontram-se resumidamente na Tabela 2-2

Tabela 2-2 – Classificação Espanhola

	Classificação	Escala	Características
Mapas Geotécnicos	Mapas Geotécnicos Gerais	1: 200.000	São utilizados para o planejamento nacional e regional, baseado em 4 fatores (litológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e geotécnicos) cuja análise deverá obedecer alguns critérios pré-estabelecidos.
	Mapas Geotécnicos Básicos	1: 25.000	São utilizados para o planejamento regional, urbano e de zonas turísticas, fornecendo dados geomecânicos e físicos dos solos e rochas, limites de variação e previsão do comportamento.
	Mapas Geotécnicos Seletivos	1: 5.000	São utilizados para o planejamento de zonas urbanas, turísticas, industriais e de regiões que apresentam riscos de acidentes naturais, fornecendo dados de solos, quanto à capacidade de carga, resistência à deformação, medidas e variações de deformação em função do tempo.
	Mapas Geotécnicos Específicos	1: 2.000	São utilizados para auxiliar projetos e a execução de grandes obras em áreas urbanas e industriais, apresentando informações específicas e detalhadas das características dos terrenos.

Fonte: Nishiyama (1991) adaptado pelo autor.

2.2.2 Metodologia Francesa

Zuquette; Nakazawa (1998) menciona que esta metodologia surgiu em 1972 quando o pesquisador francês Sanejouand publicou uma síntese de todos os trabalhos de cartografia geotécnica realizados na França e em outros países com objetivo de viabilizar o planejamento ambiental para fins regionais e para situações específicas de uso local. A representação de informações em 3ª dimensão segue as mesmas linhas dos trabalhos desenvolvidos na Ex - Tchecoslováquia.

Nishiyama (1991) comenta que os fatores mais comuns a serem avaliados por esta metodologia são: geologia, geomorfologia, geotecnia dos terrenos e as modificações do meio físico pelas ações antrópicas.

Segundo Janejouand (1972 apud Barison, 1995) as cartas geotécnicas geradas podem ser classificadas quanto à escala, ao conteúdo e forma, conforme demonstra a Tabela 2-3.E as duas cartas geotécnicas mais utilizadas quanto ao seu conteúdo e forma são:

- Cartas de Fatores (Analíticas): é um conjunto de cartas com um certo detalhamento de dados, elaborados mediante a análise de vários fatores;

- Cartas de Aptidão (Sintéticas): consiste na delimitação de áreas homogêneas derivadas da análise das cartas de fatores em função da necessidade para uma situação específica.

Tabela 2-3 – Classificação das Cartas Geotécnicas segundo Sanejouand

<table>
<tr><th colspan="5">Cartas Geotécnicas</th></tr>
<tr><th colspan="2">Escala</th><th colspan="3">Conteúdo e Forma</th></tr>
<tr><th rowspan="2">< 1:100.000</th><th rowspan="2">>1:100.000</th><th colspan="2">Cartas de Fatores</th><th rowspan="2">Cartas Sintéticas</th></tr>
<tr><th>Normais</th><th>Especiais</th></tr>
<tr><th>Finalidades</th><th>Finalidades</th><th colspan="2">Finalidades</th><th>Finalidades</th></tr>
<tr><td>Regional</td><td>Local</td><td>Regional / Local</td><td>Local</td><td>Local</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Mapas geotécnicos</td><td>1:50.000 a 1:100.000 (Metrópoles)</td><td rowspan="4">Serve de base para as cartas sintéticas (cartas geológicas e outras)</td><td rowspan="4">Serve para resolver problemas individuais como fundações</td><td>Fundações</td></tr>
<tr><td>1:25.000 a 1:10.000 (Cidades)</td><td>escavabilidade</td></tr>
<tr><td>1:5.000 a 1:10.000 (Fins específicos)</td><td>Materiais de construção</td></tr>
<tr><td>± 1:1.000 (Grande detalhe)</td><td>-</td></tr>
</table>

Fonte: Barison (1995) adaptado pelo autor.

No dizer de Zuquette; Nakazawa (1998), vale ressaltar que fica a cargo do pesquisador a determinação das regras, limites, classificações e símbolos que definem as áreas homogêneas, pois esta metodologia não as estabelece. Sua aplicação é sugerida para áreas de pequenas e grandes extensões.

2.2.3 Metodologia ZERMOS (1973)

Zuquette; Gandolfi (1988) comenta que os primeiros trabalhos de mapeamento geotécnico foram apresentados a BRGM (*Bureau de recherches géologiques et minières*) pelos pesquisadores Chazan (1973), Humbert (1975,1977), Antoine (1977) e outros, aplicados às áreas sujeitas a escorregamentos e desabamentos, situações naturais e atividades sísmicas.

O objetivo da metodologia ZERMOS (Zonas Expostas aos Riscos de Movimentação do Solo e do Subsolo) segundo Zuquette; Gandolfi (1988), é levantar dados do meio físico com o auxílio de uma ficha técnica, onde são registradas as variações dos mesmos.

A metodologia foi desenvolvida para áreas específica, ou seja, onde ocorreram os movimentos de terra, para tanto, é exigido trabalhos já realizados nestas áreas em escalas menores que 1: 10.000 (Zuquette;Gandolfi, 1988).

A Tabela 2-4 relaciona os itens de uma ficha técnica para o levantamento de dados de zonas com movimentos de massa.

Tabela 2-4 – Ficha técnica de cadastramentos de dados, utilizada pela Metodologia Zermos.

Itens	Variações	Características
I	Identificação com Croqui Esquemático da Região ou Local em Questão	Situação geográfica, acesso e outros dados que julgarem importantes.
II	Topografia	Topografia geral, morfologia, vegetação natural, ocupação humana e particularidades climáticas.
III	Materiais Inconsolidados	Natureza e idade, extensão e espessura de cada tipo.
IV	Substrato Rochoso	Litologia e estratigrafia, estruturas, falhas, fraturas, foliações, fraturas, foliações, xistisidade e outras, alteração geral e detalhes geológicos.
V	Hidrogeologia	Águas superficiais (variação e uso), águas subterrâneas e erosão ligados às águas.
VI	Movimentos dos Terrenos	Aspectos gerais, características, estado do terreno movimentado, natureza das superfícies já existentes e outras características.
VII	Relações com a Geologia e com a Hidrogeologia	As superfícies de rupturas estão associadas a alguma descontinuidade (descrição da descontinuidade) e há relações entre hidrogeologia, ravinamento e erosão.
VIII	Histórico do Movimento e a sua Evolução no Tempo	Período de visualização do movimento há relações com atividades humanas, informações dos habitantes da região e descrição da evolução do movimento.
IX	Interpretação e Prognósticos	Resultado final explicado

Fonte: Zuquette;Gandolfi (1988) adaptado pelo autor.

As etapas de trabalhos são dispostas da seguinte forma:

- 1ª Etapa - São selecionadas as áreas prioritárias na escala de 1:25.000 ou 1:20.000;
- 2ª Etapa - Detalhamento dessas áreas nas escalas de 1:5.000 ou 1:2.000.

Esta metodologia não se adapta muito bem as condições sócio-econômicas brasileiras por apresentar um elevado custo na obtenção dos dados.

2.2.4 Metodologia PUCE (1975)

No dizer de Zuquette; Nakazawa (1998) por volta da década de 60, na Austrália, diversos pesquisadores participaram do desenvolvimento desta metodologia, como: Woloshin (1968), Stewart (1968), Mitchell (1973), Ollier (1977) e Grant e Finlayson (1978).

Zuquette; Nakazawa (1998) concordam que o objetivo da Metodologia PUCE é racionalizar e unificar os procedimentos de investigação geotécnica, visando fornecer informações de engenharia para o planejamento da ocupação do meio físico.

A metodologia PUCE (*Patterns, Units, Corponents and evaluation*) segundo Barison (1995) leva em consideração os seguintes aspectos para mapeamento geotécnico: geologia, relevo, drenagens, solos, vegetação e topografia.

E está hierarquizado em quatro classes de terrenos, sendo que cada classe é composta por um número limitado de membros pertencentes da classe seguinte, obtendo informações para as etapas de execução, de planejamento e construtiva da engenharia. Sendo as principais características apresentadas resumidamente na Tabela 2-5.

No dizer de Zuquette e Gandolfi (1988) a metodologia PUCE é a mais completa para a análise do meio físico, pois apresenta diretrizes para a escolha dos atributos, seus limites, classificações dos terrenos, formas de aplicação e até seu armazenamento em banco de dados.

Tabela 2-5 – Principais características da metodologia do sistema PUCE.

Classes do Terreno	Província	Padrão do Terreno	Unidades do Terreno	Componentes do Terreno
Fatores do Terreno para Descrição	- Geologia (grupo formação,etc.)	- Paisagem; - Características básicas do solo, vegetação e rochas; - Padrão de drenagem;	- Formas de relevo -Principais características dos solos, rochas e formações vegetais.	- Tipos de taludes -Litologia - Solo - Associação
Fatores do Terreno Adequados para Quantificação		- Amplitude do relevo; - Freqüências de correntes.	- Dimensões das unidades do terreno (amplitude do relevo, comprimento e largura).	1- Dimensões dos componentes do terreno; 2- Dimensões da vegetação; 3- Dimensões dos obstáculos; 4- Propriedades dos materiais; 5- Quantidades dos materiais terrosos.
Método para Quantificação		- Fotos aéreas ou medidas “in situ”.	- Fotos aéreas ou medidas “in situ”.	1- Medidas “in situ”; 2- Medidas “in situ”; 3- Medidas “in situ”; 4- Medidas “in situ” e laboratório. 5-Medida ou estimada.
Modelo para Expressar o Resultado	- Mapas em escalas ≥1:25.000 ou outros.	- Mapa em escala ≥1:250.000; - Blocos diagramas da paisagem e da associação de unidades do terreno.	- Mapas em escalas ≥1:25.000; - Devesas associações.	- Mapas em escalas ≥1:2.500; - Detalhes exigidos pela classe.
Fatores de Informações	-Mapas Geológicos; - Fotos Aéreas ou; - Imagens em escalas $1:10^6$.	- Fotos Aéreas ou; - Imagens em escalas $1:10^5$.	- Estudos fotogramétricos em escala de ordem $1:10^4$.	- Estudos fotográficos em escala de 1:10; - Mapas de contorno iguais
Construção de Engenharia Apropriados a Cada Estágio	- Escavações rochosas subterrâneas profundas; - Obras gerais.	- Construção de estradas; - Equipamentos e movimentos de terra; - Pontes e outros; - Construção de aeroportos.	- Construção de estradas; - Localização, greide; - Materiais para base; - Materiais para aterros; - Material rochoso a escavar.	- Traficabilidade na superfície natural; - Viabilidade dos aeroportos e estradas; - Adequabilidade para material de subgraide; - Materiais para o pavimento; - Materiais para o concreto.

Fonte: Zuquette; Gandolfi (1988, p.593) adaptado pelo autor.

2.2.5 Metodologia da IAEG (1976)

Segundo Zuquette e Nakazawa (1998) a Metodologia da IAEG foi desenvolvida pela comissão de mapeamento de geologia de engenharia da IAEG (*International Association of Engineering Geology*), que iniciou suas atividades em 1968.

Esta comissão tinha como objetivo criar uma metodologia que se adequasse à maioria dos países, obedecendo ao princípio de que as cartas geotécnicas devem fornecer informações de forma facilmente compreensível por usuários profissionais e que sua realização fosse adequada socioeconômica e tecnicamente.

Os primeiros resultados dessa comissão foram publicados em 1970, no Boletim da IAEG, e a primeira parte do trabalho em 1976 pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura), que relata os fatores e as feições mais relevantes como rocha e solo, água, hidrologia, geomorfologia e processo correspondente. A metodologia leva em consideração as técnicas para obtenção e interpretação dos dados, assim como as técnicas de representação das informações no conjunto de documentos que compõe o mapeamento geotécnico.

A classificação formal dos mapas geotécnicos segundo a IAEG/UNESCO (1976) podem ser quanto a finalidade, conteúdo e escala, descritos na Tabela 2-6.

Tabela 2-6 – Classificação formal dos mapas geotécnicos segundo a IAEG

Mapas Geotécnicos	Finalidade	Especial	Contém informações específicas em geotecnia, para uma finalidade específica.	
		Multifinalidade	Contém informações gerais em geotecnia, para finalidades de engenharia e/ou planejamento.	
	Conteúdo	Mapas Analíticos	Fornecem detalhes ou avaliam os componentes do ambiente geológico. Ex.: Mapa de risco sísmico	
		Mapas Compreensivos	Condições geotécnicas	Registra os componentes do meio físico, sem interpretá-los.
			Zoneamento geotécnico	Registra e interpreta as informações geológico-geotécnicas delimitando áreas homogêneas.
		Mapas Auxiliares	Mapas de documentações	
		Mapas Complementares	Mapas geológicos, pedológicos, geomorfológicos, tectônicos e outros.	
	Escala	Grande	> 1: 10.000	
		Média	< 1: 10.000 a > 1: 100.000	
		Pequena	< 1: 100.000	

Fonte: Barison (1995) adaptado pelo autor.

A metodologia ainda faz uma classificação litogenética nos seguintes tipos geotécnicos: litológico, complexo litológico e suíte litológica, que estão embasadas em uma proposta taxonômica demonstrada na Tabela 2-7.

Tabela 2-7 – Classificação litogenética dos Mapas Geotécnicos segundo a IAEG

	Classificação		Escala	Características
Mapas Geotécnicos	Geologia de Engenharia	Engineering Geological Type (ET)	> 1: 5.000	Apresentam uniformidade nas características litológicas, no estado de alteração.
	Tipo Litológico	Litological Type (LT)	1: 5.000 a 1:10.000	Prevê homogeneidade em termos de estrutura, textura, composição e heterogeneidade quanto à alteração.
	Complexo Litológico	Litological Complex (LC)	1: 10.000 a 1:200.000	Compreende tipos litológicos relacionados geneticamente, desenvolvidos sob condições geotectônicas e palegeográficas específicas.
	Suíte Litológica	Litological Suíte (LS)	< 1:200.000	Associa vários complexos litológicos que se desenvolveram sob condições tectônicas e palegeográficas similares

Fonte: Zuquette; Nakazawa (1998) adaptado pelo autor.

Para que essa metodologia possa ser aplicada em qualquer país, esta deve satisfazer as seguintes condições:

- Determinar a escala e o tipo de documento desejado;
- Conciliar o número de informações com as exigências da metodologia;
- Ordenar os componentes do meio físico, as feições e os atributos que sejam interessantes;
- Definir como obter os seus atributos e suas classes.

Por apresentar problemas na satisfação das condições mencionadas acima, ou seja, praticamente ter que criar uma nova metodologia para as condições dos países em estudo, sua utilização torna-se inaplicável.

2.2.6 Metodologia de ZUQUETTE (1987 e 1993)

O mapeamento geotécnico teve o seu início no Brasil por volta de 1974, sendo que os trabalhos realizados até 1987 seguiram as linhas metodológicas estrangeiras. Estas linhas mesmo que adaptadas ao nosso país não conseguiram atender às condições ambientais, tecnológicas e sócio-econômicas prevalecentes em todo território nacional.

Em 1987, Zuquette desenvolveu uma metodologia de mapeamento geotécnico, apresentada como tese de doutorado junto a Escola de Engenharia de São Carlos-USP sob o título "Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras". A metodologia Zuquette privilegia meios alternativos para obtenção de informações (atributos) do meio físico (rochas, materiais inconsolidados, águas, relevo e suas relações) mais adequados às condições sócio-econômicas brasileira, à extensão territorial, e baixa densidade de informações pré-existentes e, contudo sem perder de vista a qualidade das informações.

Com o desenvolvimento da metodologia Zuquette inúmeros trabalhos de mapeamento geotécnico continuam a serem realizados, inicialmente com objetivo de testá-la e aprimorá-la. Em 1993, Zuquette apresenta sua tese de livre docência intitulada "A importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração". Esta tese apresenta diretrizes, para a seleção, formas de obtenção e procedimentos de análises dos atributos do meio físico, baseados na aplicação da metodologia de Zuquette 1987e em estudos específicos quanto a novos aspectos metodológicos desenvolvidos até 1993.

2.2.6.1 "Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras" (Tese de Doutoramento 1987)

Esta metodologia foi desenvolvida com vista a atender as condições sócio-econômicas gerais brasileiras no que se diz respeito à adequação a uma diversidade de escalas (1:250.000 a 1:100.000 e 1:50.000 a 1:10.000), utilizando os atributos obtidos por meios alternativos e, com isso, realiza o mapeamento geotécnico a um baixo custo.

Segundo Zuquette (1987) a classificação dos documentos que compõem o mapeamento geotécnico podem ser quanto à escala, finalidade e forma de apresentação dos resultados:

- A Classificação quanto à escala distingue-se em 3 grupos de documentos:

  I. Menores que 1:100.000 (Escalas Gerais);

  II. 1:100.000 a 1:25.000 (Escalas Regionais);

  III. 1:25.000 a 1:10.000 (Escalas Semidetalhadas).

- Classificação quanto à finalidade

  I. Escalas Gerais _Tem como finalidade orientar o planejamento de áreas extensas e selecionar áreas específicas para a realização de futuros mapeamentos geotécnicos em escalas mais detalhadas. Destacando-se para esse estudo os seguintes atributos: condições geomorfológicas (declividade e áreas instáveis), materiais (tipos rochosos predominantes com as devidas feições estruturais, textura dos materiais inconsolidados, possíveis aqüíferos, áreas de potencial mineral), ocupação atual (vegetação natural e ocupação antrópica), dados climáticos para bacias hidrográficas (pluviosidade, área e outros).

  II. Escalas Regionais e Semi-detalhadas: Tem como objetivo auxiliar na ocupação das diversas áreas, obtendo uma melhor forma de ocupação. A diferença básica entre as duas escalas está na função do maior ou menor nível de detalhamento, mantendo os mesmos atributos nos dois níveis. Em escalas maiores que 1:50.000 os grupos considerados são: materiais inconsolidados, geomorfologia, material rochoso, águas superficiais e subterrâneas, fatores climáticos e ação antrópica.

- Classificação quanto à forma de apresentação dos resultados

  As informações são apresentadas da seguinte maneira:

I. Mapas das condições geotécnicas: Apresentam todos os atributos do meio físico sem separar áreas similares (Zoneamento) para possíveis usos. Sendo elaborados em escalas gerais.

II. Mapas de Zoneamento Geotécnico Geral: A separação é feita através de áreas similares (Zoneamento), sem estabelecer suas possíveis formas de ocupações (usos) específicas.

III. Mapas de Zoneamento Geotécnico Específico ou Carta de aptidão: São elaboradas em escalas maiores que 1:50.000 com uma finalidade única (fundações, estradas, etc...)

As principais classes de documentos elaboradas no mapeamento geotécnico são os mapas básicos fundamentais, mapas básicos opcionais, mapas auxiliares e cartas derivadas ou interpretativas.

- Mapas básicos fundamentais: são utilizados para mapear qualquer região em qualquer escala, representando o meio físico. São considerados básicos fundamentais, os seguintes documentos cartográficos apresentados a seguir:

  I. Mapa topográfico: serve para condicionar a escala de trabalho e a densidade de informações, possibilitando a confecção das cartas de declividade fornecendo dados limitantes para os diversos tipos de ocupação. Na ausência de mapas topográficos em escalas adequadas, os mesmos deverão ser elaborados mediante trabalhos fotogramétricos.

  II. Mapa geológico: fornece dados para elaboração dos mapas do substrato rochoso e materiais inconsolidados. O Mapa do substrato rochoso é de grande importância para a análise dos tipos de ocupação do meio físico, apresentando normalmente apenas os materiais rochosos. E os mapas dos materiais inconsolidados representam os materiais que estão sobrejacentes ao substrato rochoso, contendo suas principais características como: textura, espessura, gênese, rocha matriz, além de outras características e atributos que possam ser utilizados para a elaboração de cartas derivadas ou interpretativas.

III. Mapa de águas: apresentam dados hidrológicos (superficiais) e hidrogeológicos (subsuperficiais) de grande importância para o mapeamento geotécnico. Sendo estes dados hidrológicos os sistemas de drenagem, as bacias e sub-bacias, o tempo de concentração máximo de cada bacia, o escoamento superficial, as áreas inundáveis e outros. As informações hidrogeológicas devem conter dados referentes aos aqüíferos livres e confinados, aos tipos litológicos responsáveis pelo armazenamento, áreas de recarga, condições de perfuração, qualidades físicas das águas.

- Mapas básicos opcionais: São mapas complementares aos mapas básicos fundamentais (itens I,II,III, p.19), que dependendo das características peculiares de cada região podem se tornar fundamentais. A seguir são dispostos os seguintes mapas opcionais:

I. Mapas pedológicos: São apresentados no Brasil geralmente em dois níveis de detalhamento (regional e semi-detalhe), fornecendo informações importantes a respeito dos materiais inconsolidados (até 3,00 m de profundidade) como a gênese e rocha mãe, composição mineralógica, a porosidade, análise granulométrica, além de outras.

II. Mapas geofísicos: São utilizados principalmente para delimitar jazidas de materiais de construção civil (materiais inconsolidados e rochas), aqüíferos, profundidade do substrato rochoso, posicionamento do lençol freático. Sendo obtidos por meio de sondagens sísmicas e/ou dielétricas.

III. Mapas climáticos: Trata-se da representação das variações climáticas de uma determinada região como pluviosidade, evapotranspiração, direção dos ventos, insolação e temperatura.

IV. Mapas de ocupação atual ou prevista: Permite prever e avaliar o comportamento da ocupação do meio físico, apresentando os limites das áreas que já estão sendo ocupadas. Deve apresentar as nascentes com as delimitações de suas áreas de proteção ambiental, passagens de oleodutos,

gasodutos e projetos para ocupação posterior. Estes mapas podem ser substituídos pelas cartas de restrições ambientais.

- Mapas auxiliares: São denominados mapas de documentação ou de dados, sendo estes de uso indispensáveis, por registrarem os dados qualitativos e quantitativos, como o tipo, a forma e o local de obtenção dos dados.

- Cartas derivadas ou interpretativas: Contém informações geotécnicas obtidas de interpretações derivadas de outros mapas (auxiliares, básicos opcionais, topográficos e outros), representam informações das diversas condições do meio físico para uma ou mais finalidades.São apresentadas em forma de onze cartas: escavabilidade, fundações, irrigação, estabilidade de talude, erodibilidade, disposição de rejeitos sépticos, materiais de construção, restrições ambientais, orientação ou de zoneamento, obras viárias, obras enterradas.

Os atributos a serem considerados para a realização dessas cartas são apresentados na Tabela 2-8.

Tabela 2-8 – Tipos de atributos e a fatores de ocupação

Atributos / Fatores Relacionados à ocupação	1ª Parte											2ª Parte										
	Tipo de Material	Natureza e perfil da unidade	Espessura do material. Inconsolidado (m)	Profundidade do N.A (m)	Declividade e sentido %	Permeabilidade	Expansibilidade	Compressibilidade	Suporte	Corrosividade	Áreas de inundação	Movimentos de terrenos	Forma e comprimento das encostas	Áreas de recarga	C.T.C	Dados Climáticos	Salinização	Grau de alteração	Capacidade de campo e de murchamento	Canais / Km	Fraturamento estrutural	Bacias hidrográficas
Fundações	0	0	0	0			0	0	0	X		X										
Escavabilidade	0	X	0	0	0						X	X										
Deposição de rejeitos	0	0	0	0	0	0	X	X			0	0		0	0	X			X		X	X
Estradas	0	0	0	0	0	0	0	0	X		X	0		X						0		X
Obras enterradas	0	X	0	0		X	0	0	X	0		0					X					
Estabilidade de taludes	0	X	0	0	0	0	0	0				0	0			0		X			0	
Materiais para construção	0	0	X	X			0											0			0	
Erodibilidade	0	0		0	0	X	X					0	0			0			X			
Irrigação	0	0	X	0	0	0						X		0	0	0		0			X	
Poluição	0	0		0							0			0	0	0			X		X	0
Loteamento	X	X	X	0	0	0	0	X	0		0	0	0	0						0		0

Legenda: 0 = Fundamentais ; X = Secundários

Fonte: Zuquette (1993).

A obtenção e observação das informações segundo Zuquette (1987) devem ser analisadas em duas etapas sucessivas. A primeira deve tratar dos procedimentos usados para obtenção e observação dos atributos fundamentais existentes, tais como: mapas (topográfico, geológico, pedológico, declividade e outros), sondagens, ensaios realizados por empresas públicas e privados, fotografias aéreas, trabalhos de campo (trabalho de superfície e investigação de superfície), ensaios de laboratório e propriedades estimadas, ressaltando que essas informações devem ser rigorosamente selecionadas verificando a confiabilidade dos mesmos. Ficando a cargo da segunda etapa a consideração do local, para que haja validade nos processos de extrapolação e interpolação. A amostragem deve ser direcionada dentro da região e na unidade considerada homogênea, apresentando o número mínimo de observações qualitativas e quantitativas em função da escala conforme demonstrado na Tabela 2-9.

Tabela 2-9 – Observações mínimas sugeridas

Finalidade	Escala	Nº de Locais a serem observados			Áreas Chaves	
		Qualitativamente		Quantitativamente		
		Cristalino	Sedimentar	Geral	Escala	Pontos observados
Básica regional	1:250.000	1 / 15 Km^2	1 / 15 Km^2	1 / 20 Km^2	1:50.000	1 / 2Km^2
Regional orientada à distribuição das formas de ocupação e da fase de inventários de projetos	1:100.000	4 / 10 Km^2	1/ Km^2	1 / 10 Km^2	1:25.000	1 / Km^2
	1:50.000	6 / 5 Km^2		1 / 5 Km^2	Em locais considerados extremos dentro de cada unidade definida como homogênea qualitativamente	
Urbana	1:25.000	3 / Km^2	2/ Km^2	1/ Km^2		

1. (*) Observações
2. Quando uma área considerada homogênea (unidade) e/ou muito extensa, pode-se selecionar mais de uma área-chave.
3. No caso de áreas homogêneas (unidades), com extensão inferior a 90 Km², nos trabalhos em escalas entre 1:500.000 e 1:200.000, não deve ser selecionada área chave e a unidade deve ser analisada como tal.
4. Nos trabalhos em escalas entre 1:100.000 e 1:75.000, as áreas homogêneas (unidades), com extensão próxima a 90 Km² podem ser analisadas com o auxílio de uma área chave.
5. O número de pontos a serem observados são válidos para áreas onde a faixa de declividade > 20% não ocorre mais de 20% do total da área.
6. A proposta de amostragem quantitativa é válida quando dividida em unidades inicialmente consideradas homogêneas segundo critérios qualitativos de acordo com esta proposta metodológica.

Fonte: Zuquette (1987)

2.2.6.2 "A importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração" (Tese de Livre Docência 1993)

Zuquette (1993) afirma que o mapeamento geotécnico é um conjunto de processos que busca analisar e avaliar os componentes do meio físico (sejam eles geológicos, hidrogeológicos e outros), assim como o seu comportamento frente às várias formas de

ocupação. Para isso faz uma análise sobre a importância dos conhecimentos geológicos-geotécnicos para o planejamento territorial, uma avaliação dos impactos ambientais com o intuito de minimizá-los ou evitá-los frente às ações antrópicas, uma revisão do desenvolvimento do mapeamento geotécnico em alguns países e uma análise dos conceitos e princípios fundamentais das metodologias e sistemáticas mais utilizadas.

A partir desses princípios e sistemáticas Zuquette (1993) elaborou um conjunto de procedimentos de mapeamento geotécnico para condições brasileiras considerando as seguintes diretrizes:

- Seleção dos atributos;
- Relação dos atributos com as várias formas de ocupação;
- Formas de obtenção dos atributos;
- Princípios e procedimentos para a elaboração dos documentos gráficos fundamentais, básicos e interpretativos;
- Prognósticos conclusivos, para os usuários.

2.2.6.3 Aplicações da Metodologia de Zuquette

Muitos foram os trabalhos realizados a partir da metodologia de Zuquette (1987), sendo estes realizados em várias escalas (geral, detalhada, semi-detalhe e específicas), buscando abordar aspectos e critérios geológicos estruturais, geológicos estruturais – materiais inconsolidados, formações superficiais, meio físico, dentre outros e com as mais variadas finalidades: orientação do uso e ocupação do solo, planejamento territorial e urbano, instabilidades das encostas, escorregamentos de maciços, questões ambientais, caracterização geotécnica, etc. Acham-se destacados na Tabela 2-10 alguns trabalhos desenvolvidos no Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos – USP com seus respectivos autores.

Tabela 2-10 – Trabalhos realizados a partir da metodologia de Zuquette.

Itens	Autor	Trabalho	Objetivos	Ano
1.	Aguiar, Rene Levy	Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos-SP	Contribuição / planejamento.	1989
2.	Godoy, Manoel Carlos Toledo Franco de	Mapeamento geotécnico preliminar da região urbana de Presidente Prudente - SP. Escala 1/25.000	Ocupação do meio físico.	1989
3.	Ferrante, Jose Ernesto Tellez	Mapeamento geotécnico regional da bacia do alto Jacaré-Guaçu - SP com base nas aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistema geográfico de informação. Escala 1:50.000.	Planejamento e meio ambiente.	1990
4.	Brollo, Maria Jose	Mapeamento geotécnico da quadricula de Araras -SP. Escala 1:50.000	Deposição de rejeitos sépticos; e de zoneamento.	1991
5.	Lollo, Jose Augusto de	Mapeamento geotécnico da folha de Leme-SP: utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas	Uso e ocupação do meio físico.	1991
6.	Nishiyama, Luiz	Mapeamento geotécnico preliminar da quadricula de São Carlos –SP. Escala 1:100.00.	Planejamento e fiscalização da ocupação do meio físico.	1991
7.	Albrecht, Kurt João	Mapeamento geotécnico preliminar da região de Águas de Lindóia - Escala 1:50.000	Implantar as diversas formas de ocupação.	1992
8.	Mio, Giuliano de	Mapeamento geotécnico da quadricula de Mogi-Guaçu - SP	Planejamento e ocupação do meio físico.	1992
9.	Pejon, Osni Jose	Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba-SP. Escala 1:100.000.	Disposição de rejeitos sépticos.	1992
10.	Souza, Noris Costa Diniz Coelho de	Mapeamento geotécnico regional da folha de aguai: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração Escala 1:50.000	Viabilidade de uso e ocupação e aptidão a recursos.	1992
11.	Cardoso, Ana Brígida Figueiredo	Mapeamento geotécnico do município de Limeira - SP	Conservação ambiental e planejamento dos espaços.	1993
12.	Gruber, Gustavo Aristides Gomes	Mapeamento geotécnico da folha de Cosmópolis –SP. Escala 1:50.000	Uso e ocupação do solo.	1993
13.	Vecchiato, Antônio Brandt	Mapeamento geotécnico da área urbana de Cuiabá-MT. Escala 1:25.000.	Planejamento do uso e ocupação do meio físico.	1993
14.	Collares, Eduardo Goulart	Mapeamento geotécnico da quadricula de Bragança Paulista (escala 1:50.000)	Zoneamento geotécnico.	1994
15.	Liporaci, Silvana Ribeiro	Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: aplicadas na cidade parte do município de Poços de Caldas (MG). Escala 1:25.000-	Planejamento do uso e ocupação do meio físico.	1994
16.	Aguiar, Adelia Didia Caloba	Mapeamento geotécnico da folha de Conchal-SP. Escala 1:50.000.	Compartimentação da região.	1995
17.	Barison, Marcelo Ribeiro	Mapeamento geotécnico regional da quadricula de Amparo-SP. Escala 1:50.000: com base na analise dos landforms e de perfis típicos de alteração.	Análise do meio físico.	1995
18.	Saraiva, Rodrigo Martins	Mapeamento geotécnico da folha de Socorro com base na análise das formas de relevo (landforms). Escala 1:50.000.	Compartimentação dos terrenos.	1995
19.	Zuquette, Lázaro Valentin	Mapeamento geotécnico da cidade de franca / sp - Escala. 1:25000 - carta de risco a erosão.	Carta de risco a erosão.	1995
20.	Costa, Tony Carlos Dias da	Mapeamento geotécnico da porção NE de Campinas-sp, escala. Escala 1:25.000.	Adequabilidade do uso e ocupação do meio físico.	1996
21.	Macari, Renato	Mapeamento geotécnico da área urbana e de expansão urbana de Campinas-sp: porção noroeste - Escala 1:25.000	Carta de zoneamento geotécnico.	1996

Continuação

Itens	Autor	Trabalho	Objetivos	Ano
22.	Souza, Marta Luzia de	Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto / MG (escala 1:10.000) - susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos.	Movimentos de massa.	1996
23.	Bachion, Maria Letícia	Mapeamento geotécnico das áreas urbana e de expansão da região sudoeste do município de Campinas - SP escala 1:25.000	Planejamento do uso e ocupação do meio físico..	1997
24.	Gomes, Ronaldo Lima	Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana da região sudeste do município de Campinas-SP. Escala 1:25.000	Planejamento do uso e ocupação do meio físico.	1997
25.	Kopezinski, Isaac	Avaliação da degradação ambiental produzida por mineração no Município de Poços de Caldas (MG) considerando procedimentos de mapeamento geotécnico.	Avaliação da degradação ambiental.	1998
26.	Fontes, Silvana Brandão	Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no município de Ouro Preto-MG, escala 1:5.000	Caracterização geotécnica das feições erosivas	1999
27.	Almeida, Luis Eduardo Gagliotti	Mapeamento geotécnico de Casa Branca (SP) : ênfase no uso da técnica de avaliação de terrenos e perfis típicos de materiais inconsolidados	Zoneamento geotécnico geral da região.	2000
28.	Lima, Aline Maria Meiguins de	Mapeamento geotécnico da porção média da bacia do Rio Capivari/SP, escala 1:50.000 : estudo e caracterização dos aspectos físicos de bacias hidrográficas	Zoneamento geotécnico geral da região.	2000
29.	Zenóbio, Ângelo Almeida	Avaliação geológica-geotécnica de encostas naturais rochosas por meio de classificações geomecânicas : área urbana de Ouro Preto (MG) escala 1:5.000	Caracterização dos maciços rochosos em encostas naturais	2000
30.	Marques, Gilvana Nogueira	Seleção de áreas para aterros sanitários baseada em mapeamento geotécnico e analytic hierarchy process - AHP	Selecionar áreas para a implantação de aterro sanitário.	2002
31.	Borges, Domingos Júnior Sales	Zoneamento geotécnico geral da folha de Americana. Escala 1:50.000	Zoneamento geotécnico geral	2003
32.	Rodrigues, José Eduardo	Evolução de critérios de caracterização dos materiais inconsolidados no mapeamento geotécnico da região centro leste do estado de São Paulo	Conhecimento dos materiais inconsolidados	2003

Fonte: DEDALUS (2004) adaptado pelo autor.

2.3 FONTES PARA OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

2.3.1 Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT

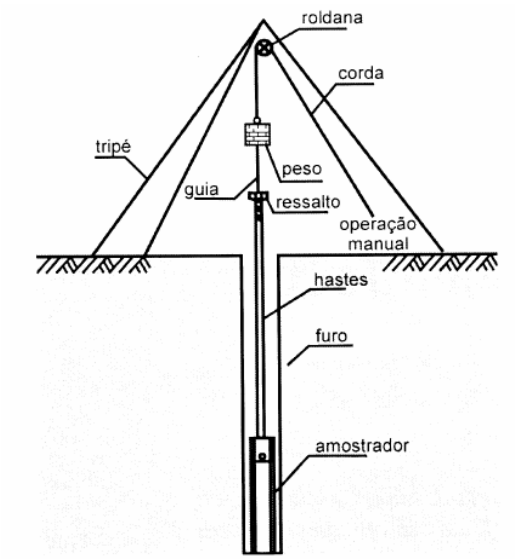
Segundo Fletcher (1965 apud Bortolucci, 1983) as sondagens de simples reconhecimento com SPT tiveram origem nos Estados Unidos em 1902 quando Charles R. Gow introduziu a amostragem a seco, cuja finalidade era melhorar o processo de reconhecimento do subsolo aplicado à engenharia de fundações que até então era executada pelo processo de circulação de água, onde a amostra era obtida em forma de lama. Neste período ainda não havia a preocupação com a resistência de penetração do amostrador no solo e simplesmente a obtenção de amostras.

A padronização desse ensaio se deu no ano de 1930 com base nos ensaios propostos por Fletcher; Mohr (1930 apud Bortolucci, 1983) sendo denominado SPT -*Standard Penetration Test*, ou seja, ensaio de penetração padrão. Este ensaio consistia na queda livre de um martelo de 65 quilos de massa, de uma altura de 76cm para cravar o amostrador padrão, projetado pelos pesquisadores Linton Hart e Gordon F. A. que trabalhavam juntos na Raymond Concrete Pille Co em 1926. As medidas de resistência de penetração eram obtidas através da contagem do número de golpes necessários para cravar 30 cm do amostrador no solo.

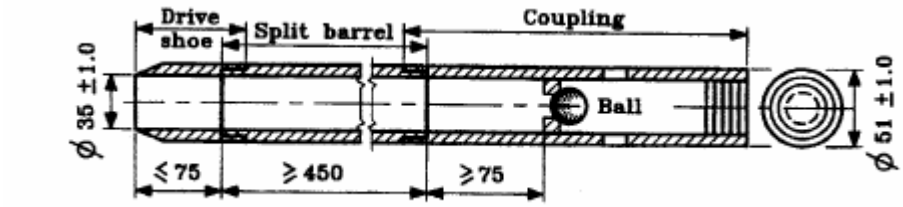
Bortolucci (1983) cita que em 1939 (nove anos após a padronização) foi introduzido no Brasil o ensaio de penetração dinâmica, pelo pesquisador Odair Grillo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). A investigação era constituída numa queda livre de um martelo de 70 quilos de massa que posteriormente passou para 60 quilos, de uma altura de 75cm, sendo o resultado da resistência de penetração dos 30 cm iniciais do amostrador no solo, expresso pelo número de golpes, o amostrador tinha 46 mm de diâmetro externo e 38,1mm de diâmetro interno.

A Figura 2.1 procura ilustrar as várias partes do equipamento de sondagem de simples reconhecimento, para um melhor entendimento do ensaio.

4.2.(1)



4.2.(2)



4.2.(3)

Figura 2.1 – Fotos e Ilustrações de sondagem de simples reconhecimento e equipamentos.

Fonte: 4.2.(1)_SOLO Sondagem e Construções Ltda. (2005)
4.2.(2) e (3)_Santos.J.A (2004)

Até a sua normalização foram utilizados três tipos de amostradores, sendo apresentados conforme a data de introdução no país, segundo Fletcher (1965 apud Bortoluci, 1983):

- 1930_ Amostrador "IPT" introduzido no país pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) com tubo de revestimento de Ø 46mm externo e Ø 38,1mm interno, com martelo de 60 Kg de massa, com uma altura de queda livre de 75 cm;

- 1944_Amostrador "Mohr-Geotécnica" utilizado nos Estados Unidos com tubo de revestimento de Ø 41,3mm externo e Ø 25,4mm interno, com martelo de 65 Kg de massa, com uma altura de queda livre de 75 cm;

- 1947_ Amostrador "Raymond" utilizado inicialmente só em sondagens especiais, para retirada de amostras inderfomadas com um tubo de revestimento maior que 50,8mm.

Na Tabela 2-11 pode-se ter uma idéia da correlação entres os amostradores mais utilizados no país e a classificação do solo.

Tabela 2-11– Correlação de Amostradores.

Compacidade e Consistência segundo a Resistência à Penetração				
Tipo de Amostradores		Mohr-Geotécnica	I.P.T	Terzaghi
		Ø 41,3 – 25,4mm	Ø 30,16 – 38,1mm	Ø 50,8 – 34, 9mm
Solos	Compacidade ou Consistência	Número de Golpes		
Areias e Siltes	Fofa	0 a 2	0 a 5	0 a 4
	Pouco compacta	3 a 5	-	4 a 10
	Compacta a média	6 a 11	5 a 10	10 a 30
	Compacta	12 a 24	10 a 25	30 a 50
	Muito Compacta	>24	>25	>50
Argilas	Muito Mole	<1	-	<2
	Mole	2 a 3	<4	2 a 4
	Média	4 a 6	4 a 8	4 a 8
	Rija	7 a 11	>8	8 a 15
	Muito Rija	11 a 25	-	15 a 30
	Dura	>25	>15	>30

Fonte: Orse (2005) adaptado pelo autor.

A uniformização do ensaio SPT ocorreu em 1974 no V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, mas foi normalizado em Dezembro de 1980, com o título "Execução de Sondagens de Simples reconhecimento dos Solos" pela NBR 6484/1980 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e atualizada em 2001 com o título "SOLO-Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio".

Os dados de SPT fornecidos pelas empresas de fundações seguem os procedimentos da NBR 6480/2001 que consiste numa queda livre de um martelo de 65 quilos de massa de uma altura de 75cm, sendo o resultado obtido da resistência de penetração dos 30 cm finais do amostrador padrão (Raymond) no solo, expresso pelo número de golpes. O amostrador padrão possui um diâmetro externo de 50,8 mm ± 2mm e diâmetro interno de 34,9 mm ± 2mm.

Desde a sua implantação até os dias de hoje, a estrutura básica do equipamento e os principais procedimentos foram mantidos apesar da modernização dos equipamentos e nas formas do ensaio. É importante salientar que o grau de confiabilidade dos resultados depende tanto da qualificação dos técnicos responsáveis pela execução quanto da quantidade de parâmetros que cada método de investigação está apto a avaliar.

As sondagens de simples reconhecimento com SPT podem fornecer várias informações de sub-superfície como: descrição táctil visual (textura e cor), índice de resistência à penetração, espessura dos materiais inconsolidados, sendo de grande importância para a elaboração do mapeamento geotécnico.

Para se fazer uso destas informações é importante conhecer as variações litológicas presentes em cada formação geológica e seus respectivos posicionamentos espaciais, através de estudos de campo e revisão bibliográfica, pois há possibilidade de que os solos táctil-visualmentente iguais sejam geologicamente diferentes.

2.3.2 Fotointerpretação

Existem vários conceitos de fotointerpretação sendo destacado neste trabalho o conceito segundo o *"Manual of Photographic Interpretation"*_Manual de Interpretação Fotográfica _ apud Bindi (2005) como sendo o: "Ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos, e determinar seus significados".

Segundo Bind (2005) a origem das fotografias aéreas se deu por volta de 1842, quando o diretor do observatório de Paris, Francis Arago, levantou a hipótese de se fazer um levantamento topográfico com o auxílio de fotografias aéreas.

E sete anos mais tarde, em 1849, o Coronel francês Aimé Laussedat, utilizando um sistema fotográfico desenvolvido por Daguerre (descobridor da fotografia) acoplado a um balão, conforme ilustra a Figura 2.2, realizou um levantamento com a finalidade de se obter um mapa topográfico, Bind (2005).

Figura 2.2 – Sistema fotográfico acoplado a um balão

Fonte: Bindi (2005)

Em 1914 surgiu o primeiro registro de fotografias aéreas obtidas por avião cuja finalidade se destinava ao mapeamento. Este foi apresentado com todas as descrições, pelo Capitão Britânico Thardiv, em uma reunião da Sociedade Internacional de Fotogrametria em Viena, Áustria conforme citado por Bind (2005).

Bind (2005) afirma que a formação da Comissão da Carta Geral do Brasil se deu no período da República em 1903 cujas instalações localizavam-se em Porto Alegre. No mesmo ano houve a criação do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, com o objetivo de produzir uma Carta Geológica, tendo como diretor o geólogo norte-americano Orville A. Derby.

Segundo Zuquette (1987) o território brasileiro encontra-se quase todo fotografado na escala 1:60.000 e em algumas regiões em escalas maiores, retratando assim os componentes do meio físico como um todo e, com isso, facilita a elaboração de mapas de materiais inconsolidados e do substrato rochoso. Ressalta o referido autor que os resultados conseguidos nessa fase são de suma importância para trabalhos posteriores, mas que não substituem em hipótese alguma, as observações de campo.

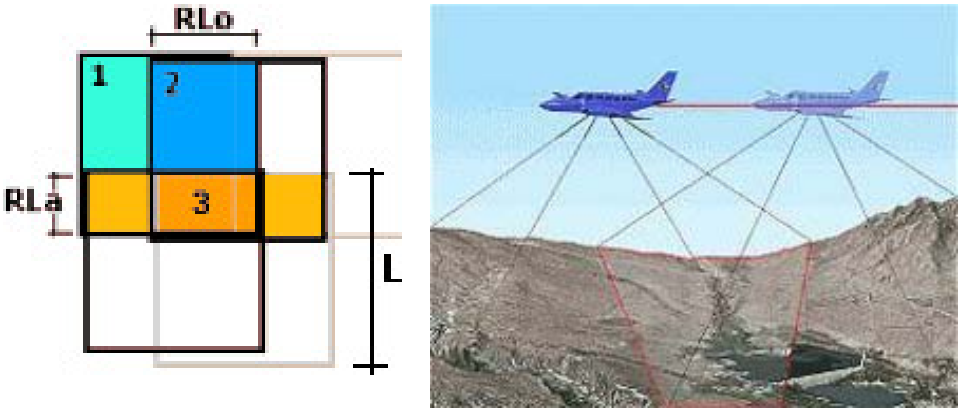
É indicado na Tabela 2-12 as possíveis utilizações das fotos aéreas em função da escala e do objetivo. As escalas maiores que 1:10.000 são úteis para estudos detalhados de áreas pequenas. Escalas entre 1:10.000 e 1:60.000 são adequadas para o estudo de grandes cidades ou áreas extensas. Já as escalas menores que 1:60.000 são indicadas para os estudos regionais e visualização de grandes estruturas (Zuquette, 1987).

Tabela 2-12– Possíveis utilizações das fotos aéreas.

Campo de Estudo	Alguns Tipos de Investigação
Solos	Determinação dos limites entre os principais tipos e características como permeabilidade, textura e outras
Estabilidade	Determinação de falhas, indícios de movimento de materiais, argilas expansivas, quedas de blocos e outros.
Drenagem	Observação do nível de drenagem, drenabilidade, inundações, correntes fortes, sistema de proteção, etc.
Materiais	Locação de possíveis jazidas de areias, seixos, argilas, pedreiras, material para rip-rap e outros.
Erosão	Áreas com potencial a serem erodidas, desfloramentos, e áreas de sedimentação.
Água Subterrânea	Afloramento de aqüíferos, depósitos superficiais como areias e seixos, zonas de fraturas, fontes, áreas vulneráveis e áreas de recargas.
Reservatórios e Locais de Barragens	Geologia das áreas, problemas de erosão, modelo estrutural, outras ocupações, possível substrato, áreas adequadas à irrigação.
Estradas	Analisar possíveis obstáculos, terras caras a desapropriar, lugares de obras de arte "pipelines", melhores seixos, áreas urbanas.

Fonte: Zuquette (1987,p.383)

Para se obter uma cobertura aerofotogramétrica para fins de estereoscopia de uma determinada região, as fotos aéreas geralmente são obtidas em uma faixa de vôo seqüencial buscando uma superposição longitudinal de 60% e superposição lateral entre 20% e 40%, cobrindo assim toda região de interesse conforme ilustrado na Figura 2.3.



Nota: 1. Área de cobertura única
2. Área de recobrimento longitudinal (Rlo)
3. Área de recobrimento lateral (Rrla)
L = lado da foto

Figura 2.3 – Exemplo de superposição longitudinal e Área de cobertura de uma fotografia aérea.

Fonte: Bindi (2005) adaptado pelo autor.

A expressão 2.1 nos dá condição de avaliar a quantidade aproximada de fotos necessárias para cobrir uma área de interesse. Por exemplo, para acharmos a quantidade necessária para cobrir uma área de 100 km², basta dividir o valor da área de interesse pelo valor da área de cobertura única da foto e acrescentar um coeficiente de segurança.

$$N_{fotos} = \frac{Área}{Área_{única}} = \frac{100}{0,95} = 105\ fotos \pm 15\%\ de\ segurança \qquad 2.1$$

onde:
N_{fotos} = Número de fotos para cobrir uma área de interesse
Área = Área de interesse
$Área_{única}$ = Área de cobertura única da foto.
Fonte: Bindi (2005)

A Tabela 2-13 nos fornece de maneira mais rápida o número de fotos necessário para um estudo de uma região de 100 km².

Tabela 2-13– Números de fotos necessário para um estudo de uma região de 100 km².

Recobrimento Longitudinal			60%	**Área para cobertura**			100 Km²
Recobrimento Lateral			30%	Foto de Segurança			15%
Distância Focal			153 mm	Perc. útil do Modelo			28%
Escala Foto (1/)	Altura do Vôo (m)	Lado Foto (m)	Recobrimento. Longitudinal (m)	Recobrimento Lateral (m)	Área da Foto (Km²)	Área de Cobertura Única (Km²)	Número de Fotos
4.000	612	920	552	276	0,85	0,24	485
8.000	1.224	1.840	1.104	552	3,39	0,95	121
10.000	1.530	2.300	1.380	690	5,29	1,48	78
15.000	2.295	3.450	2.070	1.035	11,90	3,33	35
20.000	3.060	4.600	2.760	1.380	21,16	5,92	19
25.000	3.825	5.750	3.450	1.725	33,06	9,26	12
30.00	4.590	6.900	4.140	2.070	47,61	13,33	9
33.000	5.049	7.590	4.554	2.277	57,61	16,13	7

Fonte: Bindi (2005) adaptado pelo autor.

A primeira etapa da fotointerpretação é constituída pela fotoanálise, onde se tenta extrair e identificar um conjunto de informações (localização espacial da área, textura fotográfica, etc) baseadas em alguns elementos como a tonalidade e cor, textura, formas, sombras e sítios topográficos.A ilustração da Figura 2.4 nos dá uma perfeita idéia do que pode ser analisado.

Nota. Neste exemplo, observa-se as seguintes áreas:

1. Culturas anuais;
2. Culturas perenes;
3. Pastos limpos;
4. Reflorestamento de eucalipto;
5. Reflorestamento de pinus;
6. Mata mesófila semidecídua;
7. Mata ciliar;
8. Corpo d'água.

Figura 2.4 – Aerofoto vertical pancromática, em escala aproximada de 1:25.000 de junho de 1972

Fonte: Bielavsky (2005) adaptado pelo autor.

As fotos aéreas para atender aos requisitos de estereoscopia possuem 60% superposição ao longo da linha de vôo e 30% de superposição entre as faixas ficando a área de cobertura única (sem superposição) de uma fotografia aérea entorno de 40% do lado da foto no sentido longitudinal e 70% do lado da foto em no sentido lateral conforme ilustrado na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Exemplo de superposição longitudinal

Fonte: Bind (2005)

2.3.3 Observações de Campo e Amostragem

Segundo Nogueira (1979, p.512) a amostragem é entendida como:

> Ato de retirada de uma amostra deformada ou indeformada, sem o conhecimento instantâneo de outros parâmetros do solo.
>
> Por reconhecimento do sub-solo entender-se-á o conjunto de informações obtidas sobre cada camada, podendo ou não haver retirada de amostra.

Segundo Zuquette; Gandolfi (1998) a obtenção das informações deve ser realizada através de observações qualitativas e quantitativas. Sendo as informações qualitativas realizadas em superfície (caminhamento) e subsuperfície (poços e perfis) com o intuito de entender o comportamento dos materiais frente às diversas formas de ocupação. E as quantitativas são obtidas através de análises de campo (ensaio táctil-visual), relatórios de sondagens de simples reconhecimento (SPT), ensaios existentes da área em estudo e ensaios executados sobre amostras deformadas e indeformadas.

No mapeamento geotécnico prevalece o uso das amostras deformadas, também chamadas amostras soltas, são representativas quanto á textura, constituição mineral, porém não conservam a estrutura do solo "in situ" e, nem sempre, a umidade. Normalmente é utilizada em laboratório na realização de ensaios de classificação, compactação e moldagem de corpos de prova com características próprias utilizados em ensaios de resistência ao cisalhamento, compressibilidade e permeabilidade (Nogueira, 1979).

Segundo Nogueira (1979) as amostras indeformadas são aquelas que conservam as características do solo "in situ", quanto à estrutura, umidade, constituintes mineralógicos e composições químicas, exigindo para sua retirada um acondicionamento, transporte e equipamentos especiais (amostradores de parede fina).

As amostragens, para as devidas observações e ensaios, devem ser realizadas após um estudo preliminar da região, conforme orientação da Tabela 2-14, com o objetivo de delinear áreas que possuem homogeneidade ou heterogeneidade, dentro de limites que satisfaçam as necessidades do trabalho (Zuquette, 1987).

Nishiyama (1998) comenta que se deve fazer uma avaliação cuidadosa dos taludes e do local a ser amostrado, com a finalidade de buscar uma situação de menor interferência

possível, tendendo a minimizar erros de caracterização decorrentes de problemas de amostragem. O umedecimento e dessecamento, bioturbação e a constante incidência da radiação solar pode causar alterações na composição mineralógica, textural e estrutural da superfície dos taludes.

Tabela 2-14– Atributos x Meios de obtenções.

	Atributos	Meio de obtenção
1	Tipo de Material	Fotointerpretação; trabalho de campo; Ensaios de laboratório (análise granulométrica, limites de absorção azul de metileno-mineralogia, micropetrografia, etc.)
2	Natureza e perfil de unidade	Trabalhos prévios; trabalhos de campo (cortes, tradagem, sondagens alternativas, poços e outros).
3	Espessura dos materiais	Trabalho de campo e sondagens alternativas.
4	Profundidade do NA	Item 1,2 e 3
5	Declividade	Mapa topográfico; trabalho de campo; fotogrametria.
6	Permeabilidade drenabilidade e drenagem	Através das informações obtidas no itens anteriores; estimativas através de índices de vazios, granulométricos e outros; observações de campo.
7	Expansibilidade	Mineralogia; ensaios alternativos (absorção de azul de metileno- reação com soluções orgânicas); etc.
8	Compressibilidade	Através de correlação de índices básico; observações de campo.
9	Resistência	Por meio de correlações com as características básicas; sondagens alternativas.
10	Corrosividade	Ensaios específicos.
11	Áreas com hidromorfismo e enchentes	Fotointerpretação; trabalhos de campo.
12	Movimentos de materiais	Fotointerpretação; trabalhos de campo; trabalhos prévios.
13	Formas das encostas	Fotointerpretação; trabalhos de campo; mapas diversos.
14	Dados climáticos (temp., evapotranspiração,etc.)	Trabalhos prévios específicos.
15	Vegetação natural imposta	Fotointerpretação; trabalhos de campo; trabalhos prévios.
16	Ação antrópica	Fotointerpretação e trabalhos de campo.
17	Área de recargas	Trabalhos de campo; fotointerpretação; mapas geológicos.
18	Salinização	Trabalhos específicos.
19	C.T.C (Capacidade de troca catiônica)	Ensaio específico (químico).
20	Bacias	Mapas topográficos; fotos aéreas.

Fonte: Zuquette (1987,p.261)

2.3.4 Ensaios de Laboratório

A mecânica dos solos teve origem em 1936 quando Terzaghi deu a abertura ao I Congresso Internacional de Mecânica dos Solos, em Harvard. E introduzido no Brasil por volta de 1938 e 1939 com a criação dos primeiros Laboratórios de Mecânica dos Solos e dos primeiros cursos de divulgação.

Segundo Zuquette (1987), a proposta para a realização dos ensaios deve preocupar-se somente com aqueles que permitem uma caracterização prévia dos materiais, de maneira que não forneçam parâmetros que possam ser usados diretamente em obras, pois estes inviabilizam e contrariam a filosofia do mapeamento geotécnico. Não refletindo as reais características locais e sim situações pontuais que para serem usadas necessitariam de uma grande quantidade de ensaios ou de ensaios específicos para o tipo de obra a ser implantada.

Foram sugeridos por Zuquette em sua proposta metodológica de 1987 os seguintes ensaios para se caracterizar os materiais inconsolidados:

- **Análise granulométrica conjunta (NBR 7181/84):** cujo intuito é a determinação da textura, graduação, diâmetro efetivo dos grãos e coeficientes de não uniformidade, para se estimar algumas propriedades como a permeabilidade, resistência e outras propriedades de interesse.

- **Limites de Atterberg –LL e LP(NBR 7180/84 e 6459/84):** Os limites de consistência relacionados com os dados obtidos da análise granulométrica são utilizados como elementos quantificadores para a Classificação Unificada de Solos (U.S Corps of Engineers) e classificação HRB (Highway Research Board) como também possibilitam estimar várias propriedades de interesse do usuário.

- **Massa específica dos grãos (sólidos) (NBR 6508/84);** O resultado deste ensaio serve para auxiliar na determinação de outros índices físicos e nos cálculos do ensaio granulométrico.

- **Ensaio de compactação na energia do Proctor Normal (NBR 7182/86):** Os resultados (Massa específica seca máxima, índice de vazios mínimos e umidade ótima) deste ensaio são utilizados na previsão de uso de materiais em aterros e no controle do grau de compactação melhorando assim a capacidade de suporte dos solos superficiais.

- **Mineralogia:** consiste em uma análise mineralógica separada das frações finas e grosseiras por meio de diversas técnicas como difratrometria de Raio-X, uso de corantes orgânicos e do azul de metileno. Segundo Zuquette (1987, p.187) esses

dois últimos "*permitem determinar, com boa aproximação, os grupos de minerais argilosos, possibilitando assim estimar uma série de propriedades, como por exemplo, à expansibilidade*".

- **Ensaios para classificação pela metodologia MCT; Mini-MCV (DNER-ME 228/94 e 258/94) e perda de Massa por imersão (DNER-ME 256/94):** esta metodologia é específica para os solos tropicais visando analisar e estimar o comportamento (laterítico e não laterítico) dos materiais inconsolidados no estado compactado. Baseia-se em ensaios de compactação e perda de massa por imersão de corpos de prova em miniatura e vem sendo dentre todos os ensaios de classificação, o de maior aceitação.

- **Ensaios para avaliação da capacidade de suporte como pavimento – Mini-CBR (DNER-ME 254/97);** segundo Villibor et al (2000) quando este ensaio é realizado em conjunto aos ensaios de expansão e contração, geram resultados que possibilitam o dimensionamento de pavimentos e a escolha de solos para reforço do subleito, sub-base, bases e acostamentos.

- **Caracterização de agregados:** para os materiais inconsolidados a análise deve ser precedida de uma divisão como: materiais arenosos, argilosos e as cascalheiras. Os materiais arenosos e as cascalheiras devem ser analisados qualitativamente e os materiais argilosos devem ser registrados para um estudo mais detalhado no futuro, visando diferentes usos.

- **Densidade relativa:** é relação entre o índice de vazios de campo (eo) com os valores máximos e mínimos de "e' obtidos em laboratório, conforme expressão 2.2. Podendo através deste índice estimar outras propriedades como a compressibilidade, compacidade, resistência.

$$\mathrm{D}r = \frac{e\ máx - eo}{e\ máx - e\ mín} \qquad 2.2$$

onde:

$\mathrm{D}r$ = Densidade relativa

$e\ máx$ = Índice de vazios máximo de laboratório.

eo = Índice de vazios de campo

$e\ mín$ = Índice de vazios mínimos de laboratório

Fonte: Zuquette (1987)

- **Massa específica aparente seca do solo (γd campo), teor de umidade de campo (w campo) e índice de vazios de campo (e campo):** os dados deste ensaio são determinados através da cravação de anel com volume conhecido e extração de amostra indeformada, sendo seus resultados utilizados para se estimar o grau de compressibilidade e permeabilidade tanto para materiais finos como grosseiros.

2.3.5 Colapsibilidade dos Materiais inconsolidados

Segundo Cintra (1998) o primeiro registro histórico da ocorrência do recalque de colapso foi feito provavelmente por Abeleff (1938) ao estudar o caso de uma escola Ucraniana que, após um incêndio, passou a apresentar uma inclinação acentuada. Chegou-se à conclusão de esta foi provocada pela água lançada pelos bombeiros para combater o incêndio e que, infiltrando-se no solo, provocou o colapso de uma parte da construção.

De uma forma genérica, solos colapsíveis podem ser definidos como todo aquele tipo de solo com estrutura altamente porosa ou índice de vazios acima de 60%, composto basicamente de areia e silte, não lixiviados e não saturados, com as ligações entre grãos formadas por argilas e colóides, e que quando submetidos a acréscimos de tensão e/ou umidade, sofrem rearranjo brusco da sua estrutura com conseqüente redução do seu volume (Menezes; Fraga, 1994).

Segundo Cintra (1998, p.10) o solo colapsível:

> ... apresenta uma estrutura instável, porém com uma rigidez temporária mantida pela pressão de sucção e/ou cimentação. Esse estado resistente é instável diante do aumento do teor de umidade, pois quando este ultrapassa um limite crítico sobrevém o colapso, desde que a carga atuante também esteja acima de um certo limite. Portanto, os solos susceptíveis ao colapso apresentam uma grande sensibilidade à ação da água; o aumento do teor de umidade é o mecanismo detonador ou efeito gatilho do colapso.

Zuquette (1991) propõe que os fatores limitantes para a ocorrência do colapso é a porosidade (n) próxima dos 45% e uma porcentagem de argila próxima dos 45%.Que sendo correlacionados com os resultados obtidos da relação entre a massa específica aparente seca dos solos estimam o potencial de colapsibilidade.

Segundo Ferreira et al., (1989 apud Cintra, 1998) os solos colapsíveis no Brasil são representados geralmente por alúvios, colúvios e residuais, sendo compreendidos por vários tipos de materiais que vão desde areias até argilas. Sendo seus indicadores os:

- Baixos valores de SPT (≤ 4 golpes);
- Baixos valores de CPT (qc ≤ 1,0 MPa);
- Granulometria aberta (ausência de fração de silte);
- Baixo grau de saturação (Sr ≤ 60%)
- Grande porosidade (n ≥ 40%)

Costa (1986) apresenta critérios baseados em índices físicos ou propriedades de fácil determinação que fornecem informações qualitativas para identificação de solos colapsíveis. Segundo a autora para que o solo seja colapsível "é necessário que tenha um índice de vazios tal que o teor de umidade necessário para sua completa saturação seja maior que o limite de liquidez." E apresentou a Tabela 2-15 contendo um resumo com esses principais critérios.

Tabela 2-15– Critérios de identificação de solos colapsíveis.

Autor	Fórmula	Solo colapsível se:
Denisov (1951)	$K = \frac{e_L}{e_n}$	0,5< K <0,75
Feda (1966)	$K = \frac{\frac{W_n}{S_{rn}} - LP}{IP}$	$S_{rn} < 60$ K < 0,85
Building Code (USSR) Feda (1966)	$K = \frac{e_n - e_L}{1 + e_n}$	$S_{rn} < 60$ K < -0,1 K < 0,1(IP 1-10) / 0,17 (IP 10-14)/ 0,27 (14-22)
Gibbs and Bara (1967)	$K = \frac{e_n}{e_L}$	K > 1

Onde:

K Coeficiente de identificação de solos colapsíveis
e_L Índice de vazios no limite de liquidez.
e_n Índice de vazios natural.
LP Limite de plasticidade.
W_n Teor de umidade natural.
S_{rn} Grau de saturação natural.
IP Índice de Plasticidade.

Fonte: Costa (1986) adaptado pelo autor

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA EM ESTUDO

3.1 OCUPAÇÃO, LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A ocupação da região de Uberlândia se deu por volta do início do século XVIII pelo filho do bandeirante Bartolomeu Bueno da Silva, "O Anhanguera" que veio a organizar a primeira exploração da região no ano de 1722, partindo de Piratininga a procura de metais e pedras preciosas no atual estado de Goiás. O povoamento começou por volta de 1830 com a divisão de uma grande gleba entre quatro irmãos, dando origem às fazendas Olhos D'Água, Lage, Marimbondo e Tenda. A criação do município se deu em 31 de Agosto de 1888 cujo nome era São Pedro do Uberabinha e em Outubro de 1929 o município passou a se chamar Uberlândia, nome sugerido por João de Deus Faria, que em Tupi-Guarani quer dizer "Terra Fértil".

Segundo dados do IBGE (Diário Oficial do dia 26/08/97) apud Prefeitura Municipal de Uberlândia (2002) o município de Uberlândia totaliza uma área de 4.103 km², sendo urbanizada aproximadamente 219 km². A população urbana está compreendida em 521.888 habitantes e nos últimos 20 anos vem passando por um acelerado processo de desenvolvimento econômico e crescimento populacional conforme mostra a Tabela 3-1.

Tabela 3-1– Evolução da População.

Censo/Anos						
Área	1980	1991	1996[1]	2000[2]	2001[3]	2002
Urbana	231.598	358.165	431.744	488.982	505.167	521.888
Rural	9.363	8.896	7.242	12.232	12.637	13.055
Total	240.961	367.061	438.986	501.214	517.804	534.943

Taxas de Crescimento			
Censo		Taxas de Crescimento	
1996[1]	2000[2]	Anual	Período
438.986	501.214	3,31%	14,17%

Nota 1: Contagem populacional /1996.;
2: Contagem Populacional / IBGE /2000;
3: Estimativa Populacional /2002BDI-Uberlândia.

Fonte: IBGE apud PMU (2003) adaptado pelo autor.

A cidade de Uberlândia localiza-se num importante entroncamento rodo-ferroviário, pelo qual passam as rodovias descritas na Tabela 3-2, e a Ferrovia Centro Atlântica _FCA (antiga Ferrovia Paulista S.A_FEPASA) a qual interliga Brasília-DF ao porto de Santos, facilitando a comunicação com os principais centros urbanos das regiões Sudeste e Centro-Oeste (Belo Horizonte-557 km; São Paulo-616Km; Brasília-426 km; Goiânia-553 km; Rio de Janeiro-1004 km). Encontra-se ilustrado na Figura 3.1 a localização do município em relação ao país e a região, com o sistema rodoviário descrito na Tabela 3-2.

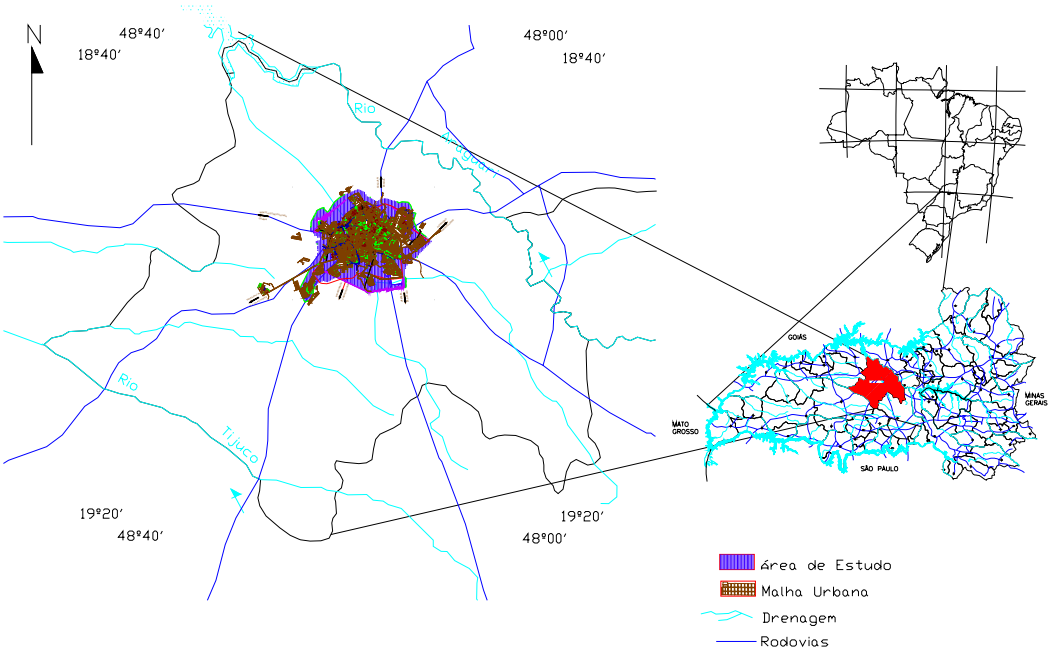


Figura 3.1 – Identificação do sistema viário e situação do município no Triângulo Mineiro e no país.

Fonte: PMU (2002) adaptado pelo autor.

Tabela 3-2– Municípios Vizinhos e as respectivas rodovias de acesso.

Municípios	Sentido	Rodovias
Araguari	Norte	BR-050
Indianópolis	Leste	BR-452
Monte Alegre de Minas	Oeste	BR-365
Prata	Sudoeste	BR-497
Tupaciguara	Noroeste	BR-365/452
Uberaba	Sudeste	BR-050
Veríssimo	Sul	BR-455

Fonte: IBGE apud PMU (2003) adaptado pelo autor.

A área de expansão urbana de Uberlândia, onde foi realizado o presente trabalho de mapeamento geotécnico engloba a malha urbana, o perímetro urbano e parte da área rural, conforme ilustrada pela Figura 3.2. Acha-se compreendida entre as coordenadas UTM (*Universal Transverso Mercator*) em "X" 774,025 km a 779,025 km e em "Y" 7.895,978 Km a 7.915,978 Km o que totaliza uma área de estudo da ordem de 303 km².

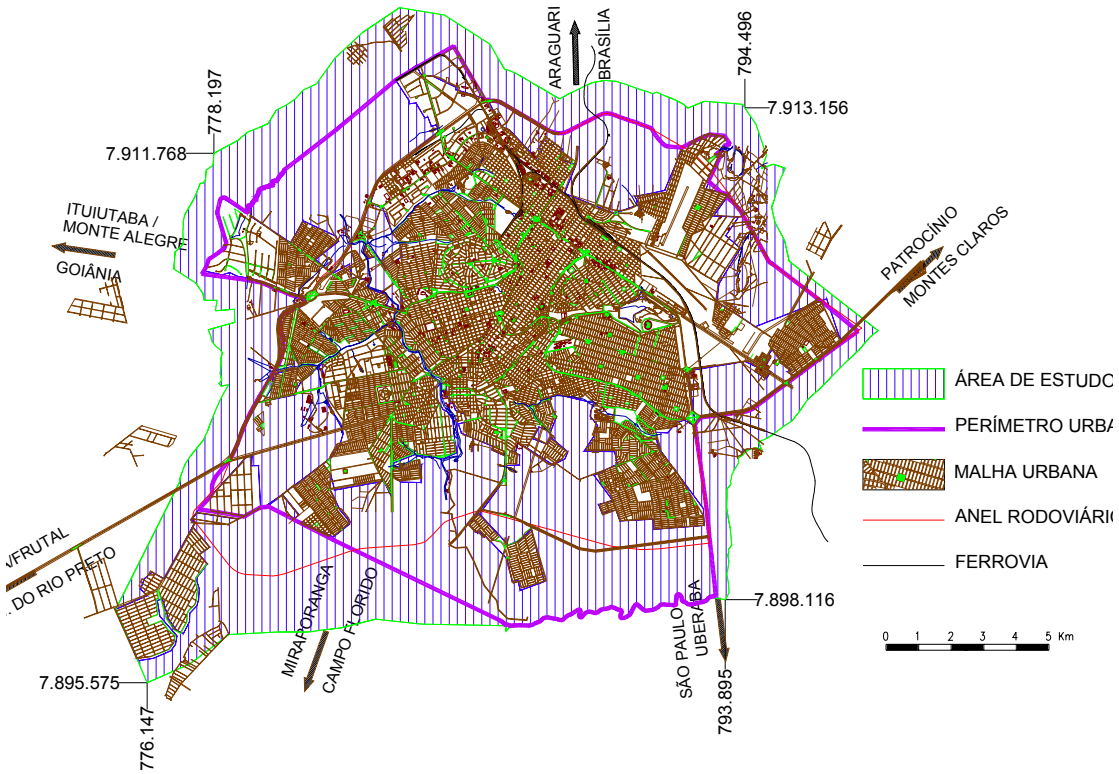


Figura 3.2 – Identificação da área de estudo.

Fonte: PMU (2002) adaptado pelo autor.

3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS

O clima predominante do município de Uberlândia é classificado como tropical de altitude. Sendo controlado pelas massas de ar continental (Equatorial e Tropical) e Atlântica (Polar e Tropical). Os deslocamentos dessas massas de ar são responsáveis pelas bruscas variações das estações úmidas e secas, e respondem direta e indiretamente, pelas condições climáticas da região (Feltan Filho, 1997). Favorecendo assim a formação dos solos lateríticos que são predominantes na região estudada.

A classificação do clima se dá como "Cwa": C_ meio quente e úmido (mesotérmico); w_ com chuvas de verão; a_ verões quentes e os invernos brandos, segundo a classificação de Köppen adotada universalmente e adaptada para as condições brasileiras. Observa-se na Figura 3.3 uma estação seca bem definida de Abril a Setembro, obtendo-se uma média anual de temperatura em torno de 20 e 23 ºC obtendo-se uma precipitação anual entre 1300 a 1700 mm (Rosa et al., 1991).

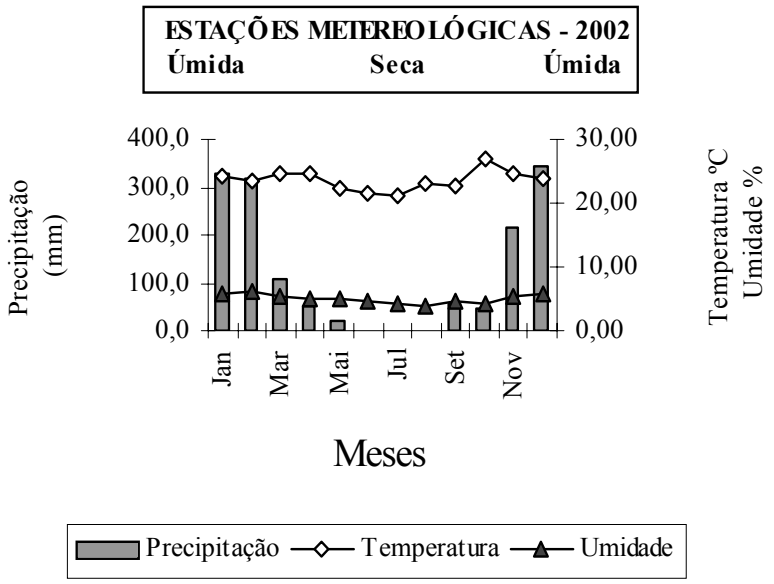


Figura 3.3 –Tabela de média térmica, de precipitação pluviométrica total mensal e umidade relativa do ar relativas ao ano de 2002.

Fonte: Estação de Climatologia – UFU apud PMU (2003)

3.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Insere-se num conjunto geomorfológico denominado por AB'SABER (1972) como "Domínio de chapadões tropicais do Brasil Central" e pelo RADAMBRASIL (1983) como "Planaltos e chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná", subunidade do "Planalto setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná".

Com base na geomorfologia regional Baccaro (1990 apud Nishiyama, 1998) distingue quatro grandes compartimentos de relevo na região do Triangulo Mineiro: Intensamente dissecado; medianamente dissecado; residual e áreas elevadas de cimeira.

- Intensamente dissecado: corresponde às porções de borda da chapada Uberlândia-Araguari situadas a norte e nordeste do município de Uberlândia.

- Mediamente dissecado: são as porções com os topos nivelados entre 750 e 900 metros.

- Residual: caracteriza-se como as porções mais elevadas dos divisores de água com bordas escarpadas, contornos irregulares, declividade de até 45º e desnível topográfico próximo de 150 metros estabelecidos entre o topo e a base.

- Áreas elevadas de cimeira: corresponde às porções de topografia suave cujas declividades variam entre 3 e 5º, canais de drenagem poucos ramificados desenvolvidos sobre arenitos da formação Marília.

3.4 GEOLOGIA REGIONAL

O primeiro trabalho de cunho geológico realizado na região do Triângulo Mineiro deve-se a Derby (1886 apud Barbosa et al, 1970) no final do século XIX, com o objetivo de se fazer o reconhecimento litológico da bacia do rio Grande e observações de natureza geomorfológica.

A maioria dos trabalhos geológicos realizados no século XX objetivava o estudo de ocorrências minerais, principalmente aquelas associadas aos complexos alcalinos a exemplo de Guimarães (1926 e 1947) Ilchenko & Guimarães (1954); as intrusões quimberlíticas e a depósitos secundário de diamante (Barbosa 1934; 1936 e 1937); Campos (1937); Guimarães (1927 e 1933); Hussak (1906); Rimann (1917 e 1931), apud Barbosa et al (1970).

Todos os trabalhos geológicos realizados na região do Triângulo Mineiro tinham objetivos específicos, exceto Barbosa *et al.* (1970), que procuraram tratar, de maneira mais abrangente, os aspectos geológicos das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Nishiyama 1998).

Segundo Nishiyama (1989), a Bacia Sedimentar do Paraná, no município de Uberlândia, acha-se representada pelas litologias sedimentares e magmatitos básicos de idade Mesozóica (Jurássico e Cretáceo) pertencentes às formações Botucatu, Serra Geral, Adamantina e Marília. A base deposicional dos sedimentos da Bacia do Paraná é constituída de rochas do grupo Araxá (Proterozóico médio) e do Complexo Basal Goiano (Arqueano).

Discordantemente sobre as unidades geológicas da Bacia Sedimentar do Paraná repousam os sedimentos cenozóicos, denominados por RADAM (1983) de "Cobertura terciário-quartenária detrítico-laterítica (TQDL)".

Para um melhor entendimento da geologia local encontra-se na Tabela 3-3 a coluna estratigráfica das regiões do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba elaborada por Nishiyama (1998).

Tabela 3-3 – Coluna estratigráfica das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Eras	Períodos	Grupos	Formações	Membro	Características Litológicas
Cenozóica					-Depósitos aluvionares holocênios. -Depósitos coluviais arenosos, argilosos e leques aluviais.
Mesozóica	Cretáceo	Bauru	Marília	Serra da Galga	-Arenitos imaturos,conglomerados e arenitos conglomeráticos.
				Ponte Alta	-Arenitos conglomerados com cimentação carbonática, lentes de calcário silicoso e conglomerado basal.
			Uberaba		-Arenitos com contribuição vulcanoclástica, cor esverdeada a cinzentada.
			Adamantina		Arenitos marrom-avermelhado, cimentação carbonática e intercalações de arenitos argilosos e lentes de argilitos.
			discordância		
	Jurássico	São Bento	Serra Geral		-Basaltos maciços com níveis vesículoamigdaloicais nos topos e base dos derrames. Presença de arenito intertrapeano.
			Botucatu		-Arenito eólico, coloração avermelhada, grãos bem selecionados e foscos. Baixa porcentagem de matriz fina.
			discordância		
Proterozóica	Médio	Canastra			Predominantemente quartzitos. Quartzitos hematíticos e micáceos, filitos e xistos (Clorita-xistos).
		Araxá			-Xistos (Muscovita, quartzo, xisto), tendo como minerais acessórios mais comuns a granada, cianita, estaurolita, rulito. -Gnaisses anfibolíticos, biotita gnaisse.
			discordância		
	Inferior (Arqueano)	Embasamento Cristalino Indiferenciado			Gnaises, migmatitos e granitos

Fonte: Nishiyama (1998).

3.5 GEOLOGIA LOCAL

As unidades geológicas presentes na área urbana de Uberlândia são as pertencentes à seqüência Mesozóica da Bacia do Paraná, representadas pelas formações Serra Geral e Marília, sendo esta última recoberta por um material de idade cenozóica.

As unidades geológicas da Bacia Sedimentar do Paraná e a cobertura cenozóica são objeto de descrição a seguir de forma sintetizada:

3.5.1 Formação Serra Geral

As litologias dessa unidade geológica acham-se amplamente distribuídas nos estados do Sul e Sudeste do Brasil, e parte de alguns estados do Centro-Oeste, abrangendo grande parte do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Triângulo Mineiro, Sul de Goiás e parte de Mato Grosso do Sul.

A formação Serra Geral é caracterizada por rochas efusivas de natureza básica e pequenas lentes de arenitos intercaladas aos derrames. O magmatismo que originou as rochas basálticas na Bacia Sedimentar do Paraná pode ser considerado um dos maiores acontecimentos de toda a história geológica do nosso planeta, quando um imenso volume da lava foi expelido através de sistemas de fissuras durante os períodos Jurássico e Cretáceo (Nishiyama, 1989).

Fúlfaro & Petri (1984 apud Nishiyama, 1989), com base em datação radiométrica, atribuíram idades aos basaltos da Bacia do Paraná no intervalo de 115 e 135 milhões de anos caracterizando, desse modo, pelo menos 20 milhões de anos de atividade vulcânica.

Segundo Nishiyama (1998, p.129), no perímetro urbano de Uberlândia, as litologias básicas apresentam áreas de exposição no vale do rio Uberabinha. Nos interflúvios acham-se recobertas pelas rochas sedimentares da Formação Marília e/ou pelos sedimentos inconsolidados coluviais.

Nishiyama (1989) comenta que as rochas sedimentares do Grupo Bauru e sedimentos cenozóicos formam, respectivamente, solos areno-argilosos e argilo-arenosos presentes nas áreas de topo, diferentemente dos basaltos da Formação Serra Geral, que propiciam o

desenvolvimento de solos argilosos nas vertentes dos vales dos principais rios da região, conhecidos como latossolo roxo e terra roxa estruturada.

3.5.2 Formação Marília

Barcelos (1984) faz a subdivisão dessa formação em dois membros: Serra da Galga e Ponte Alta, conforme coluna estratigráfica (Tabela 3-3,p.46).

A Formação Marília é constituída por arenitos imaturos, ou seja, com alta porcentagem de finos e minerais micáceos (muscovita), arenitos conglomeráticos, conglomerados e conglomerados fortemente cimentados por material carbonático. Ostentam coloração róseo-avermelhada, marrom-avermelhada, bege, creme-amarelada e acinzentada.

Segundo Nishiyama (1989) os litotipos desta formação ocorrem em uma extensa área no Triângulo Mineiro balizada pelos principais rios que drenam a região: Paranaíba, Grande e Araguari. No entanto, exposições contínuas de litologias dessa unidade geológica são relativamente restritas em razão de se encontrarem recobertas por sedimentos cenozóicos. Desse modo, a caracterização dos tipos litológicos dessa unidade só é possível nas bordas das chapadas, nos relevos residuais ou no interior de grandes erosões (voçorocas).

Na área urbana de Uberlândia, os litotipos da Formação Marília assentam-se aos basaltos da Formação Serra Geral. Topograficamente, estes ocupam as porções de interflúvios e de chapadas, representados principalmente pelo Membro Serra da Galga.

3.5.3 Cobertura Cenozóica

A cobertura cenozóica é representada em sua maior parte pelos depósitos coluviais argilo-arenosos de idade terciária e, secundariamente, pelos depósitos aluviais holocênicos, associados ou não a cones de dejeção. Tais depósitos acham-se assentados discordantemente sobre as unidades geológicas cretácicas (Formação Marília) e jurássicas (Formação Serra Geral) ocupando todos os níveis topográficos, desde os topos das chapadas até o fundo dos vales dos rios e córregos (Nishiyama, 1989).

Segundo Nishiyama (1989, p.15) as coberturas cenozóicas são:

> ...constituídas de leitos de cascalheiras que podem atingir espessuras superiores a uma dezena de metros, predominando seixos de quartzo, quartzito e de basalto. Geralmente apresentam-se revestidos de um filme de óxido de ferro. As camadas de materiais rudáceos constituem diversos níveis com espessuras e granulometrias variáveis, a exemplo do afloramento localizado à margem da rodovia que liga a cidade de Uberlândia à cidade de Araxá, distante cerca de 25 quilômetros.

A predominância de termos arenosos e a cimentação incipiente dos sedimentos cenozóicos, segundo Nishiyama (1989), tem levado a grandes problemas de erosão. As áreas mais atingidas estão localizadas nas bacias dos rios Tijuco, Estiva, Douradinho e córrego do Panga, devido ao nível freático encontrar-se relativamente próximo à superfície. A ocorrência de litologias pouco permeáveis da Formação Adamantina subjacente, leva à rápida saturação da camada cenozóica no período chuvoso do ano.

Na área estudada, a cobertura cenozóica presente não difere muito do restante do município de Uberlândia: nas porções de chapadas ocorrem extensas coberturas argilo-arenosas caracterizadas pelo RADAM (1.983) como cobertura Terciário-Quaternário detritico-laterítica; nas vertentes fluviais estão presentes os depósitos de natureza coluvial, de idade quaternária pleitocênica/holocênica.

3.5.4 Solos

Os tipos de solos que compõem a área de estudo são: Latossolo vermelho-escuro álico e distrófico, Latossolo vermelho-amarelo eutrófico, Latossolo roxo distrófico, Glei Húmico álico e distrófico e Terra Roxa estruturada, segundo levantamentos realizados pela EMBRAPA (1982).

Segundo Nishiyama (1998) os tipos latossólicos (roxo e vermelho-escuro) e a Terra Roxa estruturada ocorrem associados aos basaltos da formação Serra Geral, enquanto que o latossolo vermelho-amarelo ocorre nas áreas de chapadas e nos interflúvios associado, respectivamente, a sedimentos cenozóicos que recobrem as chapadas e a litotipos da Formação Marília (arenitos). O tipo Glei Húmico está presente nas porções de fundo de vale, relacionado a depósitos aluviais e coluviais sob condição de saturação hídrica; é comum a associação deste tipo a solos orgânicos.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA O LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

A seqüência de procedimentos adotados para o mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de Uberlândia seguiu a proposta metodológica de Zuquette (1987), conforme ilustrada na Figura 4.1, ressalvando que alguns procedimentos não foram atendidos integralmente devido ao pouco recurso disponibilizado para a pesquisa, mas de maneira, que os mesmos não comprometessem os resultados.

Seguindo a seqüência proposta no organograma, foi feito inicialmente um levantamento de dados existentes junto à Prefeitura Municipal, órgãos públicos, universidades e empresas de engenharia, com o intuito de montar uma base de informações referentes ao meio físico local. Os principais órgãos pesquisados e os documentos adquiridos estão apresentados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1–Documentos adquiridos no levantamento de dados existentes e seus respectivos órgãos.

Órgãos	Documentos adquiridos
Prefeitura Municipal	- Mapas e fotos aéreas da área urbana em meio digital.
IG (Instituto de Geografia _UFU)	- Fotografias aéreas pancromáticas (1979), na escala aproximada de 1:25.000. - Trabalhos acadêmicos.
Empresas privadas	- Perfis de sondagens a percussão

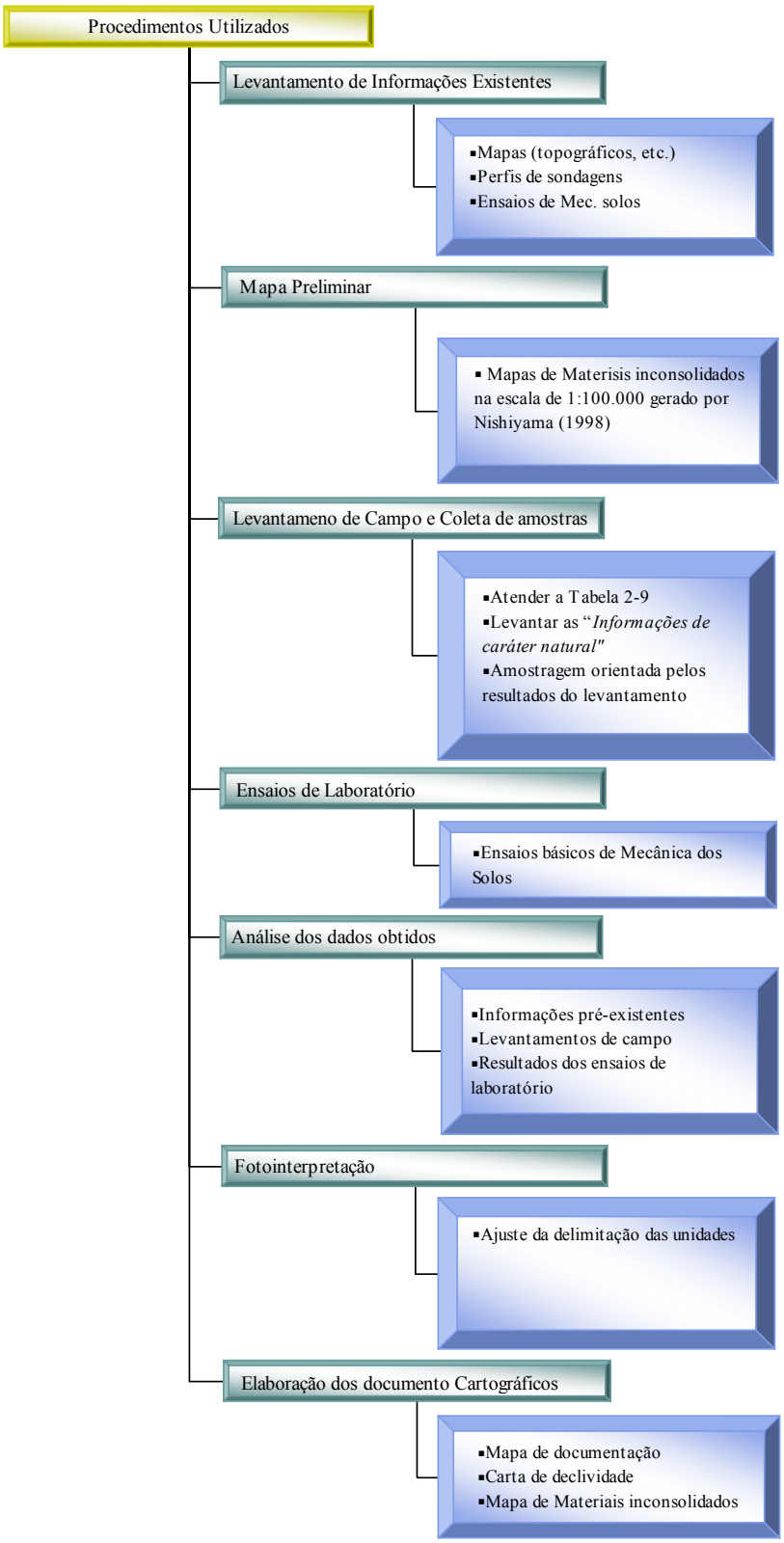


Figura 4.1 – Seqüência de procedimentos adotados para a elaboração do Mapeamento Geotécnico.

Fonte: Zuquette (1987), adaptado pelo autor.

4.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES EXISTENTES

4.1.1 Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT

Os dados de SPT ("Standart Penetration Test") analisados neste trabalho foram fornecidos pelas empresas GEOMETA_ *Engenharia de Fundações Indústria e Comércio LTDA* , ESTAC_ *Fundação e Sondagens LTDA* e pelos órgãos governamentais DER/MG_ *Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais* e DENIT_ *Departamento de Infra-estrutura de Transporte.*

Na região urbanizada os dados foram disponibilizados pelas empresas de engenharia de fundações, e no perímetro urbano esses dados foram fornecidos pelos órgãos governamentais referentes aos projetos de construção do Anel viário_contorno Sul, parcialmente construído e contorno Norte em fase de projeto e planejamento.

Por meio da observação dos relatórios de sondagens de simples reconhecimento com SPT, foram obtidas as seguintes informações: descrição táctil visual (textura e cor), índice de resistência à penetração, espessura dos materiais inconsolidados.

Os dados existentes de SPT melhoraram a qualidade da definição das unidades, principalmente nos locais com alto grau de urbanização, favorecendo assim o aspecto quantitativo da amostragem por unidade de área. Cabe ressaltar que pode haver uma pequena variação nos resultados das sondagens devido à mudança do corpo técnico e, eventualmente, alguma diferença de procedimento ou equipamento, uma vez que os dados foram fornecidos por quatro empresas distintas.

4.2 MAPA PRELIMINAR

Após a fase do levantamento das informações existentes junto aos órgãos governamentais e empresas de engenharia, foram adotados preliminarmente os seguintes mapas gerados por Nishiyama (1998): Mapa dos Materiais Inconsolidados, Mapa da Espessura dos Materiais Inconsolidados e Mapa do Substrato Rochoso, gerados na escala 1:100.000, no intuito de, orientar a fase de levantamento de campo e coleta das amostras.

4.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO E COLETA DE AMOSTRAS

4.3.1 Reconhecimento

Segundo Zuquette (1987) o reconhecimento do solo se dá pelo conhecimento do conjunto de informações obtidas de forma direta (exame "in situ" de solos naturais, SPT, CPT, permeabilidade) e indireta (mapeamento geológico, fotointerpretação, mapas topográficos, etc.) podendo haver ou não um processo de amostragem.

Após a compilação dos mapas gerados por Nishiyama (1998), deu-se início a um período de trabalho de campo, com a finalidade de confrontar as delimitações obtidas por aquele autor com as observações de campos atuais, para uma escala mais detalhada.

Estas observações de campo a respeito dos materiais inconsolidados são denominadas por Zuquette (1987) como "informações de caráter natural": origem (residual ou transportado); informações sobre estrutura, textura e espessura; mineralogia preliminar (macroscópica), distribuição de cada tipo (área) e definição dos melhores locais para execução de amostragem.

Devido à extensão da área de interesse (303 km²), da escala adotada para o trabalho (1:25.000), e da finalidade do trabalho (como subsídio ao planejamento urbano), foi adotado o caminhamento como procedimento de reconhecimento às investigações de superfícies que permitiu, por meio de inspeção visual, definir os limites entre diferentes tipos de materiais. As investigações de sub-superfície se valeram da observação e exame táctil visual dos perfis de materiais inconsolidados/rochosos expostos pelas ações antrópicas e naturais.

Para a obtenção de informações de campo foi utilizado, como suporte a planilha apresentada na Figura 4.2, que serviu, tanto como planilha de reconhecimento, como de amostragem. Esta planilha é composta basicamente por quatro tipos de dados: os básicos, substrato rochoso, materiais inconsolidados e amostragem. Procurou-se, dessa forma, sistematizar e padronizar a caracterização do meio físico, enquadrando espacialmente os diferentes tipos de materiais.

Os dados básicos se referem à localização do ponto (seja ele de observação e amostragem ou somente observação), tais como localização geográfica, posição na encosta, feições erosivas; tipo de amostragem e profundidade; ou seja, os dados básicos dizem respeito a características de uma observação direta necessária para a caracterização da área em estudo.

Quanto ao substrato rochoso procurou-se identificar os tipos litológicos, com suas associações, tipos de contatos, unidade de origem e seus respectivos graus de coerência.

No que se refere aos materiais inconsolados, foram caracterizados os seguintes aspectos: gênese, textura, mineralogia, fragmentos de rocha e descrições das seções dos perfis de alteração.

Os dados referentes à coleta de amostras indeformadas e deformadas são apresentados no tópico seguinte.

4.3.2 Amostragem

Os pontos de observação (O) e amostragem (A), denominados OA, foram estabelecidos numa seqüência de 1 a 47, tendo seu início no setor sul da cidade, próximo à interseção do anel rodoviário sul com a BR-050.

Os locais de coleta foram escolhidos com base nas observações "in situ", procurando sempre amostrar o terreno natural, evitando-se assim coletar amostras em locais pré-compactadas pelas ações antrópicas (como áreas compactadas por equipamentos agrícolas ou por equipamentos de terraplanagem e escavação), devido às coletas terem sido efetuadas em áreas onde a densidade de ocupação humana é relativamente elevada.

A maioria das amostras deformadas (38 pontos) foi retirada com o uso de um trado do tipo cavadeira com Ø100 mm, até a profundidade aproximada de 3,5m sendo desprezado os primeiros 50 cm perfurados, devido à presença de matéria orgânica, raízes vegetais e intensa atividade biológica, conforme ilustração da Figura 4.3. Em 9 pontos identificados pelos números 13, 17, 25, 26, 33, 38, 42, 45 e 46, a amostragem de materiais inconsolidados foi realizada em perfis expostos pela execução de obras civis (taludes de estradas) e mecanismos naturais (feições erosivas).

FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMENTO GEOTÉCNICO E PERFIL DE ALTERAÇÃO

		Coordenadas UTM	**DATUM:** Córrego Alegre	**Folha:** 22K	**Ficha nº: 03**
Data: 06/11/04	**Ponto**:OA_03	**X: 0**	**Y: 1**	**Z: 2**	FOTO Nº.:

Localização: Anel rodoviário sul proximo a torre de transmissão da CEMIG nº 62, na lateral esquerda da pista.

Tipo de amostras	☐ Deformada	☒ Indeformada	**prof.: 1 m** compr.:6,5cm	**prof.: 1 m** compr.:5,0cm	**prof.: 3 m**	
Material Coletado:	☐ Afloramento natural	☐ Corte de estrada	☒ Tradagem			
Landforms:	☐ Plano	☒ Suave ondulado	☐ Ondulado	☐ Escarpado		
Cobertura Vegetal:	☐ Natural	☐ Agricultura perene	☐ Reflorestamento	☐ Pastagem	☐ Agricultura temporária	
	☐ Áreas descobertas	☒ Zona Urbana				
Feições Erosivas:	☐ Sulcos	☐ Ravinas	☐ Voçorocas	☐ Erosão laminar		
Feições Deposicionais:	☐ Colúvio	☐ Tálus	☐ Cone de dejeção	☐ Depósito de canal	☐ Planície de inundação	
Exposição. do nível freátic	☐ Veredas	☐ Campo de Murundu	☐ Planície de inundação	☐ Base de feições erosivas		
Profundidade do N. A. (m)	☐ Observado		☒ Estimado 15 m			

SUBSTRATO ROCHOSO

Litologias	☐ Arenito	☒ Basalto	☐ Outros		
Associação:		**Contato:**	☒ Gradual	☐ Brusco	
Unidades	☐ Formação Marília	☒ Formação Serra Gera			
Estruturas	☐ Fraturas	☐ Falhas	☐ Dobras	☐ Atitude	
Grasus de coerência	☐ Extremamente resistente (C1A)		☐ Muito resistente (C1B)	☐ Resistente (C2)	
	☐ Mediamente resistente (C3)		☐ Rocha branda (C4)	☐ Muito branda (C5A)	
	☐ Extremamente resistente (C1A)				
Observações:	Neste ponto não foi possível constatar nenhum sinal de afloramento do substrato rochoso.				

MATERIAL INCONSOLIDADO

Gênese:	☐ Residual	☒ Transportado:	*( ) colúvio* *( ) aluvião* *(x) talus*		
Textura	☐ Arenosa	☐ Areno-Argilosa	☒ Argilo-Arenosa	☐ Argilosa	☐ Siltosa
Mineralogia	☐ Quartzo	☐ Feldspato	☐ Mica *tipo:*		
Minerais pesados:			**Minerais secundários:**		
Fragmentos de rochas:	☒ não	☐ sim *tipo:*			

Perfil de alteração / Descrição de seções e tipo

Continuidade vertical:	☒ Homogêneo	☐ Heterogêneo *número de camadas:*

Descrição (base p/ topo)

Continuidade lateral / relações espaciais:

Amostra Indeformada

Amostrador: shelby (adaptado) **Diâmetro de ponta:** 5,6 cm **Diâmetro interno:** 6,1 cm **esp. Parede:**

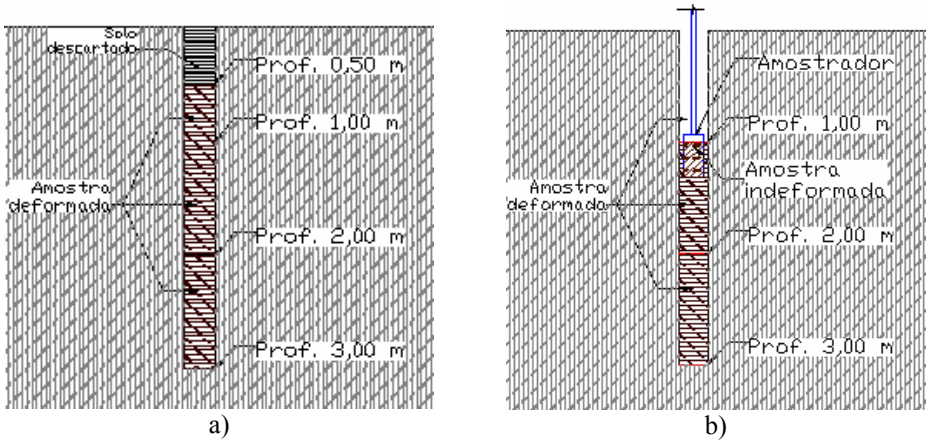
Profundidad	Comprimento	nº capsula	M_0	M_1	M_2	w	γ	γd	γs	e	n
1 m	6,50 cm	20	47,97 g	265,05 g	321,31 g	25,92%	1,708 g/cm³	1,357 g/cm³	2,559 g/cm³	0,886	0,470
1 m	5,00 cm	X	45,39 g	237,93 g	247,44 g	4,94%	1,642 g/cm³	1,564 g/cm³	2,559 g/cm³	0,636	0,389
0 m	0,00 cm					-	-	-	-	-	-

M_0 = Tara da cápsula
M_1 = Massa do solo seco mais cápsula
M_2 = Massa do solo úmido mais cápsula
w = teor de umidade natural

γd = Massa específica natural seca
γs = Massa específica dos sólidos
e = Índece de vazios
n = Porosidade

$$W = \frac{M_2 - M_1}{M_1 - M_0} * 100\% \qquad \gamma = \frac{M_2}{V.\text{do amostr.}} \qquad \gamma d = \frac{M_1}{V.\text{do amostr.}} \qquad e = \frac{\gamma s}{\gamma d} - 1 \qquad n = \frac{e}{1+e}$$

Figura 4.2 – Ficha de campo para levantamento geotécnico para perfil de alteração.



a) Profundidades alcançadas pelo trado, os níveis amostrados com amostras deformadas e o trecho descartado em razão da matéria orgânica.
b) Processo de retirada da amostra indeformada em três níveis distintos (±1, ±2 e ±3m) logo após a tradagem.

Figura 4.3 –Coleta da amostras deformadas e indeformadas

A Figura 4.4 nos mostra a porção leste da área de estudo próximo ao CEASA_Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S/A, onde se apresenta uma cobertura argilosa, associada a níveis altimétricos que variam de 900 a 950 m, com espessuras entre 5 e 30 m, coloração vermelho-escura e textura argila-siltosa a argila-arenosa. Nesta porção encontram-se dois pontos de observação e amostragem (OA-46 e OA-47).

Figura 4.4 – Vista parcial do setor leste próximo aos pontos observados e amostrados OA-46 e AO-47

Fonte: FECIV_ Faculdade de Engenharia Civil – UFU (1996).

Para a retirada das amostras indeformadas foi utilizado um amostrador de parede fina do tipo shelby (adaptado) conforme ilustra a Figura 4.5, fabricado artesanalmente seguindo as especificações da NBR 9820/87 "SOLO- Coleta de Amostras Indeformadas de Solo em furo de sondagem".

As amostras obtidas com o uso do amostrador foram extraídas nas seguintes profundidades ±1m, ±2m, ±3m. Durante a coleta das amostras deformadas, após a perfuração com trado tipo cavadeira, o amostrador era introduzido no furo com o auxílio de hastes de tubos galvanizados e cravado com um dispositivo hidráulico.

Figura 4.5 – Amostrador de parede fina tipo shelby (adaptado)

As características técnicas do amostrador de parede fina (shelby) e do amostrador utilizado na coleta das amostras indeformadas; estão apresentados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2– Dimensões de um amostrador de parede fina e do amostrador adaptado.

a) Amostrador parede fina (shelby)					
D_e (mm)	R_a (%)	D_i (mm)	F_i (%)	D_p (mm)	e (mm)
63,8	10	60,5	1	59,9	1,50
			3	56,7	
	5	62	1	61,4	0,75
			3	60,2	
b) Amostrador adaptado					
64	11,5	60,6	8	56	2,00

Onde:
D_e Diâmetro externo do amostrador.
R_a Relação de áreas_ relação entre os diâmetros externo e interno
D_i Diâmetro interno
F_i Folga interna_relação entre diâmetro de ponta e interno.
D_p Diâmetro de ponta
e Espessura da parede do amostrador

Fonte: a) Nogueira (1979).

No processo de cravação foi utilizado um dispositivo hidráulico composto pelos itens relacionados a baixo e ilustrados na Figura 4.6.

1. um macaco hidráulico com capacidade para 2 toneladas;

2. duas hastes fabricadas a partir de barras de aço CA-50 de Ø 12,5 mm, servindo como estaca de ancoragem;

3. duas chapas metálicas, sendo uma dela empregada como guia para a haste do amostrador, e a outra, para apoiar o macaco durante o processo de cravação do amostrador;

4. dois contrapesos fabricados em concreto com a massa de 20 kg cada.

Este processo garantiu uma cravação dinâmica e contínua no solo, portanto, refletindo pouco na deformação da amostra.

Figura 4.6 – Dispositivo hidráulico utilizado.

Concluída a amostragem, o solo extraído era moldado segundo os seguintes critérios: despreza-se os primeiros quatro centímetros da parte superior, devido à influência causada ao solo pelo processo de tradagem, e os últimos 5cm, de forma a eliminar porções mais alteradas, pela amostragem. Após este procedimento, é realizada a mensuração do comprimento da amostra final com uma trena, sendo obtidos valores na ordem de três a sete centímetros, conforme ilustração da Figura 4.7 e, em seguida, a amostra é acondicionada em saco plástico cuidadosamente fechado, e armazenado de forma a não

ficar exposto à ação da radiação solar. Esta medida visa evitar a perda da umidade entre o período de amostragem e manuseio em laboratório.

a)

b)

a) Amostra de solo retirada do amostrador.
b) Amostra de solo após a modelagem.

Figura 4.7 – Amostra indeformada.

Como o objetivo era conhecer o volume de solo em seu estado natural e a sua massa úmida e seca em laboratório, não houve a preocupação de se manter a forma original da amostra.

Em razão do amostrador ter sido adaptado, houve a preocupação em comparar os resultados obtidos para as amostras indeformadas como: a massa específica do solo de campo (γd campo), teor de umidade de campo (w campo). A Figura 4.8 ilustra uma amostra coletada em corte produzido pela construção do anel viário sul próximo ao ponto O/A-4. A Tabela 4-3 mostra os resultados obtidos pelos processos de cravação do amostrador e do anel volumétrico e os respectivos desvios padrões.

Tabela 4-3– Resultado comparativo da amostragem com cravação do amostrador e do anel de volume connhecido.

Pontos	Amostrador	Anel	Desvios
	γ (g/cm³)	γ (g/cm³)	(%)
1	1,625	1,664	2
2	1,592	1,562	4
3	1,718	1,778	3
4	1,608	1,693	5
5	1,584	1,532	3

Foram verificados 10% (5 pontos em 47) das amostras obtendo-se desvios da ordem de 5%, em geral , sendo satisfatório os resultados obtidos.

Figura 4.8 – Amostra indeformada extraída com o uso de anel volumétrico.

Apesar de procurar atender os limites propostos por Zuquette (1987) conforme apresentados na Tabela 2-9, não foi possível atingir o número de observações qualitativas, chegando a 6,2 pontos por km². Quanto aos limites quantitativos foi possível atingir 2 pontos por km² ficando acima do limite estipulado de 1 ponto por km^2.

4.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios foram escolhidos a partir da metodologia proposta por Zuquette (1987), seguindo estritamente as normas da ABNT _ *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Neste trabalho foram realizados os seguintes tipos de ensaios para os materiais inconsolidados: Análise Granulométrica Conjunta, Limites de Atteberg, Compactação à Energia Normal, Mini-MCV, Mini-CBR, Massa Específica de Campo.

4.4.1 Análise granulométrica conjunta (NBR 7181/84)

Este ensaio permite determinar a composição textural (dimensão das partículas constituinte) de materiais inconsolidados (coletadas em campo) por meio da curva de distribuição granulométrica, obtida mediante peneiramento, da fração grossa (areias e pedregulhos) e sedimentação da fração fina (siltes e argilas). No caso dos materiais estudados o peneiramento e a sedimentação foram realizados simultaneamente (conforme preceitua a Norma ABNT-NBR 7181_ Análise Granulométrica Conjunta), em razão destes serem constituídos de uma mistura das duas frações (grossa e fina).

O peneiramento foi realizado com o auxílio de uma bateria de peneiras de aberturas sucessivamente menores (# 4, # 10, # 40, # 200), determinando-se as massas retidas em cada peneira.

Com a sedimentação o diâmetro das partículas foi obtido indiretamente, com base na lei de Stokes. Baseia-se na velocidade de queda das partículas em água, mediante a leitura da densidade da em um decímetro calibrado em intervalos de tempos conhecidos. Para se calcular o tamanho das partículas utilizou-se expressão 4.1 (lei de Stokes).

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 * \mu}, D^2 = \frac{z}{t} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{18 * \mu}{\gamma_s - \gamma_w}} * \frac{z}{t} \qquad 4.1$$

onde:

v	=Velocidade de queda das partículas.	D	= Diâmetro da partícula
γ_s	= Massa específica dos sólidos.	z	= Distância percorrida pela partícula
γ_w	= Massa específica da água	t	= Tempo percorrido pela partícula.
μ	= viscosidade da água.		

Fonte: Bueno; Vilar (1998)

Para este ensaio foram utilizados, aproximadamente, 75g solo. E na fase de sedimentação utilizou-se um defloculante (hexametafosfato de sódio) para deflocular as partículas finas e, com isso representar melhor os diâmetros das mesmas.

4.4.2 Limites de Atterberg –LL, LP e IP(NBR 7180/84 e 6459/84)

Também conhecidos como limites de consistência, estes são estabelecidos arbitrariamente a partir de ensaios padronizados que procuram indicar a plasticidade do solo. A plasticidade está associada à quantidade da fração fina, ao tipo de argilo-mineral presente e a quantidade de água que separa os dois estados de consistência de um solo: estado líquido e estado plástico.

O limite de liquidez (LL ou W_L) foi estabelecido por Atterberg como a representação do limite entre o estado líquido e o estado plástico (teor de umidade - W_l) e padronizado por Casagrande. O ensaio consiste em se determinar o número de golpes necessários para que a ranhura, numa extensão de 12 mm, para diferentes teores de umidade, se feche. Sendo estes resultados lançados em um gráfico semi-logarítimo no qual os teores de umidade se encontram representadas nas ordenadas e nas abscissas o número de golpes, conforme

mostra a Figura 4.9. Define-se então, uma reta média que passa pelos pontos e, em seguida, determina-se o teor de umidade correspondente a 25 golpes, sendo o limite de liquidez representado por este teor de umidade.

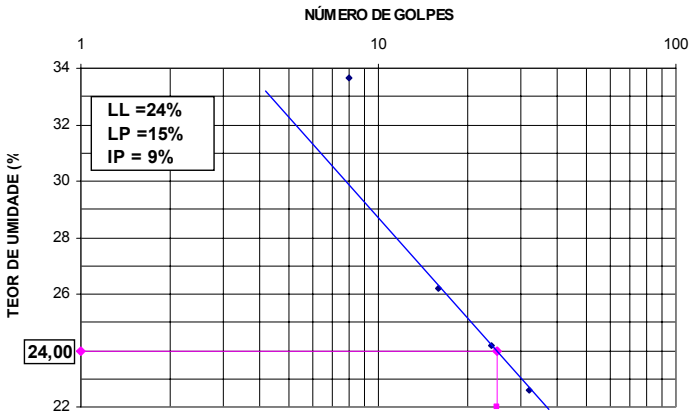


Figura 4.9 – Gráfico semi-logarítimo para determinação do limite de liquidez (ponto 2).

A Figura 4.10 ilustra o aparelho padronizado por Casagrande com suas respectivas dimensões para a realização do ensaio do limite de liquidez.

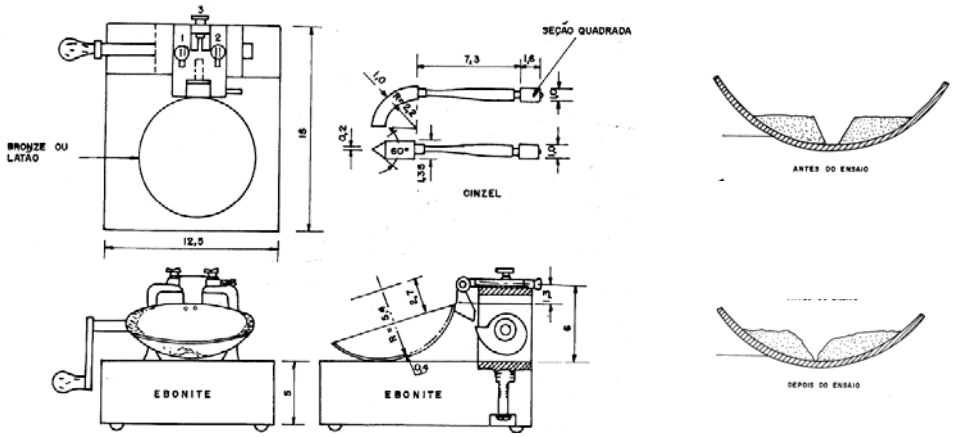


Figura 4.10 –Aparelho para determinação do limite de liquidez.

Fonte: DNR- ME 122/94

O limite de plasticidade (LP ou W_P) é representado pelo teor de umidade que determina a fronteira entre o estado plástico e o estado semi-sólido. A sua determinação é realizada a partir de uma pasta de solo que passa na peneira #40, quando se rolar essa pasta com auxílio da palma da mão sobre uma placa de vidro esmerilado procurando formar pequenos cilindros. Quando o cilindro, assim formado, atingir um diâmetro de 3 mm, e começar a apresentar fissuras, interrompe-se o ensaio e determina-se o teor de umidade do solo. O limite de plasticidade é representado pela média dos teores de umidades obtidos através da realização da repetição deste procedimento.

O índice de plasticidade é definido pela expressão 4.2 que consiste na diferença entre o limite de liquidez e o de plasticidade, mediante a qual se tenta medir a maior ou menor plasticidade do solo, procurando representar fisicamente qual é a quantidade de água necessária para um solo passar do estado plástico para o estado líquido.

$$IP = LL - LP \qquad 4.2$$

onde:
IP = Índice de Plasticidade LP = Limite de plasticidade
LL = Limite de liquidez.
Fonte: NBR 718/82

O índice de plasticidade foi determinado para as amostra deformadas, ou seja, compreende os materiais coletados com o uso do trado tipo cavadeira até a profundidade aproximada de 3m.

4.4.3 Massa específica dos Grãos (sólidos) (NBR 6508/84)

Este índice é definido como a relação entre a massa e o volume dos sólidos (grãos), cuja determinação é feita em ensaio à parte, completando o conhecimento dos índices físicos do solo.

Esta determinação foi feita empregando um frasco de vidro chamado picnômetro (balão volumétrico). Coloca-se uma porção de solo que passa na peneira 4,8 mm (cerca de 80g para solos argilosos e 150g para solos arenosos) no picnômetro e, em seguida, preenche-se o frasco com água destilada até a marca de referência.

Pesa-se o conjunto picnômetro, água e solo, determina-se a temperatura da suspensão e mediante a curva de calibração do picnômetro, determinam-se o peso do picnômetro e a água para a temperatura do ensaio.

A massa de água correspondente ao volume deslocado pelos sólidos será:

$$M_1 - M_2 = M_w(1) + M_s - M_w(2) \quad \text{ou} \quad M_w(2) - M_w(1) = M_2 + M_s - M_1 \qquad 4.3$$

Fonte: Nogueira (1995)

Portanto, o volume dos sólidos corresponde a :

$$Vs = \frac{M_w(2) - M_w(1)}{\gamma w} = \frac{M_2 + M_s - M_1}{\gamma w} \qquad 4.4$$

Fonte: Nogueira (1995)

E, por fim, a massa específica dos sólidos pode ser assim obtida:

$$\gamma s = \frac{M_s}{V_s}; \quad \gamma s = \left(\frac{M_s}{M_2 + M_s - M_1}\right) * \gamma w \qquad 4.5$$

onde:

γs = Massa específica dos sólidos

γw = Massa específica da água á temperatura T do ensaio.

$M_w(1)$ = Massa de água que ocupa o Vw(1)

$M_w(2)$ = Massa de água que ocupa o Vw(2)

M_1 = Massa do solo úmido

M_2 = Massa do solo seco

M_s =Massa do picnômetro cheio até a marca de referência, na temperatura T do ensaio.

Fonte: Nogueira (1995)

Deve-se frisar que, normalmente, são feitas três a quatro determinações, fazendo variar a temperatura e acertando o nível de água na marca de referência, com vistas à obtenção de um valor médio consistente.

4.4.4 Ensaio de compactação na energia do Proctor Normal (NBR 7182/86)

A compactação é entendida como a ação mecânica por meio da qual se impõe ao solo uma redução do seu índice de vazios, mediante a expulsão de ar dos poros, resultando com isso na melhoria da resistência ao cisalhamento, na redução da compressibilidade e da permeabilidade.

Neste ensaio, foi utilizado para cada determinação do grau de compactação, uma porção de solo sem reuso, com massa aproximada de 300g, compactada em um cilindro de 1000 cm³ de volume, com um soquete de 2,5 Kg, caindo em queda livre de uma altura de 30 cm, seguindo os procedimentos normalizados pela NBR 7182/86. A Figura 4.11 ilustra os equipamentos utilizados neste ensaio de compactação.

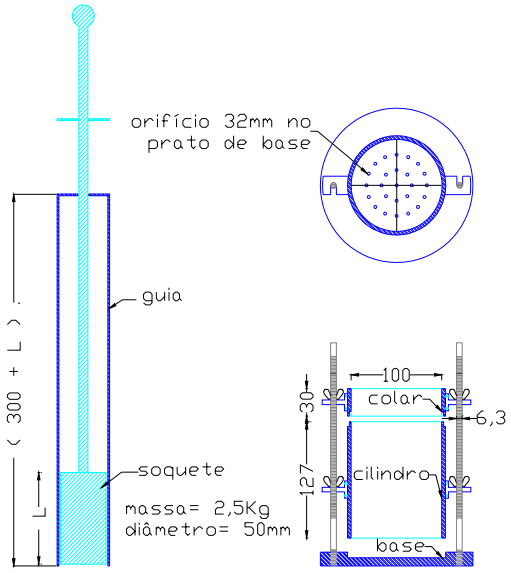


Figura 4.11 – Equipamento utilizado no ensaio de compactação

Fonte: Bueno; Vilar (1998) adaptado pelo autor.

Na Tabela 4-4 são apresentados os parâmetros necessários para a realização do ensaio conforme a energia de compactação e seus respectivos equipamentos, tais como: tamanho do soquete, quantidade de golpes e número de camadas.

Tabela 4-4– Energias de compactação.

Cilindro	Características inerentes á cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Golpes por camadas	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Golpes por camadas	12	26	55
	Altura do disco espaçador	63,5	63,5	63,5

Fonte: NBR 7182/86

4.4.5 Ensaios para classificação pela metodologia MCT: Mini-MCV (DNER-ME 228/94 e 258/94) e perda de massa por imersão e sobrecarga (DNER-ME 256/94)

Este ensaio foi desenvolvido por Nogami; Vilibor (1981) devido à necessidade de se ter uma classificação mais representativa para os solos tropicais, e de se buscar esclarecer melhor alguns aspectos de seu comportamento, separando os solos tropicais em duas grandes classes, os de comportamento laterítico e os de comportamento não laterítico.

Segundo Villibor et al (2000), estes ensaios são utilizados para diversas finalidades, tais como: estudos de solos para a utilização como base de pavimentos e estudo de erodibilidade dos solos.

Esta classificação foi baseada em propriedades determinadas em amostra de dimensões reduzidas (Ø 50 cm) e compactadas com energias variáveis.

As amostras ensaiadas (classificação MCT) foram selecionadas a partir de um universo de 47 amostras, tomando como base a classificação HRB. Segundo esta classificação foram identificados 5 tipos de solo que estão apresentados na Tabela 4-5.

Tabela 4-5–Grupos de pontos amostrados segundo Classificação HRB.

Classificação HRB	Pontos amostrados
A-2-4	13, 17, 20, 21, 23, 24, 25
A-3	3, 6, 10, 14, 15, 16, 18, 19
A-4	1, 2, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 46
A-6	9, 22, 26, 27, 28, 32, 36, 40
A-7-5	43,44,45, 47

A partir destes cinco grupos foram utilizados como parâmetros de escolha, algumas medidas descritivas dos resultados dos seguintes ensaios: Classificação Granulométrica (% que passa, $\gamma_{s.}$), Limites de Atteberg (LL, LP, IP), Compactação ($\gamma_{máx.}$, Wot) e Índices de Grupo.

Estas medidas descritivas procuraram representar as propriedades de tendência central (média aritmética, mediana, moda), variação (amplitude, amplitude interquartil, variância,

desvio padrão, coeficiente de variação) e formato (comparação relativa entre a média aritmética, mediana baseada na avaliação do resumo de cinco números).

A Tabela 4-6 relaciona os pontos escolhidos que melhor representam os seus grupos (classificação HRB) e os valores médios que lhe serviram de parâmetros para sua escolha.

Tabela 4-6–Pontos escolhidos e parâmetros estatísticos considerados na escolha.

Pontos	Parâmetros para a escolha							
	γ máx (g/cm³)	γ s (g/cm³)	LL (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Wot (%)	IG (%)
13	1,903	2,761	14,71	20,71	9	33,57	-	-
10	1,917	2,580	-	18,13	7,88	33	11,53	-
38	1,765	2,806	-	37	15,50	21,60	-	4,25
27	1,783	2,780	-	-	-	17,13	-	5,25
44	1,539	2,771	-	65,25	5,75	-	-	11,50

Para se obter as classificações MCT desses cinco pontos foram utilizadas os respectivos ensaios: Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão.

O ensaio Mini-MCV consiste na aplicação de energias crescentes até se conseguir um aumento sensível de densidade para vários teores de umidade obtendo-se, assim, uma família de curvas de compactação e de curvas de deformabilidade, sendo que a partir da curva correspondente ao Mini-MCV igual a 10, obtém-se o coeficiente c', utilizado na classificação geotécnica MCT.

O procedimento do ensaio de Perda de Massa por Imersão em água (Pi) consiste em se extrair o corpo de prova parcialmente do cilindro após o processo de compactação, de forma que fique uma saliência de 10mm (para cilindro de Ø 26mm deixar 5mm), conforme ilustrado na Figura 4.12 e, em seguida, emergi-lo em um tanque com água, em posição horizontal. Depois de 24 h de imersão, recolhe-se a parte desprendida e determina-se a sua massa seca. Sendo o valor de Pi expresso em porcentagem relativo a massa seca da parte primitivamente saliente do corpo de prova.

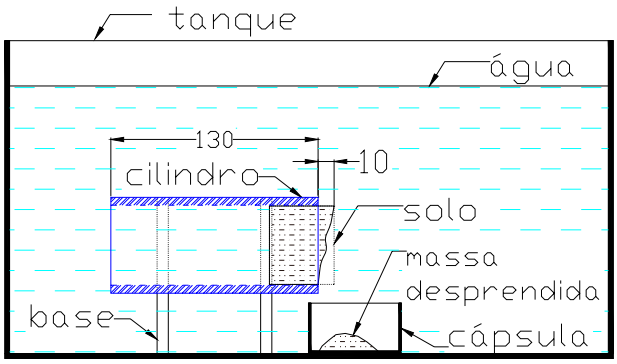


Figura 4.12 – Equipamento utilizado no ensaio de Perda de massa por imersão.

Fonte: Villibor et al (2000) adaptado pelo autor.

Os parâmetros utilizados nesta classificação são o c' que está disposto na abscissa e o e' disposto na ordenada, conforme ilustrado na Figura 4.13. O e' procura definir se o comportamento do solo é ou não laterítico. O comportamento laterítico começa a se manifestar quando d'>20 e Pi <100 e e'=1,15, sendo o parâmetro e' obtido a partir da expressão 4.6.

$$e` = \sqrt[3]{\frac{Pi}{100}} + \frac{20}{d`} \qquad 4.6$$

onde:

e` =Índice que diferencia o comportamento laterítico do não laterítico

Pi =coeficiente de perda de massa por imersão.

d` = coeficiente angular do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes do ensaio de Mini-MCV.

Fonte: Villibor et al (2000)

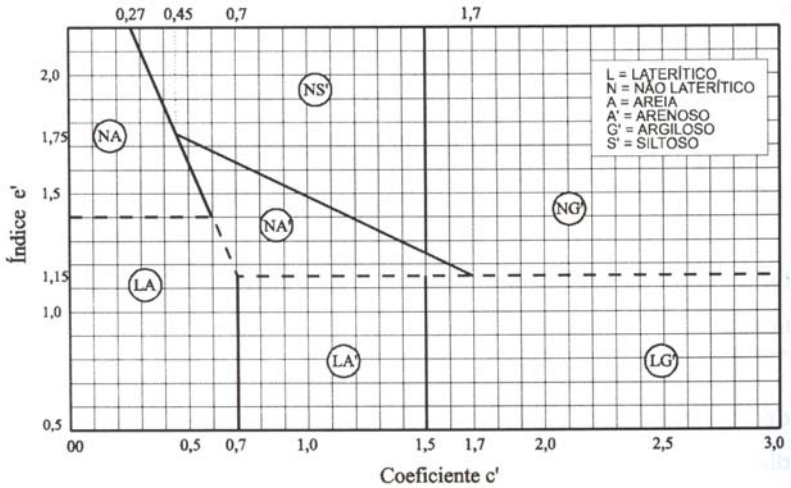


Figura 4.13 –Nomograma da Classificação MCT

Fonte: Villibor et al (2000)

A Figura 4.14 ilustra todos os componentes do equipamento utilizado no ensaio de compactação Mini-MCV.

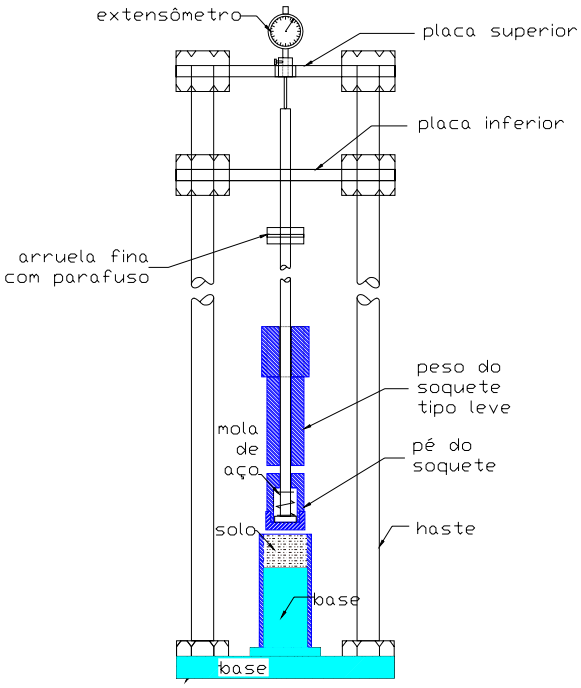


Figura 4.14 – Equipamento utilizado no ensaio Mini-MCV

Fonte: DNR - ME 228/94 adaptado pelo autor.

Acham-se descritas na Tabela 4-7 as características e dimensões do compactador, bem como os tipos de siglas utilizados para este tipo de ensaio de compactação.

Tabela 4-7–Características do compactador com suas respectivas dimensões.

Compactador				
Descrição	Tipo e Sigla	Molde Ø (mm)	Massa Soquete (g)	Altura de queda (mm)
Soquete de pé, com área igual do molde e com dispositivo (extensômetro) que mede a altura do corpo de prova após qualquer número de golpes do soquete. Distinguem-se:	Mini ou M	50	2270,45	305
	Sub Mini ou S	26	1000	200

Fonte: Villibor et. all (2000) adaptado pelo autor.

Os procedimentos e métodos de ensaio, bem como suas aplicações estão descritos de forma sintetizada na Tabela 4-8.

Tabela 4-8–Procedimentos do ensaio e suas aplicações práticas.

Procedimentos	Aplicações dos Resultados	Método de ensaio
▪ Mini-Proctor: umidade variável, energia constante (normal, intermediária ou modificada). ▪ Mini-MCV: umidade e energia variáveis, massa úmida constante (200g no Mini, 30g no SUB-Mini) obtém-se uma família de curvas de compactação.	▪ Preparo de corpos de prova para ensaios diversos. ▪ Obtenção de dados para classificação MCT de solos. ▪ Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima para a energia de compactação escolhida.	▪ NBR – M 196/89 ▪ DER – M 191/88 ▪ DNER – M 228/94

Fonte: Villibor et. all (2000) adaptado pelo autor.

4.4.6 Ensaios para avaliação da capacidade de suporte como pavimento – Mini-CBR (DNER-ME 254/97)

As amostras ensaiadas (classificação MCT) foram às mesmas para o ensaio de Mini-MCV.

Os resultados deste ensaio, aliados aos resultados dos ensaios de expansão e contração, nos dão condição de dimensionar pavimentos, bem como escolher os materiais para o subleito, sub-base, bases e acostamentos.Este ensaio apresenta uma dispersão menor de valores de capacidade de suporte em relação ao ensaio convencional.

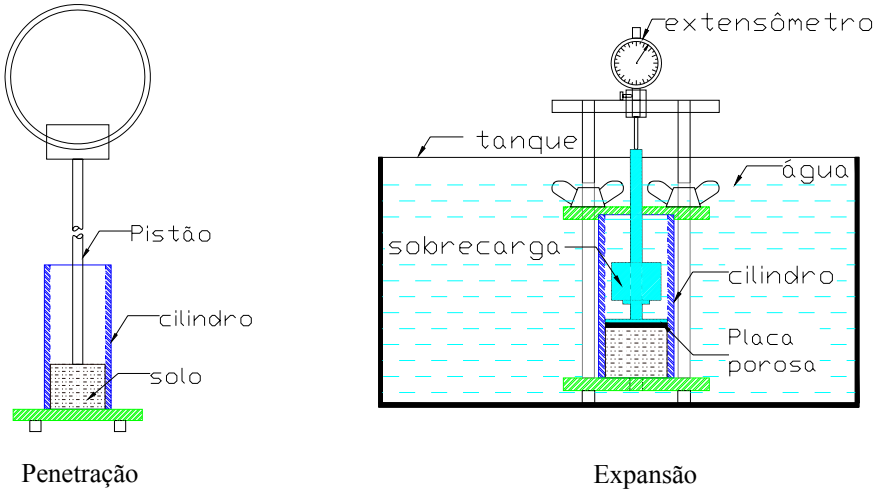


Figura 4.15 – Equipamento utilizado no ensaio Capacidade de Suporte Mini-CBR

Fonte: Villibor et. all (2000) adaptado pelo autor.

O ensaio Mini-CBR traz inúmeras vantagens executivas em relação ao procedimento tradicional. Em se tratando da reduzida quantidade de material amostrado, equipamentos mais leves e menores e o menor tempo de imersão dos corpos-de-prova proporcionam significativo aumento na produtividade do laboratório com a conseqüente redução nos seus custos operacionais. No entanto os resultados obtidos devem ser verificados através de uma criteriosa correlação com os resultados obtidos pelo método tradicional.

Os procedimentos destes ensaio bem como as respectivas normas e aplicações dos resultados estão descritos resumidamente na Tabela 4-9.

Tabela 4-9–Procedimentos do ensaio e suas aplicações práticas.

Características	Aplicações dos Resultados	Método de ensaio
Compactador: ▪ PISTÃO: Mini (Ø 16 mm); sub-Mini (Ø 8 mm). ▪ CARGA: * Estática, penetração de 1,25 mm/min. * Dinâmica, 1 golpe soquete compactador. ▪ IMERSÃO: 24 horas ou sem imersão. ▪ SOBERCARGA: padrão, sem ou especial. ▪ EXPANSÃO: determinada de maneira similar ao procedimento tradicional. ▪ MINI-CBR DE CAMPO: Determinação facilitada pelo uso de aparelhagem leve de fácil movimentação.	▪ Dimensionamento de pavimentos. ▪ Escolha de solos para reforço de subleito, bases e acostamentos.	▪ NBR – M 196/89 ▪ DER – M 191/88 ▪ DNER – M 228/94

Fonte: Villibor et. all (2000) adaptado pelo autor.

4.4.7 Infiltrabilidade

Segundo Villibor et al (2000) este ensaio tem com objetivo, "medir a velocidade e a quantidade de água que penetra em camadas de solo (bases), quando da ocorrência de chuvas na fase de execução e/ou operação" de pavimentos.

As amostras ensaiadas foram as mesmas selecionadas para o ensaio de Mini-MCV, sendo compactadas na umidade ótima.

O equipamento de ensaio esta ilustrado na Figura 4.16. Os procedimentos destes ensaio bem como as respectivas normas e aplicações dos resultados estão descritos resumidamente na Tabela 4-10.

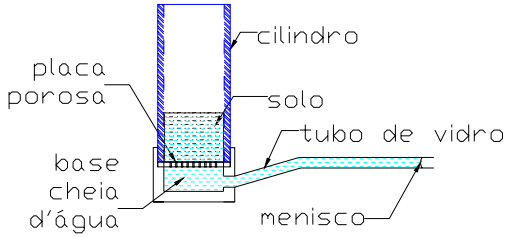


Figura 4.16 – Aparelhagem utilizada no ensaio de infiltrabilidade

Fonte: Villibor et. al (2000) adaptado pelo autor.

Tabela 4-10–Procedimentos do ensaio e suas aplicações práticas.

Procedimento	Aplicações dos Resultados	Método de ensaio
▪ Mede-se no tubo horizontal a quantidade de água que penetra no corpo de prova, através de sua base, em função da raiz quadrada do tempo. Para isso, a base do corpo de prova é colocada sobre a placa porosa que delimita o recipiente cheio de água e que se comunica com o tubo horizontal de medida da água penetrada.	▪ Escolha de solo para aterros, bases, reforços do subleito, acostamentos, sobretudo quando os mesmos ficam sujeitos à secagem intencional ou não, durante ou após a construção.	▪ DER/SP – M 194 PMSP ME 58

Fonte: Villibor et. al (2000) adaptado pelo autor.

4.4.8 Permeabilidade

Este ensaio segundo Villibor et al (2000) é utilizado para cálculos de escoamento de água em meio saturado, priorizando os solos para o uso em camadas de base de pavimentos.As amostras ensaiadas foram às mesmas do ensaio de Infiltrabilidade e, a aparelhagem utilizada para este ensaio está ilustrado na Figura 4.17.

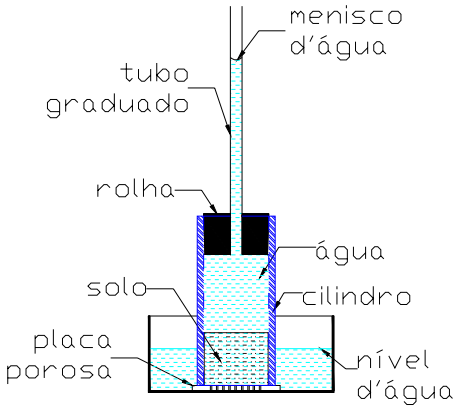


Figura 4.17 – Aparelhagem utilizada no ensaio de permeabilidade

Fonte: Villibor et. al (2000) adaptado pelo autor.

Tabela 4-11–Procedimentos do ensaio e suas aplicações práticas.

Procedimento	Aplicações dos Resultados	Método de ensaio
▪ Mede-se a quantidade de água que percola no corpo de prova (solo) através do deslocamento do menisco d'água no tubo vertical graduado, em função do tempo. ▪ Geralmente, utiliza-se o corpo de prova previamente submetido ao ensaio de infiltrabilidade. ▪ O valor obtido é apresentado em coeficiente de permeabilidade, geralmente expresso em cm/s.	▪ Utilização em cálculos de escoamento de água em meio saturado tais como camadas drenantes, filtrantes, impermeabilizantes.	▪ DER/SP – M 194 PMSP ME 58

Fonte: Villibor et. al (2000) adaptado pelo autor.

4.4.9 Massa específica aparente (γ), massa específica aparente seca de campo (γd campo) e teor de umidade

A partir das amostras indeformadas, para cada metro de profundidade, quando possível, foi determinada a massa específica aparente (γ) do solo e o teor de umidade natural. Para cada ponto de amostragem, considerando-se o solo homogêneo com a profundidade, com as amostras deformadas, foram realizados: um ensaio de granulometria conjunta, um de massa específica dos grãos e um de limites de consistência (limites de Atterberg), e foram determinados os índices físicos: índice de vazios, porosidade,grau de saturação e massa específica aparente seca ($\gamma_{d\ campo}$).

Os materiais inconsolidados foram classificados de acordo com os sistemas mais usuais em mecânica dos solos, tais como a classificação granulométrica, pela escala da NBR 6502/95, unificada (SUCS), Highaway Reaserch Board (HRB) e mais especificamente para os solos tropicais como a MCT_ Miniatura, Compactada, Tropical.

4.4.10 Avaliação da Colapsibilidade

A colapsibilidade foi avaliada segundo a correlação dos índices de vazios obtidos pelas amostras indeformadas (e_n) com o índice de vazios estabelecidos no limite de liquidez (e_L) conforme as equações da expressão 4.7.

$$e_n = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1; \quad e_L = \frac{LL * \gamma_s}{\gamma_w} \qquad 4.7$$

onde:

e_n	= Índice de vazios natural.	γ_s	=Massa específica dos sólidos.
e_L	= Índice de vazios no limite de liquidez.	γ_d	= Massa específica natural seca.
		γ_w	= Massa específica da água.

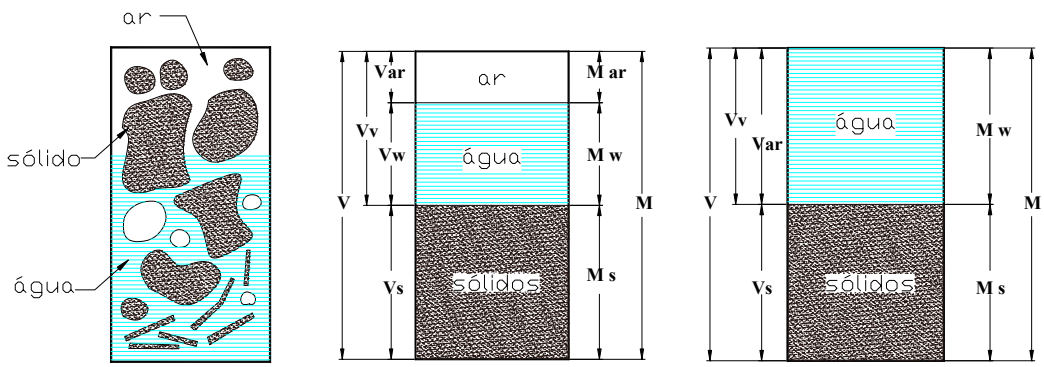
Fonte: Bueno; Vilar (1998).

O índice de vazios no limite de liquidez leva em consideração o grau de saturação (Sr) igual a 100%, assim o volume de vazios (V_V) é igual o volume de água (V_w) do solo conforme indicado na ilustração (c) da Figura 4.18, sendo este índice de vazios obtido da dedução das correlações da expressão 4.8.A ilustração (a) da Figura 4.18 apresenta um elemento de solo, constituído das três fases, tal como na natureza. Na ilustração (b) da mesma figura as fases estão separadas em volume do lado esquerdo, e do lado direito estão separadas em massa.

$$e_L = \frac{V_V}{V_S} \Rightarrow = \frac{\frac{LL * M_S}{\gamma_W}}{\frac{M_S}{\gamma_S}} \Rightarrow = \frac{LL * M_S}{\gamma_W} * \frac{\gamma_S}{M_S} \Rightarrow \text{então } e_L = \frac{LL * \gamma_S}{\gamma_W} \qquad 4.8$$

onde:

e_L	= Índice de vazios no limite de liquidez	M_S	= Massa dos sólidos.
V_V	= Volume de vazios	γ_S	= Massa específica dos sólidos.
V_S	= .Volume de sólidos	γ_W	= Massa específica da água.
LL	= Limite de Liquidez		



(a) (b) (c)

a) Estrutura constituída das três fases, tal como na natureza.
b) Estrutura constituída das três fases separadas em massa e volume.
c) Estrutura saturada onde o volume de vazios é igual o volume de água (S_r=100%).

Figura 4.18 – Elementos e estrutura do solo

Fonte: Bueno; Vilar (1998) adaptado pelo autor.

O coeficiente que identifica os solos colapsíveis foi baseado no critério proposto por Gibbs and Bara (1967 apud Costa, 1986) sendo este representado pela expressão 4.9.

$$K = \frac{e_n}{e_L}, \text{ quando K > 1 o solo é identificado como colapsível.} \qquad 4.9$$

onde:
K = Coeficiente para identificação dos solos colapsíveis
e_n = Índice de vazios natural
e_L = Índice de vazios no Limite de Liquidez.
Fonte: Costa (1986)

4.5 FOTOINTERPRETAÇÃO

4.5.1 Ajuste dos Limites das Unidades Homogêneas

Logo após os trabalhos de campo expeditos, seguidos de amostragem de materiais inconsolidados. As amostras foram ensaiadas em laboratório e, concomitantemente, os relatórios de sondagens profundas foram analisados para finalmente, de posse de todos estes dados, começar a fase de ajuste das unidades homogêneas com o auxilio da fotointerpretação e dos mapas gerados por Nishiyama (1998).

Estes ajustes foram feitos com base nas características específicas de uma encosta ou parte dela, avaliados em conjunto com os diferentes atributos do meio físico (qualitativos e quantitativos), as condições específicas do terreno que favoreceram para a delimitação das unidades que envolvem uma determinada seqüência de materiais inconsolidados.

Na fase de fotointerpretação foram utilizadas 48 aerofotos verticais pancromática, produzidas pelo antigo Instituto Brasileiro do Café (IBC/GERCA) em escala aproximada de 1:25.000 de Abril de 1979.

4.6 DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

4.6.1 Mapa de documentação

Este mapa visa armazenar e localizar todos os pontos de amostragens sejam eles de observação, observação e amostragem, sondagens de simples reconhecimento com SPT, relacionados à área em estudo, ver Anexo I.

A base na qual foram lançadas as informações foi elaborada a partir dos mapas disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Uberlândia em meio digital. Constam ainda neste documento algumas informações importantes como a rede de drenagem, a linha ferroviária, as principais rodovias e edificações mais relevantes.

Conforme mencionado no item 4.3.2 o número de pontos observados é inferior ao de Zuquette (1987) Tabela 2-9, devido a grande taxa de urbanização (70 km² de área urbanizada). O número de pontos chegou a 1,6 por km², totalizando 189 pontos de caráter qualitativo e quantitativo, não havendo prejuízo na qualidade dos documentos elaborados em razão de uma relativa homogeneidade dos materiais inconsolidados na área estudada.

4.6.2 Carta de Declividades

Este documento foi gerado em decorrência de sua significativa importância na avaliação geotécnica do terreno, quanto à inclinação da sua superfície, expressa em porcentagem. Possibilita analisar as classes de declividades para cada unidade homogênea frente aos possíveis tipos de ocupação, contribuindo assim, para os projetos de planejamento urbano e regional.

Para confecção da carta de declividade foram utilizadas folhas topográficas produzidas pelo Ministério do Exército na escala 1:25.000 com eqüidistâncias entre as curvas de nível de 10m, com base no método proposto por De Biase (1970 apud Nishiyama, 1998). Foram definidas cinco classes de declividade: 0-2%; 2%-5%; 5%-10%; 10%-20% e >20%.

O método consiste na construção de um ábaco de distâncias entre curvas de nível, referente à cada classe, respeitando-se uma determinada escala e eqüidistâncias das curvas de nível,

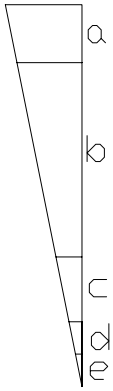
através de delimitações, conforme ilustrado na Figura 4.19. Essas delimitações são obtidas pela expressão 4.10.

$$D = \frac{n}{E * K} \qquad 4.10$$

onde:

D	= Declividade
n	= Diferença de nível entre dois pontos (pode ser a eqüidistância da carta)
E	=Espaçamento ou distância horizontal entre duas curvas consecutivas ou de pontos em um carta.
K	=Constante igual a 100 para que o resultado seja em porcentagem.

Fonte: De Biasi (1991) apud Bachion (1997)



a = classe de declividade entre 0-2% cujo espaçamento entre as duas curvas seja maior que 500m.
b= classe de declividade entre 2-5% cujo espaçamento entre as duas curvas esteja entre 500-200m.
c = classe de declividade entre 5-10% cujo espaçamento entre as duas curvas esteja entre 200-100m
d = classe de declividade entre 10-20% cujo espaçamento entre as duas curvas seja maior que 100-50m.
e = classe de declividade maiores que 20% cujo espaçamento medido entre as duas curvas seja menor que 50m.

Figura 4.19 – Ábaco para confecção da Carta de declividades.

Fonte: De Biasi (1970 apud Nishiyama, 1998).

4.6.3 Mapa de Materiais Inconsolidados

O mapa de materiais inconsolidados procura representar, em forma de unidades homogêneas, todos os materiais sobrejacentes à rocha, sejam eles residuais ou transportados, além de apresentar as características quanto á origem, textura, espessura e comportamento laterítico dos níveis de alterações, a partir de perfis típicos para cada unidade de materiais inconsolidados.

As unidades homogêneas foram analisadas e selecionadas conforme descrição do item 4.5.1 .

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 ENSAIOS DE LABORATÓRIO E AVALIAÇÃO DA COLAPSIBILIDADE

A avaliação da colapsibilidade se deu mediante a correlação dos índices de vazios no estado natural e no limite de liquidez conforme a descrição do item 4.4.10 , e os resultados estão apresentados na Tabela 5-1. Observou-se que 83% das amostras coletadas em campo apresentam coeficiente de identificação (K) superiores a 1 e, 17 % são identificados como materiais não plásticos e apresentam uma porosidade elevada, sendo todos materiais caracterizados como colapsíveis.

Tabela 5-1–Avaliação da Colapsibilidade.

Ponto	Prof.	Massa especíca (g/cm³)				Lim. Atterberg (%)			Índice de Vazios		K	W	Sr	n	Conclusão
		γ	γd	γs	γw	LL	LP	IP	e (campo)	e (LL)					
1	1 m	1,236	1,119	2,743	1,00	27,00	19,00	8,00	1,451	0,741	1,96	10,49%	20%	59%	colapsível
	2 m	1,293	1,136	2,743	1,00	27,00	19,00	8,00	1,415	0,741	1,91	13,79%	27%	59%	colapsível
	3 m	1,625	1,395	2,743	1,00	27,00	19,00	8,00	0,967	0,741	1,31	16,55%	47%	49%	colapsível
2	1 m	1,428	1,307	2,711	1,00	24,00	15,00	9,00	1,074	0,651	1,65	9,22%	23%	52%	colapsível
	2 m	1,429	1,323	2,711	1,00	24,00	15,00	9,00	1,048	0,651	1,61	7,94%	21%	51%	colapsível
	3 m	1,329	1,188	2,711	1,00	24,00	15,00	9,00	1,282	0,651	1,97	11,95%	25%	56%	colapsível
3	1 m	1,708	1,357	2,559	1,00	0,00	0,00	NP	0,886	0,000	0,00	25,92%	75%	47%	NP
	2 m	1,642	1,564	2,559	1,00	0,00	0,00	NP	0,636	0,000	0,00	4,94%	20%	39%	NP
	3 m	-	-	-	1,00	0,00	0,00	NP	0,000	0,000	0,00	-	-	-	NP
4	1 m	1,513	1,347	2,691	1,00	26,00	18,00	8,00	0,998	0,700	1,43	12,29%	33%	50%	colapsível
	2 m	1,500	1,322	2,691	1,00	26,00	18,00	8,00	1,036	0,700	1,48	13,52%	35%	51%	colapsível
	3 m	1,534	1,302	2,691	1,00	26,00	18,00	8,00	1,067	0,700	1,52	17,86%	45%	52%	colapsível
5	1 m	1,649	1,414	2,677	1,00	23,00	16,00	7,00	0,893	0,616	1,45	16,56%	50%	47%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	23,00	16,00	7,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	1,393	1,212	2,677	1,00	23,00	16,00	7,00	1,209	0,616	1,96	14,90%	33%	55%	colapsível
6	1 m	1,616	1,379	2,614	1,00	0,00	0,00	NP	0,896	0,000	0,00	17,16%	50%	47%	NP
	2 m	1,823	1,491	2,614	1,00	0,00	0,00	NP	0,754	0,000	0,00	22,30%	77%	43%	NP
	3 m	-	-	-	1,00	0,00	0,00	NP	0,000	0,000	0,00	-	-	-	NP
7	1 m	1,637	1,473	2,623	1,00	23,00	16,00	7,00	0,780	0,603	1,29	11,12%	37%	44%	colapsível
	2 m	1,594	1,445	2,623	1,00	23,00	16,00	7,00	0,815	0,603	1,35	10,30%	33%	45%	colapsível
	3 m	1,599	1,423	2,623	1,00	23,00	16,00	7,00	0,844	0,603	1,40	12,41%	39%	46%	colapsível
8	1 m	1,353	1,157	2,556	1,00	28,00	19,00	9,00	1,210	0,716	1,69	16,98%	36%	55%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	28,00	19,00	9,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	-	-	-	1,00	28,00	19,00	9,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-

continuação

9	1 m	1,399	1,352	2,556	1,00	29,00	17,00	12,00	0,890	0,741	1,20	3,43%	10%	47%	colapsível
	2 m	1,405	1,272	2,556	1,00	29,00	17,00	12,00	1,010	0,741	1,36	10,40%	26%	50%	colapsível
	3 m	1,469	1,131	2,556	1,00	29,00	17,00	12,00	1,260	0,741	1,70	29,88%	61%	56%	colapsível
10	1 m	1,688	1,427	2,568	1,00	0,00	0,00	NP	0,800	0,000	0,00	18,26%	59%	44%	NP
	2 m	2,094	1,652	2,568	1,00	0,00	0,00	NP	0,555	0,000	0,00	26,76%	100%	36%	NP
	3 m	-	-	-	1,00	0,00	0,00	NP	0,000	0,000	0,00	-	-	-	NP
11	1 m	1,587	1,378	2,665	1,00	23,00	17,00	6,00	0,934	0,613	1,52	15,23%	43%	48%	colapsível
	2 m	1,612	1,371	2,665	1,00	23,00	17,00	6,00	0,944	0,613	1,54	17,56%	50%	49%	colapsível
	3 m	1,645	1,390	2,665	1,00	23,00	17,00	6,00	0,918	0,613	1,50	18,36%	53%	48%	colapsível
12	1 m	1,482	1,170	2,732	1,00	34,00	15,00	9,00	1,335	0,929	1,44	26,62%	55%	57%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	34,00	15,00	9,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	-	-	-	1,00	34,00	15,00	9,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
13	1 m	-	-	2,702	1,00	21,00	14,00	7,00	0,000	0,567	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,702	1,00	21,00	14,00	7,00	0,000	0,567	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,702	1,00	21,00	14,00	7,00	0,000	0,567	0,00		-	-	-
14	1 m	1,696	1,502	2,548	1,00	0,00	0,00	NP	0,696	0,000	0,00	12,91%	47%	41%	NP
	2 m	1,718	1,487	2,548	1,00	0,00	0,00	NP	0,714	0,000	0,00	15,55%	56%	42%	NP
	3 m	-	-	-	1,00	0,00	0,00	NP	0,000	0,000	0,00	-	-	-	NP
15	1 m	1,673	1,423	2,618	1,00	0,00	0,00	NP	0,840	0,000	0,00	17,53%	55%	46%	NP
	2 m	-	-	-	1,00	0,00	0,00	NP	0,000	0,000	0,00	-	-	-	NP
	3 m	-	-	-	1,00	0,00	0,00	NP	0,000	0,000	0,00	-	-	-	NP
16	1 m	1,586	1,421	2,540	1,00	0,00	0,00	NP	0,788	0,000	0,00	11,67%	38%	44%	NP
	2 m	1,593	1,423	2,540	1,00	0,00	0,00	NP	0,784	0,000	0,00	11,94%	39%	44%	NP
	3 m	1,687	1,503	2,540	1,00	0,00	0,00	NP	0,690	0,000	0,00	12,28%	45%	41%	NP
17	1 m	-	-	2,613	1,00	21,00	17,00	4,00	0,000	0,549	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,613	1,00	21,00	17,00	4,00	0,000	0,549	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,613	1,00	21,00	17,00	4,00	0,000	0,549	0,00		-	-	-
18	1 m	2,243	1,827	2,540	1,00	0,00	0,00	NP	0,390	0,000	0,00	22,81%	100%	28%	NP
	2 m	-	-	-	1,00	0,00	0,00	NP	0,000	0,000	0,00	-	-	-	NP
	3 m	-	-	-	1,00	0,00	0,00	NP	0,000	0,000	0,00	-	-	-	NP
19	1 m	1,538	1,378	2,656	1,00	0,00	0,00	NP	0,928	0,000	0,00	11,62%	33%	48%	NP
	2 m	1,653	1,465	2,656	1,00	0,00	0,00	NP	0,813	0,000	0,00	12,83%	42%	45%	NP
	3 m	1,809	1,573	2,656	1,00	0,00	0,00	NP	0,688	0,000	0,00	15,00%	58%	41%	NP
20	1 m	1,534	1,378	2,650	1,00	21,00	12,00	9,00	0,922	0,556	1,66	11,26%	32%	48%	colapsível
	2 m	1,530	1,373	2,650	1,00	21,00	12,00	9,00	0,929	0,556	1,67	11,39%	32%	48%	colapsível
	3 m	1,614	1,449	2,650	1,00	21,00	12,00	9,00	0,829	0,556	1,49	11,40%	36%	45%	colapsível
21	1 m	1,275	1,161	2,825	1,00	24,00	15,00	9,00	1,434	0,678	2,11	9,83%	19%	59%	colapsível
	2 m	1,595	1,447	2,825	1,00	24,00	15,00	9,00	0,952	0,678	1,40	10,24%	30%	49%	colapsível
	3 m	1,540	1,389	2,825	1,00	24,00	15,00	9,00	1,034	0,678	1,53	10,89%	30%	51%	colapsível
22	1 m	-	-	-	1,00	26,00	15,00	11,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	2 m	1,630	1,442	2,990	1,00	26,00	15,00	11,00	1,073	0,777	1,38	12,99%	36%	52%	colapsível
	3 m	1,653	1,423	2,990	1,00	26,00	15,00	11,00	1,102	0,777	1,42	16,21%	44%	52%	colapsível
23	1 m	1,585	1,441	2,924	1,00	21,00	15,00	6,00	1,030	0,614	1,68	10,03%	28%	51%	colapsível
	2 m	1,612	1,503	2,924	1,00	21,00	15,00	6,00	0,945	0,614	1,54	7,23%	22%	49%	colapsível
	3 m	1,634	1,516	2,924	1,00	21,00	15,00	6,00	0,930	0,614	1,51	7,81%	25%	48%	colapsível
24	1 m	1,785	1,537	2,866	1,00	23,00	16,00	7,00	0,864	0,659	1,31	16,13%	53%	46%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	23,00	16,00	7,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	-	-	-	1,00	23,00	16,00	7,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
25	1 m	-	-	2,746	1,00	23,00	14,00	9,00	0,000	0,632	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,746	1,00	23,00	14,00	9,00	0,000	0,632	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,746	1,00	23,00	14,00	9,00	0,000	0,632	0,00		-	-	-
26	1 m	-	-	2,600	1,00	30,00	18,00	12,00	0,000	0,780	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,600	1,00	30,00	18,00	12,00	0,000	0,780	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,600	1,00	30,00	18,00	12,00	0,000	0,780	0,00		-	-	-
27	1 m	1,608	1,382	2,646	1,00	29,00	18,00	11,00	0,915	0,767	1,19	16,37%	47%	48%	colapsível
	2 m	1,566	1,339	2,646	1,00	29,00	18,00	11,00	0,976	0,767	1,27	16,99%	46%	49%	colapsível
	3 m	-	-	-	1,00	29,00	18,00	11,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
28	1 m	1,528	1,294	2,643	1,00	29,00	16,00	13,00	1,044	0,767	1,36	18,11%	46%	51%	colapsível
	2 m	1,521	1,284	2,643	1,00	29,00	16,00	13,00	1,059	0,767	1,38	18,46%	46%	51%	colapsível
	3 m	-	-	-	1,00	29,00	16,00	13,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
29	1 m	1,938	1,667	2,672	1,00	21,00	16,00	5,00	0,603	0,561	1,07	16,31%	72%	38%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	21,00	16,00	5,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	-	-	-	1,00	21,00	16,00	5,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
30	1 m	1,386	1,140	2,712	1,00	31,00	21,00	10,00	1,378	0,841	1,64	21,53%	42%	58%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	31,00	21,00	10,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	-	-	-	1,00	31,00	21,00	10,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-

continuação

31	1 m	1,455	1,180	3,002	1,00	31,00	24,00	7,00	1,543	0,931	1,66	23,26%	45%	61%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	31,00	24,00	7,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	-	-	-	1,00	31,00	24,00	7,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
32	1 m	1,733	1,361	3,191	1,00	35,00	23,00	12,00	1,345	1,117	1,20	27,34%	65%	57%	colapsível
	2 m	1,842	1,432	3,191	1,00	35,00	23,00	12,00	1,229	1,117	1,10	28,65%	74%	55%	colapsível
	3 m	-	-	-	1,00	35,00	23,00	12,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
33	1 m	-	-	2,905	1,00	18,00	14,00	4,00	0,000	0,523	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,905	1,00	18,00	14,00	4,00	0,000	0,523	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,905	1,00	18,00	14,00	4,00	0,000	0,523	0,00		-	-	-
34	1 m	1,543	1,243	2,776	1,00	34,00	24,00	10,00	1,234	0,944	1,31	24,19%	54%	55%	colapsível
	2 m	1,603	1,291	2,776	1,00	34,00	24,00	10,00	1,150	0,944	1,22	24,22%	58%	53%	colapsível
	3 m	-	-	-	1,00	34,00	24,00	10,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
35	1 m	1,504	1,263	2,918	1,00	35,00	28,00	7,00	1,311	1,021	1,28	19,08%	42%	57%	colapsível
	2 m	1,531	1,267	2,918	1,00	35,00	28,00	7,00	1,303	1,021	1,28	20,80%	47%	57%	colapsível
	3 m	1,584	1,306	2,918	1,00	35,00	28,00	7,00	1,234	1,021	1,21	21,26%	50%	55%	colapsível
36	1 m	1,504	1,263	2,871	1,00	39,00	25,00	14,00	1,273	1,120	1,14	19,08%	43%	56%	colapsível
	2 m	1,531	1,267	2,871	1,00	39,00	25,00	14,00	1,266	1,120	1,13	20,80%	47%	56%	colapsível
	3 m	1,584	1,306	2,871	1,00	39,00	25,00	14,00	1,197	1,120	1,07	21,26%	51%	54%	colapsível
37	1 m	1,311	1,079	2,990	1,00	38,00	31,00	7,00	1,772	1,136	1,56	21,49%	36%	64%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	38,00	31,00	7,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	-	-	-	1,00	38,00	31,00	7,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
38	1 m	-	-	2,944	1,00	33,00	26,00	7,00	0,000	0,972	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,944	1,00	33,00	26,00	7,00	0,000	0,972	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,944	1,00	33,00	26,00	7,00	0,000	0,972	0,00		-	-	-
39	1 m	1,470	1,295	2,897	1,00	21,00	16,00	5,00	1,237	0,608	2,03	13,49%	32%	55%	colapsível
	2 m	1,488	1,287	2,897	1,00	21,00	16,00	5,00	1,250	0,608	2,06	15,58%	36%	56%	colapsível
	3 m	-	-	-	1,00	21,00	16,00	5,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
40	1 m	1,464	1,193	2,752	1,00	39,00	24,00	15,00	1,306	1,073	1,22	22,65%	48%	57%	colapsível
	2 m	1,532	1,243	2,752	1,00	39,00	24,00	15,00	1,213	1,073	1,13	23,26%	53%	55%	colapsível
	3 m	-	-	-	1,00	39,00	24,00	15,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
41	1 m	1,422	1,150	2,870	1,00	34,00	24,00	10,00	1,496	0,976	1,53	23,63%	45%	60%	colapsível
	2 m	1,413	1,132	2,870	1,00	34,00	24,00	10,00	1,536	0,976	1,57	24,85%	46%	61%	colapsível
	3 m	1,516	1,176	2,870	1,00	34,00	24,00	10,00	1,441	0,976	1,48	28,94%	58%	59%	colapsível
42	1 m	-	-	2,972	1,00	33,00	23,00	10,00	0,000	0,981	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,972	1,00	33,00	23,00	10,00	0,000	0,981	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,972	1,00	33,00	23,00	10,00	0,000	0,981	0,00		-	-	-
43	1 m	1,329	1,056	2,750	1,00	46,00	29,00	17,00	1,603	1,265	1,27	25,80%	44%	62%	colapsível
	2 m	-	-	-	1,00	46,00	29,00	17,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	3 m	-	-	-	1,00	46,00	29,00	17,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
44	1 m	1,301	1,009	2,750	1,00	50,00	32,00	18,00	1,724	1,375	1,25	28,89%	46%	63%	colapsível
	2 m	1,333	1,019	2,750	1,00	50,00	32,00	18,00	1,699	1,375	1,24	30,78%	50%	63%	colapsível
	3 m	-	-	-	1,00	50,00	32,00	18,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
45	1 m	-	-	2,900	1,00	42,00	29,00	13,00	0,000	1,218	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,900	1,00	42,00	29,00	13,00	0,000	1,218	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,900	1,00	42,00	29,00	13,00	0,000	1,218	0,00		-	-	-
46	1 m	-	-	2,900	1,00	39,00	31,00	8,00	0,000	1,131	0,00		-	-	-
	2 m	-	-	2,900	1,00	39,00	31,00	8,00	0,000	1,131	0,00		-	-	-
	3 m	-	-	2,900	1,00	39,00	31,00	8,00	0,000	1,131	0,00		-	-	-
47	1 m	-	-	-	1,00	51,00	32,00	19,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-
	2 m	1,327	1,088	2,750	1,00	51,00	32,00	19,00	1,528	1,403	1,09	22,03%	40%	60%	colapsível
	3 m	-	-	-	1,00	51,00	32,00	19,00	0,000	0,000	0,00	-	-	-	-

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de Análise granulométrica conjunta, Limites de Atteberg, Compactação à energia normal, bem como, suas respectivas classificações (granulométrica, HRB e Unificada) estão apresentadas Tabela 5-2.

Tabela 5-2–Resultados dos ensaios de classificação e caracterização dos materiais inconsolidados.

Pontos	Granulometria % (ABNT)										Limites de Atterbcrg (%)				Proctor Normal		ρs		Classificação		
	que passa				Argila	Silte	Areia			Pedreg	LL	LP	IP	IG	ρ Max	WOT	(g/cm3)	Pontos	Granulometrica	H.R.B. (AASHO)	Unificada (SUCS)
	# 4	# 10	# 40	# 200			Fina	Média	Grossa						(g/cm3)	(%)					
1	99,99	99,58	95,61	42,75	33	7	36	22	2	0	27	19	8	2	1,850	13,40	2,743	1	Areia fina argilosa	A-4 - Solo siltoso	SC-SM - Areia argilo-siltosa
2	100,00	99,77	96,39	36,71	25	8	40	24	3	0	24	15	9	1	1,928	12,00	2,711	2	Areia fina argilosa	A-4 - Solo siltoso	SC - Areia argilosa
3	100,00	99,44	93,66	30,74	15	13	39	28	4	1	-	-	NP	0	1,832	13,30	2,559	3	Areia fina argilo-siltosa	A-3 - Areia fina	SM - Areia siltosa
4	99,98	99,88	93,92	39,79	31	6	31	29	3	0	26	18	8	1	1,845	14,90	2,691	4	Areia fina à média argilosa	A-4 - Solo siltoso	SC-SM - Areia argilo-siltosa
5	100,00	99,87	94,14	40,22	29	7	34	27	3	0	23	16	7	2	1,883	13,40	2,677	5	Areia fina à média argilosa	A-4 - Solo siltoso	SC-SM - Areia argilo-siltosa
6	99,77	99,33	93,09	31,62	19	9	35	32	4	1	-	-	NP	0	1,905	14,80	2,614	6	Areia fina à média argilosa	A-3 - Areia fina	SM - Areia siltosa
7	99,79	99,34	94,04	40,00	29	8	35	23	4	1	23	16	7	1	1,892	13,00	2,623	7	Areia fina argilosa	A-4 - Solo siltoso	SC-SM - Areia argilo-siltosa
8	94,64	92,08	83,02	45,44	31	12	21	24	4	8	28	19	9	3	1,790	17,50	2,802	8	Areia média à fina argilo-siltosa	A-4 - Solo siltoso	SC - Areia argilosa
9	100,00	99,89	86,88	39,78	22	14	26	32	6	0	29	17	12	2	1,809	15,50	2,556	9	Areia média à fina argilo-siltosa	A-6 - Solo Argiloso	SC - Areia argilosa
10	99,93	99,37	93,05	27,98	17	8	35	36	3	1	-	-	NP	0	1,927	11,30	2,568	10	Areia média à fina argilosa	A-3 - Areia fina	SM - Areia siltosa
11	99,98	99,74	93,48	38,98	31	5	34	27	3	0	23	17	6	1	1,900	14,40	2,665	11	Areia fina argilosa	A-4 - Solo siltoso	SC - Areia argilosa
12	99,50	98,09	96,26	56,60	38	17	27	15	1	2	34	15	9	5	1,695	18,50	2,732	12	Areia fina argilo-siltosa	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
13	96,71	93,44	90,25	32,05	25	6	33	28	2	6	21	14	7	0	1,905	12,00	2,702	13	Areia fina à média argilosa	A-2-4 - Areia siltosa e argilosa	SC-SM - Areia argilo-siltosa
14	99,80	99,26	92,36	23,43	17	5	38	36	3	1	-	-	NP	0	1,945	10,70	2,548	14	Areia fina à média argilosa	A-3 - Areia fina	SM - Areia siltosa
15	99,94	99,45	96,66	28,06	24	3	40	30	2	1	-	-	NP	0	1,905	10,50	2,618	15	Areia fina argilosa	A-3 - Areia fina	SM - Areia siltosa
16	100,00	99,40	93,81	29,75	14	12	42	27	4	1	-	-	NP	0	1,968	10,75	2,540	16	Areia fina argilo-siltosa	A-3 - Areia fina	SM - Areia siltosa
17	100,00	99,57	94,54	33,78	25	8	37	27	3	0	21	17	4	0	1,903	11,60	2,613	17	Areia fina argilosa	A-2-4 - Areia siltosa e argilosa	SC-SM - Areia argilo-siltosa
18	98,79	97,89	92,11	26,73	17	6	50	22	3	2	-	-	NP	0	1,920	9,40	2,540	18	Areia fina argilosa	A-3 - Areia fina	SM - Areia siltosa
19	99,83	98,76	92,71	30,40	22	7	37	29	3	2	-	-	NP	0	1,935	11,50	2,656	19	Areia fina à média argilosa	A-3 - Areia fina	SM - Areia siltosa
20	100,00	99,87	92,83	31,45	17	14	35	31	3	0	21	12	9	0	1,945	11,70	2,650	20	Areia fina à média argilo-siltosa	A-2-4 - Areia siltosa e argilosa	SC - Areia argilosa
21	100,00	99,99	64,80	27,74	22	5	14	46	13	0	24	15	9	0	1,945	11,00	2,825	21	Areia média à fina argilosa	A-2-4 - Areia siltosa e argilosa	SC - Areia argilosa
22	100,00	99,71	84,57	35,52	24	10	22	38	6	0	26	15	11	1	1,910	13,00	2,990	22	Areia média à fina argilosa	A-6 - Solo Argiloso	SC - Areia argilosa
23	99,49	99,49	93,37	28,45	21	6	40	29	3	1	21	15	6	0	1,928	11,00	2,924	23	Areia fina argilosa	A-2-4 - Areia siltosa e argilosa	SC-SM - Areia argilo-siltosa
24	99,54	98,75	92,41	33,66	16	14	36	30	3	1	23	16	7	0	1,855	11,75	2,866	24	Areia fina à média argilo-siltosa	A-2-4 - Areia siltosa e argilosa	SC-SM - Areia argilo-siltosa
25	100,00	99,94	94,78	32,05	19	10	40	29	2	0	23	14	9	0	1,840	13,30	2,746	25	Areia fina argilosa	A-2-4 - Areia siltosa e argilosa	SC - Areia argilosa
26	100,00	99,86	91,47	46,59	23	18	26	29	4	0	30	18	12	3	1,705	16,00	2,600	26	Areia fina à média argilo-siltosa	A-6 - Solo Argiloso	CL - Argila pouco plástica
27	100,00	99,88	92,94	56,32	49	6	12	30	3	0	29	18	11	5	1,845	13,80	2,646	27	Argila arenosa	A-6 - Solo Argiloso	CL - Argila pouco plástica
28	99,99	99,87	92,10	57,36	51	5	13	28	3	0	29	16	13	6	1,900	13,90	2,643	28	Argila arenosa	A-6 - Solo Argiloso	CL - Argila pouco plástica
29	99,49	98,02	92,57	40,09	23	15	32	25	3	2	21	16	5	2	1,815	14,90	2,672	29	Areia fina à média argilo-siltosa	A-4 - Solo siltoso	SC-SM - Areia argilo-siltosa
30	100,00	99,97	91,81	71,27	31	40	5	20	4	0	31	21	10	8	1,710	17,60	2,712	30	Silte argilo-arenoso	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
31	99,62	98,67	94,35	71,81	48	24	10	14	3	1	31	24	7	8	1,640	21,50	3,002	31	Argila areno-siltosa	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
32	99,90	99,56	94,18	75,43	44	32	8	14	2	0	35	23	12	9	1,695	20,00	3,191	32	Argila silte-arenosa	A-6 - Solo Argiloso	CL - Argila pouco plástica
33	99,91	98,37	92,10	45,32	33	11	31	21	2	2	18	14	4	3	1,938	11,20	2,905	33	Areia fina argilo-siltosa	A-4 - Solo siltoso	SC-SM - Areia argilo-siltosa
34	100,00	99,98	83,38	74,87	35	39	6	12	8	0	34	24	10	8	1,670	19,60	2,776	34	Silte argilo-arenoso	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
35	100,00	99,60	78,57	55,86	46	10	9	26	9	0	35	28	7	5	1,910	9,30	2,918	35	Argila arenosa	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
36	99,94	99,91	90,51	73,40	56	17	7	16	4	0	39	25	14	10	1,655	17,00	2,871	36	Argila areno-siltosa	A-6 - Solo Argiloso	CL - Argila pouco plástica
37	99,76	99,60	90,72	72,31	48	23	10	15	4	0	38	31	7	8	1,525	22,40	2,990	37	Argila areno-siltosa	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
38	100,00	99,60	78,47	58,54	42	16	7	25	10	0	33	26	7	5	1,684	18,00	2,944	38	Argila areno-siltosa	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
39	99,93	98,79	90,93	37,49	26	9	35	25	4	1	21	16	5	1	1,910	13,00	2,897	39	Areia fina argilosa	A-4 - Solo siltoso	SC-SM - Areia argilo-siltosa
40	99,48	95,90	89,36	52,39	41	10	23	18	4	4	39	24	15	6	1,747	17,20	2,752	40	Areia fina à média argilosa	A-6 - Solo Argiloso	CL - Argila pouco plástica
41	99,74	99,74	90,85	62,63	46	17	12	22	3	0	34	24	10	6	1,695	19,60	2,870	41	Argila areno-siltosa	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
42	100,00	100,00	93,13	68,70	50	18	12	18	2	0	33	23	10	7	1,570	23,20	2,972	42	Argila areno-siltosa	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
43	100,00	99,93	92,44	67,29	55	12	10	21	2	0	46	29	17	11	1,653	22,00	2,866	43	Argila areno-siltosa	A-7-6 - Solo argiloso	CL - Argila pouco plástica
44	100,00	99,99	95,89	84,91	69	16	5	8	2	0	50	32	18	14	1,514	27,30	2,735	44	Argila silte-arenosa	A-7-5 - Solo argiloso	CL - Argila pouco plástica
45	100,00	100,00	97,27	84,58	58	26	6	9	1	0	42	29	13	10	1,563	26,70	2,813	45	Argila silte-arenosa	A-7-6 - Solo argiloso	CL - Argila pouco plástica
46	99,97	99,95	95,83	93,01	65	18	5	10	2	0	39	31	8	8	1,450	26,60	2,819	46	Argila silte-arenosa	A-4 - Solo siltoso	CL - Argila pouco plástica
47	100,00	100,00	95,13	86,40	72	15	3	8	2	0	51	32	19	14	1,540	27,50	2,663	47	Argila silte-arenosa	A-7-5 - Solo argiloso	CL - Argila pouco plástica

Os índices referentes à classificação MCT obtidos dos ensaios de Mini-MCV, e perda de massa por imersão, apresentados resumidamente na Tabela 5-3, identificam que os solos analisados possuem um comportamento laterítico do tipo LA e LA'.

Tabela 5-3–Resultados dos ensaios de Mini-MCV e perda por Imerção.

Ponto	Wot (%)	γ_d máx (g/cm³)	Pi (%)	d'	e'	c'	Grupo MCT
13	12,00	1,905	182,50	57,14	0,72	0,50	LA
10	11,30	1,927	120,00	41,70	0,79	0,50	LA
38	18,00	1,684	72,50	72,73	0,66	1,32	LA'
27	13,80	1,845	37,50	62,50	0,69	0,94	LA'
44	27,30	1,514	58,00	45,00	0,77	1,10	LA'

A Tabela 5-4 apresenta os resultados obtidos mediante ensaios de Mini-CBR sem imersão, com imersão, expansão e contração. As amostras ensaiadas apresentaram uma contração média à baixa e, elevados valores de Mini-CBR.

Tabela 5-4–Resultados dos ensaios de Mini-CBR e perda por Imerção.

Ponto	SI (%)	CI (g/cm³)	CI/SI(%)	Expansão	Contração
13	15	12	80	0,04	0,43
10	29	19	66	0,04	0,26
38	20	14	70	0,00	0,80
27	18	13	72	0,03	0,70
44	21	14	67	0,00	0,32

Os resultados obtidos mediante os ensaios de infiltrabilidade e permeabilidade encontram-se apresentados na Tabela 5-5. Os coeficientes de absorção encontrados são praticamente baixo (≤ 2,0 log(cm/√min)), as amostras quando compactadas apresentam baixos coeficientes de permeabilidade (10^{-6} a 10^{-7} cm/s).

Tabela 5-5–Resultados dos ensaios de infiltrabilidade e permeabilidade.

Ponto	Infiltrabilidade (Log s (cm/√min))	Permeabilidade (Log k (cm/s))
13	-2,3	-6,2
10	-2,6	-6,9
38	-2,0	-6,3
27	-2,6	-6,9
44	-2,5	-6,0

5.2 CARTA DE DECLIVIDADES

Como resultado final desta carta, pode-se observar o predomínio das baixas classes de declividade (0 a 5%). As classes < 2% encontram-se, preferencialmente, associadas às

situações de planície aluvionar e de topo, situadas na margem direita do rio Uberabinha, e de 2 a 5% são representadas por grandes porções, distribuídas em toda área de estudo, conforme Carta de declividade no Anexo II.

As classes média baixa (5 a 10%), média alta (10 a 20%) e alta (> 20%) encontram-se, associadas às vertentes dos vales dos córregos da região estudada e do rio Uberabinha. As classes de 5 a 10% destacam-se dentre as demais nestas áreas, principalmente na margem esquerda do rio Uberabinha.A Tabela 5-6 apresenta as classes de declividades definidas em função das recomendações do uso e restrições e /ou problemas esperados segundo o Instituto Geológico (1993).

Tabela 5-6–Classes de declividades como fator limitante para determinados tipos de uso.

Classes de Declividade	Recomendações do uso e restrições e/ou problemas esperados
<2% Terrenos planos ou quase planos, onde o escoamento superficial é muito lento ou lento.	▪ Favorável a implantação de aeroportos internacionais. ▪ Favorável a atividade agrícola intensiva e ao uso de maquinas agrícolas. ▪ Áreas impróprias às instalações de obras de saneamento e canalizações subterrâneas de água. ▪ Áreas sujeitas à inundação.
2-5% Terrenos com declividades suaves nos quais o escoamento superficial e lento ou médio e os problemas de erosão requerem práticas simples de conservação.	▪ Favorável ao uso agrícola mecanizado. ▪ Favorável a implantação de aeroportos locais, rodovias e ferrovias principais.
5-10% Terrenos inclinados, geralmente com relevo ondulado, nos quais o escoamento superficial e médio e rápido, porem com poucos problemas de erosão superficial.	▪ Exige práticas simples de conservação, exceto no caso de utilização agrícola intensiva, onde medidas mais complexas devem ser adotadas. ▪ Corresponde ao limite máximo para a implantação de saneamento, ferrovias e industrias. ▪ Favorável ao uso de máquinas agrícolas.
10-20% Terrenos muito inclinados ou colinosos, onde o escoamento superficial é rápido ou muito rápido. Apresentam problemas de erosão superficial, exceto quando ocorrem solos permeáveis e pouco arenosos.	▪ Propício para o uso de máquinas agrícolas, ainda que com dificuldade. ▪ Áreas recomendadas para culturas perenes, pastagens ou reflorestamentos. ▪ Limite de vias principais e loteamentos perpendiculares às curvas de nível. ▪ Limite máximo para a implantação de projeto de engenharia simples e pouco complexos. ▪ Propício para a implantação do sistema viário local. ▪ Propício a implantação de lotes paralelos às curvas de nível. Classe limitante para a implantação de residências individuais e estradas.
20-25% Terrenos fortemente inclinados com escoamento superficial muito rápido, e com problemas de erosão superficial.	▪ Classe limite para estruturas de engenharia.

Fonte: Instituto Geológico (1993).

5.3 MAPA DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Com base nos resultados da foto-interpretação, nas anotações descritas nas fichas de campo, nos resultados obtidos dos ensaios de laboratório apresentados na Tabela 5-2 e no mapa de materiais inconsolidados existentes da região em escala de 1:100.000 (Nishiyama, 1998), foram identificadas 9 unidades geotécnicas de materiais inconsolidados e elaborado o mapa das respectivas unidades geotécnicas que está apresentado no Anexo III.

Para a caracterização das unidades foram adotadas como padrão as siglas e descrições do mapa de materiais inconsolidados de Nishiyama (1998). Na seqüência, são apresentadas as características de cada unidade.

5.3.1 Unidade 1 - Residuais de pequena espessura da Formação Serra Geral (RSG-I).

A unidade 1 corresponde à aproximadamente 3% da área estudada e, aos seguintes pontos amostrados: O/A-8 e O/A-31 . Encontra-se em sua maior parte, localizada nas vertentes do vale fluvial do rio Uberabinha e nos demais vales dos córregos da área estudada. Ocorre sob condições de declividades relativamente moderadas (5-10%).

Os materiais inconsolidados desta unidade têm a sua origem a partir dos basaltos da formação Serra Geral. Apresentam pequenas espessuras (inferiores a 2m), sendo que muitas vezes podem conter fragmentos arredondados de basalto em avançado estado de decomposição conforme ilustração da Figura 5.1. Evidenciam um comportamento laterítico LA'(Argilas arenosas lateríticas) e apresentam valores mediamente altos de limite de liquidez e plasticidade (LL= 28-31%, LP= 19-24% e IP= 7-9%) sendo caracterizados como materiais moderadamente plásticos.

As faixas de valores mínimos e máximos das frações argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente: 31-48%, 12-24%, 27-49% e 1-8%, sendo classificados texturalmente como areia média à fina argilo-siltosa a argila areno-siltosa apresentando coloração arroxeada, vermelho-escura e ocre-amarelada.

Figura 5.1 – Vista parcial e perfil de alteração estabelecido para a Unidade 1.

Os resultados obtidos mediante ensaios de laboratório, ensaios "in situ" e o uso de fórmulas de correlação são apresentados, em termo de seus valores mínimos e máximos, na Tabela 5-7.

Tabela 5-7–Características apresentadas pela Unidade 1.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Residual	1-2	Areia média à fina argilo siltosa e Argila areno-siltosa	LA'	1,35-1,46	1,15-1,18	2,55-3,00	17-24	36-45	55-61	0,7-0,9

5.3.2 Unidade 2 - Materiais hidromórficos (H)

A Unidade 2 ocupa 5% da área estudada e está localizada no fundo dos vales dos córregos que deságuam no rio Uberabinha. Evoluem em condições de declividades medianas a relativamente baixas (0-10%), sendo comum à presença de camadas orgânicas decimétricas a métricas e evidente hidromorfismo, ou seja, a redução do ferro sob influência hídrica em ambiente mal drenado.

Esta unidade está representada pelos seguintes pontos de amostragem: O/A-3, O/A-6, O/A-15, O/A-18, O/A-21, O/A-24, O/A-26 e O/A-40.

Os materiais inconsolidados assim caracterizados são predominantes das contribuições dos arenitos da formação Marília que sofreram erosão e transporte para o fundo dos vales, onde as espessuras são variáveis entre 2 e 5m. Estes materiais evidenciam um comportamento laterítico LA (areias com pouca argila laterítica) e são caracterizados como não plásticos.

As faixas de valores mínimos e máximos das frações argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente: 15-41%, 3-18%, 45-75% e 0-4%, sendo classificados texturalmente como areia fina à média argilosa, apresentado coloração amarelada, ocre e branco-acinzentada.

A vista parcial bem como o detalhe típico do perfil desta unidade está ilustrada na Figura 5.2.

Figura 5.2 – Vista parcial de uma área típica de ocorrência de materiais hidromórficos e perfil para a Unidade 2.

A Tabela 5-8 evidencia os resultados dos índices físicos, ensaios de laboratório e ensaios "in situ" em termo de valores mínimos e máximos.

Tabela 5-8– Características apresentadas pela Unidade 2.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Retrabalhado	1-2	Areia média a fina argilosa	LA	1,54-2,25	1,36-1,83	2,54-2,66	12-27	33-148	28-48	0,4-0,9

5.3.3 Unidade 3 – Residual da Formação Marília _Arenoso (RMA-AR I)

A unidade 3 corresponde a 43% da área mapeada, distribuída, em sua maior parte, na vertente direta do rio Uberabinha e porções elevadas dos divisores de água. Encontrando-se nas cotas altimétricas entre 790 e 890 m e sob condições de declividades baixas (0-5%), sendo representada pelos seguintes pontos de amostragem: O/A-1, O/A-2, O/A-4, O/A-5, O/A-7, O/A-9, O/A-11, O/A-13, O/A-14, O/A-16, O/A-17, O/A-19, O/A-20, O/A-29, O/A-30 O/A-33, O/A-34, O/A-35, O/A-36, O/A-37, O/A-38, O/A-39, O/A-41, O/A-42 e O/A-46.

Os materiais inconsolidados desta unidade são geneticamente relacionados aos arenitos da formação Marília. Apresentam camadas superiores à 5m, mas que raramente passam do limite de 10m. Estes materiais possuem um comportamento laterítico LA' (areias argilosas) e apresentam valores baixos de liquidez e plasticidade (LL=18-38%, LP=14-31% e IP=4-10%) sendo desse modo, caracterizados como materiais pouco plásticos.

As faixas de valores mínimos e máximos das frações argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente: 14-65%, 5-40%, 17-77% e 0-6%, sendo classificados texturalmente como argila areno-siltosa, argila arenosa, silte argilo-arenoso, areia fina a média argilosa. Apresentado coloração em diferentes matrizes de vermelho, sendo caracterizadas segundo MUNSELL COLOR CHART (1946), entre 2,5 a 5YR. A vista parcial desta unidade bem como o seu perfil típico está apresentado na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Vista parcial do setor norte como perfil típico da Unidade 3

Os resultados dos índices físicos, ensaios "in situ" e de laboratório são apresentados em termos de valores mínimos e máximo na Tabela 5-9

Tabela 5-9–Características apresentadas para a Unidade 3.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Retrabalhado	5-10	Argila areno-siltosa, argila arenosa e silte arenoso, areia fina a média argilosa.	LA e LA'	1,24-1,94	1,08-1,67	2,56-3,00	8-29	20-72	38-64	0,8-1,8

5.3.4 Unidade 4 - Materiais Residuais da Formação Marília (RMA-Arg).

A Unidade 4 ocorre, preferencialmente, na porção oeste da área estudada, ocupando cerca de 12% da mesma, sendo representada pelos seguintes pontos de amostragem: O/A-22, O/A-25, O/A-27, O/A-28. Topograficamente, situa-se entre as cotas 840 e 870m, sob declividades que podem ser consideradas baixas (0-5%). Diferenciam-se das demais unidades residuais por apresentarem maiores porcentagens de fração argila. No campo observa-se a passagem mais ou menos gradual para materiais arenosos da unidade 8, principalmente quando se desloca das cotas mais altas para as cotas mais baixas das encostas fluviais.

Os materiais inconsolidados dessa unidade resultam das contribuições dos arenitos da formação Marília. Apresentam espessuras variáveis entre 5 a 10 m; entretanto, espessuras maiores do que o limite superior do intervalo pode ocorrer. Estes materiais evidenciam um comportamento laterítico LA' (areias argilosas lateríticas) e apresentam valores mínimo e máximo, de Limite de Liquidez e Plasticidade: LL=23-29%, LP=14-18% e IP=9-13% sendo caracterizados como materiais pouco plásticos.

As faixas de valores mínimos e máximos das frações argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente: 19-51%, 5-10%, 44-71% e 0%, sendo classificados texturalmente como argila arenosa, areia média a fina argilosa. Apresenta uma coloração vermelho-amarelada que segundo a MUNSELL COLOR CHART corresponde a 5,0 YR. Pode ser observado na Figura 5.4 uma vista parcial e perfil típico de ocorrência desta unidade.

Figura 5.4 – Vista parcial do setor oeste e perfil de alteração da Unidade 4

Os resultados dos índices obtidos via ensaios de laboratório e fórmulas de correlação encontram-se expressados nos intervalos mínimo e máximos na Tabela 5-10.

Tabela 5-10–Características apresentadas na Unidade 4.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Residual	5-10	Argila arenosa, areia média a fina argilosa.	LA'	1,52-1,65	1,28-1,44	2,64-2,99	13-19	26-74	48-52	0,9-1,1

5.3.5 Unidade 5 - Material retrabalhado argiloso II_ Cobertura de Chapada.

A Unidade 5 está situada em sua maior parte no setor leste da área estudada compreende cerca de 22% da superfície total, e está representada pelos seguintes pontos de amostragem: O/A-43, O/A-44, O/A-45 e O/A-47. Desenvolve-se sobre as porções topograficamente mais elevadas, ocupando níveis altimétricos que variam de 870m e 950m.

O relevo na área de ocorrência da unidade é plano, caracterizado por superfícies amplas de chapadas, e apresenta baixas declividades situadas nos intervalos de 0-5%. Nos locais onde as declividades tendem a zero é possível observar a presença de depressões de baixa amplitude e extensão relativamente pequena, as quais retêm água durante o período chuvoso do ano, originando, assim, áreas de alagamento temporário.

As espessuras predominantes encontram-se no intervalo de 5 a 20m conforme ilustração da Figura 5.5. Porém espessuras maiores que o limite superior do intervalo podem ser encontradas.

Os materiais inconsolidados desta unidade podem ser caracterizados como retrabalhados, os quais resultaram de contribuições dos arenitos da formação Marília e, principalmente, dos basaltos da Formação Serra Geral. Estes materiais possuem um comportamento laterítico LA' (areias argilosas lateríticas) e apresentam valores mínimos e máximos de limite de liquidez e plasticidade (LL=42-51%, LP=29-32% e IP=9-13%) sendo caracterizados como materiais plásticos.

Figura 5.5 – Vista parcial do setor leste e perfil típico de alteração da Unidade 5

As faixas de valores mínimos e máximos das frações de argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente: 55-72%, 12-26%, 13-33% e 0%, o que permite classificá-los textualmente como argila arenosa, areia argilosa, apresentado uma coloração variavelmente vermelho-amarelada e vermelho-alaranjada que, segundo MUNSELL COLOR CHART (1946), corresponde a 5,0YR e 2,5YR.

As características obtidas dos ensaios de laboratório, ensaios "in situ" e índices físicos estão apresentados na Tabela 5-11 em intervalo de valores mínimos e máximos.

Tabela 5-11 – Características apresentadas na Unidade 5.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Retrabalhado	5-20	argila arenosa e areia argilosa	LA'	1,30-1,33	1,01-1,09	2,75-2,90	22-31	40-50	60-63	1,5-1,7

5.3.6 Unidade 6 - Material Retrabalhado Argiloso I_ Colúvio das Formações Serra Geral e Marília (Arg-I).

A Unidade 6 corresponde a 13% da área estudada, distribuída sobre uma estreita faixa junto ao terço inferior do vale do rio Uberabinha, conforme Figura 5.6, e limitada pelas cotas altimétricas de 710m e 810m, sob declividades que podem ser consideradas mediamente baixas (5-10%) e, está representada pelos seguintes pontos de amostragem: O/A-12 e O/A-32.

Figura 5.6 – Vista parcial e perfil de alteração estabelecido para a Unidade 6

Os materiais inconsolidados desta unidade podem ser caracterizados como mistos, os quais resultaram tanto de materiais residuais da formação Marília, quanto dos residuais da formação Serra Geral. Apresentam espessuras predominantes entre 2 a 5 m, podendo ocorrer variações com intervalos de 5 a 10 m. Em razão dessa dupla contribuição, apresentam características diferentes em relação aos materiais que lhe deram origem.

Estes materiais evidenciam um comportamento laterítico LA'(Argilas arenosas lateríticas) e apresentam valores máximos e mínimo de Limite de Liquidez e Plasticidade (LL= 28-31%, LP= 19-24% e IP= 7-9%) sendo caracterizados como materiais pouco plásticos.

As faixas de valores mínimos e máximos das frações argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente: 38-44%, 17-32%, 24-43% e 0-2%, sendo classificados texturalmente como areia fina argilo siltosa e argila silto arenosa, podendo-se encontrar, com freqüência, a presença de seixos. A coloração predominante tende ao vermelho-escuro, encontrando-se, também, uma tonalidade mais clara quando há contribuição pelos tipos residuais arenosos da formação Marília.

As características obtidas dos ensaios de laboratório, ensaios "in situ" e índices físicos estão apresentados na Tabela 5-12 em intervalo de valores mínimos e máximos.

Tabela 5-12– Características apresentadas pela Unidade 6.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Retrabalhado	2-5	areia fina argilo siltosa e argila silto arenosa	LA'	1,73-1,84	1,30-1,41	2,91-3,19	27-28	65-74	55-67	1,0-2,1

5.3.7 Unidade 7 – Material Retrabalhado Argiloso (Arg).

A unidade 7 está situada no setor norte da área estudada compreendendo cerca de 0,5% da superfície total. Desenvolve-se sobre os níveis altimétricos que variam de 740m a 770m, sob declividades que podem ser consideradas moderadas (5-10%) e adjacentes a uma outra declividade acentuada, apresentando espessuras que raramente ultrapassam 5 m, de acordo com a Figura 5.7.

Figura 5.7 – Vista parcial e perfil de alteração estabelecido para a Unidade 7

As características obtidas dos ensaios de laboratório, ensaios "in situ" e índices físicos apresentam-se na Tabela 5-13 em intervalo de valores mínimos e máximos. Estes índices físicos, bem como, a classificação granulométrica foi obtida dos ensaios realizados por Nishiyama (1998).

As faixas de valores mínimos e máximos das frações argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente: 37-54%, 28-46%, 13-20% e 0%, sendo classificados textualmente como argilosa e argilo-siltosa, sendo comum encontrar fragmentos de basalto na base das camadas, apresentado uma coloração vermelho-escura.

Tabela 5-13–Características apresentadas pela Unidade 7.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Retrabalhado	2-5	Argilosa e argilo-siltosa.	-	-	0,99-1,23	3,01-3,50	-	-	59-71	1,4-2,4

5.3.8 Unidade 8 - Materiais Residuais da Formação Marília_Arenoso II (RMA-Ar II)

Os materiais da Unidade 8 situam-se numa pequena faixa localizada no sudoeste da cidade de Uberlândia, correspondendo a 1% da área estudada, ocupando níveis altimétricos que variam de 840 a 860m. Apresentam espessuras variáveis entre 5 e 10m, mas, também, espessuras maiores do que o limite superior do intervalo podem ocorrer.

As características que representam esta Unidade encontram-se, nos limites mínimos e máximos, na Tabela 5-14. Estas características físicas e as classificações granulométricas foram obtidas dos ensaios realizados por Nishiyama (1998).

Tabela 5-14 – Características apresentadas pela Unidade 8.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e (%)
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Residual	5-10	Areno argilosa, argila areno siltosa		-	1,25-1,62	2,67-3,05	-	-	41-60	0,8-1,5

As faixas de valores mínimos e máximos das frações argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente: 16-25%, 11-20%, 43-70% e 0%. Desta forma, podem ser classificados texturalmente como areno-argilosa, argila areno-siltosa, argila arenosa, areia fina a média argilosa, apresentando maiores porcentagens de fração de areia que a Unidade 3, com coloração vermelho-amarelada que, segundo MUNSELL COLOR CHART (1946), corresponde ao 5,0YR, vide Figura 5.8.

Figura 5.8 – Vista parcial da região sudoeste na Unidade 8

5.3.9 Unidade 9 - Materiais Retrabalhados Arenosos_Colúvios da Formação Marília (Ar I)

Os materiais que constituem a Unidade 9 correspondem a 0,5% da área mapeada estando situada no sudoeste da área estudada, em especifico, na porção média do vale fluvial do Ribeirão Douradinho. Encontram-se nas cotas altimétricas variáveis entre 780 a 830m, com espessuras das camadas entre 2 a 10m, vide Figura 5.9.

Figura 5.9 – Vista parcial da região sudoeste e perfil típico estabelecido para a Unidade 9

As características que representam esta Unidade encontram-se, nos limites mínimos e máximos, na Tabela 5-15. Estas características físicas e as classificações granulométricas foram obtidas dos ensaios realizados por Nishiyama (1998).

As declividades apresentam-se relativamente elevadas, ou seja, com uma variação de 5 a 10%. Ressalta-se que os materiais coluviais, associados a declividades elevadas, tornam-se susceptíveis ao desenvolvimento de processos erosivos acelerados, quando comparados com os demais tipos arenosos.

As faixas de valores mínimos e máximos das frações argila, silte, areia e pedregulho são respectivamente 17-22%, 11-21%, 59-75% e 0%. Desta forma, podem ser classificados texturalmente como areno-argilosa, apresentado uma coloração vermelho-escura, sendo classificado, segundo MUNSELL COLOR CHART (1946), como 2,5 YR.

Tabela 5-15– Características apresentadas pela Unidade 9.

Horizonte	Espessura (m)	Classificação textural	Classificação MCT	Massa específica			W (%)	Sr (%)	n (%)	e
				γ (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)				
Retrabalhado	2-10	Areno-argilosa, contendo pedregulhos e seixos.	-	-	1,28-1,57	2,73-3,05	-	-	45-58	0,8-1,4

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios permitiram a obtenção de índices físicos que possibilitaram uma melhor caracterização dos materiais inconsolidados da região e, posteriormente, a divisão em 9 unidades geotécnicas.

Com relação às características granulométricas, observa-se a baixa presença de pedregulho e areia grossa, sendo que a porcentagem de pedregulho varia de 0 a 6%, predominando a faixa de 0 a 2% e a de areia grossa de 0 a 13%, ou seja, atendendo a especificação dos solos arenosos finos lateríticos para base de pavimentos, que limita a 5% a porcentagens de grão retidos na peneira de abertura 2,0 mm.

O limite de liquidez varia de 21 a 51% sendo, portanto, solos de baixa compressibilidade. Seguindo critérios baseados em índices físicos ou propriedades de fácil determinação ($K>1$) apresentado por Gibbs and Bara (1967), apud Costa (1986), e por apresentarem elevadas porosidades (41-64%), baixo grau de saturação (10-77%), baixo SPT até a camada de 5m ($N\leq4$), foram identificados de maneira geral, que os materiais da região estudada são colapsíveis. Desta forma, não são recomendadas fundações diretas ou superficiais na área de estudo. Destaca-se o cuidado a ser dispensado quando da construção de obras, em regiões já habitadas, que venham a elevar o nível do lençol freático, causando recalques e danos às construções vizinhas.

Grande parte da área estudada está compreendida por classes de declividades moderadas (0-5%) sendo estas áreas ideais para a urbanização. As porções com declividades elevadas estão situadas nos vales do rio Uberabinha e dos córregos afluentes deste, onde não é permitida a urbanização por estarem inseridas nas zonas de preservação total e parcial.

A Tabela 5-2, no capítulo que traz os resultados, apresenta as classificações granulométricas, HRB e SUCS. A escala granulométrica empregada foi a da NBR6502/95. Nessa escala os solos são classificados entre os intervalos do diâmetro do material passante: Argila < 0,002 mm; Silte de 0,002 a 0,06 mm; Areia Fina de 0,06 a 0,2 mm; Areia Média de 0,2 a 0,6 mm; Areia Grossa de 0,6 a 2 mm; e Pedregulho > 2 mm.

De acordo com a classificação HRB, foram identificados na área de expansão urbana de Uberlândia cinco tipos de solos: A-2-4 - Areia siltosa e argilosa (amostras 13, 17, 20, 21, 23, 24, 25); A-3- Areia fina (amostras 03, 06, 10, 14, 15, 16, 18, 19); A-4- Solo siltoso (amostras 01, 02, 04, 05, 07, 08, 11, 12, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 46); A-6 - Solo Argiloso (amostras 09, 22, 26, 27, 28, 32, 36, 40) e A-7-5 - Solo argiloso (amostras 43, 44, 45, 47). Segundo a classificação SUCS, foram identificados quatro tipos de solos: CL- Argila pouco plástica (amostras 12, 26, 27, 28, 30, 31, 32 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47); SC – Areia argilosa (amostras 02, 08, 09, 11, 20, 21, 22, 25); SM – Areia siltosa (amostras 03, 06, 10, 14, 15, 16, 18, 19) e SC-SM – Areia argilo-siltosa (amostras 01, 04, 05, 07, 13, 17, 23, 24, 29, 33, 39).

A Figura 6.1 apresenta as curvas de distribuição granulométrica das amostras selecionadas para os ensaios da metodologia MCT, juntamente com a faixa indicada para base de solo arenoso fino laterítico (SAFL). Observa-se que a amostra 10 (solo A-3) se enquadra perfeitamente nessa faixa, o que ocorre com as demais amostras do mesmo grupo. A amostra 13 (A-2-4) não se enquadra por possuir 6% de pedregulho, no entanto, as demais amostras do mesmo grupo possuem porcentagem inferior a 2%, mostrando que esses solos poderiam ser utilizados como base de pavimento de SAFL. As amostras 27 (A-6), 38 (A-4) e 44 (A-7-5) não se enquadram na faixa de SAFL. No entanto, por serem do tipo LA e LA', esses solos podem ser empregados em bases de Solo laterítico agregado (SLA), de acordo com Villibor et. al (2000).

A Tabela 5-3(p.82), evidencia que os solos analisados possuem um comportamento laterítico do tipo LA (Areias com pouca argila) ou LA'(areias argilosas e argilas arenosas). Segundo Nogami e Villibor (1995), são os mais indicados para base de pavimento, reforço do sub-leito compactado, subleito compactado, aterro compactado e revestimento primário. Os resultados do Mini-CBR sem imersão e com imersão e

sobrecarga variam, respectivamente, de 15 a 29 % e de 12 a 19%, ambos considerados elevados, vide Tabela 5-4 (p.82).

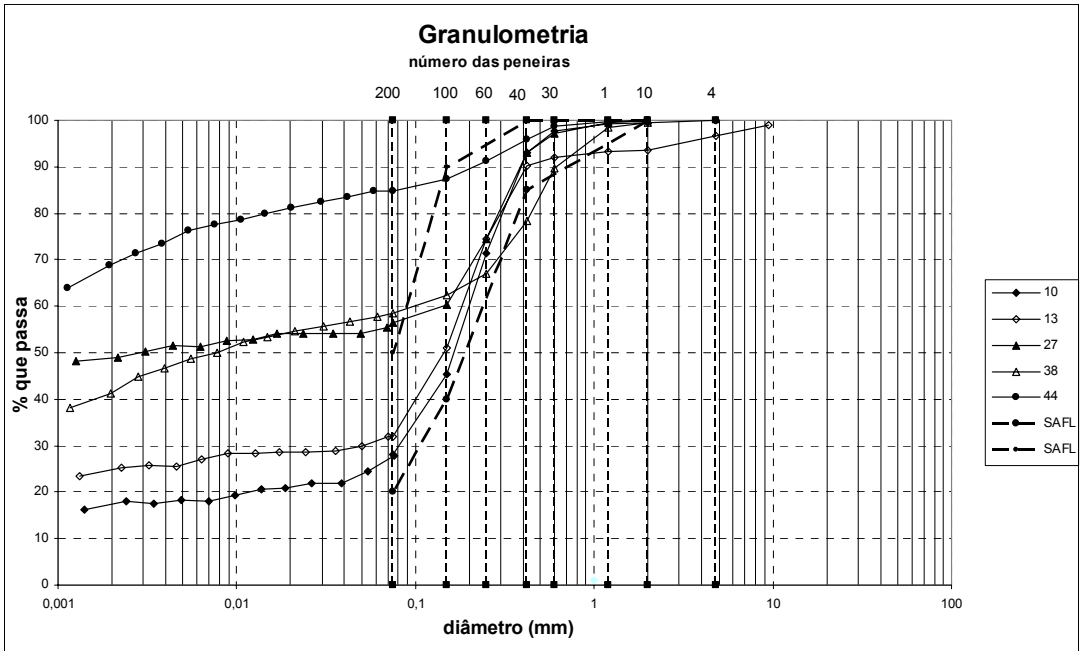


Figura 6.1 – Curvas de distribuição granulométrica

A perda de suporte Mini-CBR por imersão apresentou-se baixa, variando de 20 a 34 %. A expansão com sobrecarga em 24 horas foi de 0 a 0,04%, considerada baixa conforme apresentado pela Figura 6.2. As amostras 10 e 44 apresentaram baixa contração, enquanto que as demais apresentaram contração média.

Verificou-se, pela identificação visual e táctil que até a profundidade de 3,5 m o solo se apresentava homogêneo, praticamente sem pedregulho. Essa homogeneidade e o caráter laterítico também foram verificados anteriormente por Dias e Rezende (2003), bem como por Guimarães e Rezende (2005) para outra área do Município, baseados em ensaios de compactação e em ensaios da metodologia MCT-Expedita.

O mapeamento realizado no trabalho ora exposto apresentou algumas diferenças frente ao realizado por Nishiyama (1998): a Unidade 4 apresentou uma porção maior dentro da área de estudo delimitada neste trabalho, o que indica uma maior parcela de materiais residuais da formação Marília-RMA_Arg; materiais hidromórficos que compõem a Unidade 2, foram encontrado em maior quantidade nas proximidades dos córregos do Óleo, Lagoinha, Guaribas, Perpétua e Maribondo; redução dos materiais residuais retrabalhados argilosos,

ou seja, materiais de cobertura de chapadas que compõem a Unidade 5, situados na porção leste da área estudada.

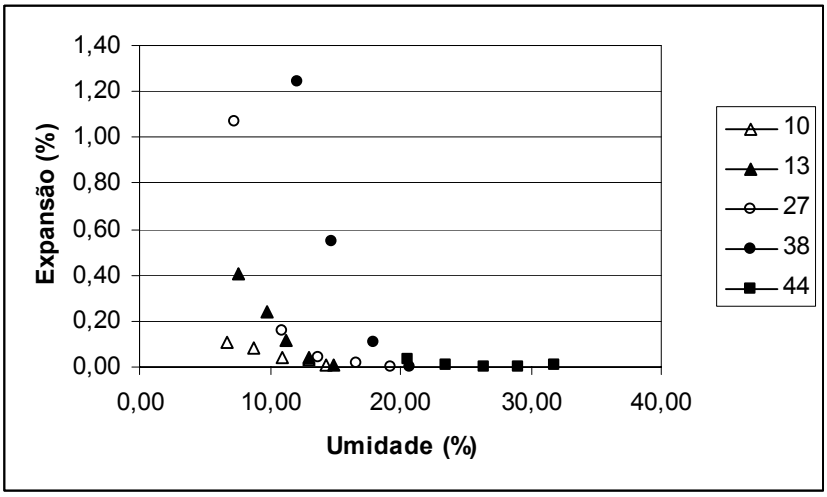


Figura 6.2 – Expansão x Umidade de moldagem

Pôde-se observar uma correlação entre os níveis topográficos com as unidades de materiais inconsolidados encontradas. Nas cotas altimétricas de 870m a 950m, há predominância dos materiais retrabalhados argilosos que compõem a Unidade 5. À medida que as cotas altimétricas vão decrescendo percebe-se a modificação dos materiais encontrados.

Desta forma, nas cotas médias de 850 m encontram-se os materiais residuais da formação Marília que correspondem às Unidades 3, 4 e 8 as quais diferenciam-se nas proporções de areia e argila encontradas, além dos solos residuais da formação Serra Geral encontradas no vale do Rio Uberabinha correspondentes à Unidade 1. Nas baixas altimetrias, entre 700m e 800m, encontram-se os materiais residuais da formação Serra Geral que constituem as Unidades 6 e 7. A Unidade 2 é constituída por solos hidromórficos os quais se encontram nos fundos dos vales dos córregos da região.

Os materiais inconsolidados da **Unidade 1**, no geral, apresentam dificuldades aos trabalhos de escavações, devido à ocorrência de declividades médias a baixa (5-10%) e, a presença de matacões nas camadas adjacentes.Estão situadas em sua maior parte nas vertentes do vale fluvial do rio Uberabinha, com isso, é recomendado para uso urbano como áreas de reflorestamento ou no caso de uso rural como áreas de pastagens.

A **Unidade 2** é constituída por áreas susceptíveis a inundações devido se localizarem nos fundos dos vales que deságuam no rio Uberabinha, ou seja, estão localizadas dentro das áreas de proteção permanentes dos córregos da região, estando sujeitas ao regime de concentração de chuvas no verão. Por se tratar de solos hidromórficos possuem um comportamento não plástico, sendo estas áreas impróprias para implantação de obras civis e apresentam boas condições de escavabilidade com a utilização de equipamentos simples.

As porções compreendidas pela **Unidade 3** apresentam um comportamento colapsível, devendo-se evitar ou tomar cuidado com as fundações rasas devido ao comportamento colapsível destes materiais, e são constituídos por materiais residuais maduros (LA e LA'), possuem alta suscetibilidade à erosão, principalmente em porções onde a cobertura vegetal não se encontra preservada. Os materiais inconsolidados desta região embora apresentem uma variabilidade de textura, há o predomínio dos solos mais granulares e apresentam boas condições de escavabilidade com a utilização de equipamentos simples.

Foi observado que os materiais inconsolidados da **Unidade 4** apresentam boas condições de escavabilidade em porções de declividade relativamente baixa (0-5%), com a utilização de equipamentos simples. Estas porções favorecem a expansão de loteamentos urbanos e industriais, devida ao predomínio das classes de declividades baixas e, espessura dos materiais inconsolidado variando da ordem de 5-10m, devendo-se tomar cuidado com as fundações rasas devido ao comportamento colapsível destes materiais.

Pôde-se observar na **Unidade 5** que as declividades predominantes são baixas (0-2%), tratando-se de terrenos planos a quase planos, onde o escoamento superficial é lento ou muito lento, estando esta porção sujeita a inundações e constituem-se como áreas impróprias para instalações de obras de saneamento e tubulações subterrâneas de águas (pluviais e fluviais). Os materiais inconsolidados apresentam boas condições de escavabilidade com a utilização de equipamentos simples, possuem um comportamento colapsível, com isso, deve-se tomar cuidado na implantação de novos loteamentos urbanos e industriais cujas fundações sejam rasas.

As porções compreendidas pela **Unidade 6** são constituídas por colúvio das formações Serra Geral e Marília, apresentam espessuras predominantes entre 2 a 5m, possuem um comportamento colapsível, sendo constituído por um material retrabalhado maduro (LA').

São áreas que merecem um cuidado especial ao se implantar loteamentos para fins residenciais, pois estão sujeitas a inundações devido estarem distribuídas sobre uma estreita faixa junto ao terço inferior do vale do rio Uberabinha, o lençol freático encontra-se quase aflorante e os valores de SPT nos primeiros 3,0 metros não ultrapassam a 6.

A **unidade 7** é constituída por um material inconsolidado cujas espessuras não ultrapassam os 5m, apresenta razoável condição de escavabilidade devido a presença de fragmentos de rocha e matacões nas camadas adjacentes, apresenta valores de SPT entre 2 e 30 nos primeiros 5 metros. Esta porção é constituída por uma topografia acidentada com declividade considerada moderada, não sendo considerada muito propícia para a implantação de loteamentos residenciais e industriais e, impróprias para instalações de obras de saneamento e tubulações subterrâneas de água. As vegetações predominantes encontram-se degradadas favorecendo o aparecimento de erosões.

A área da **Unidade 8** é constituída por materiais residuais da formação Marília, cuja espessura raramente ultrapassa os 10 metros, apresentam boas condições de escavabilidade, comportamento colapsível e, possuem alta suscetibilidade a erosão nas porções com declividades médias baixas (5-10%) por apresentarem grandes porcentagens de frações de areia, devendo-se preservar a vegetação nestas porções. São favoráveis para a implantação de loteamentos urbanos residenciais e industriais; próprias para as instalações de saneamento e tubulações subterrâneas de água (pluviais e fluviais), devendo-se tomar alguns cuidados quanto aos aspectos de drenabilidade. Os valores de SPT entre 2 e 10 são os mais freqüentes, verificando que os primeiros 3,0 metros não ultrapassam a 4.

Foi verificada na **Unidade 9** que os materiais inconsolidados apresentam-se com alta suscetibilidade a erosão devido as grandes porcentagens de frações de areia (podendo chegar até 70%) e, ao nível freático encontrar-se relativamente próximo da superfície. As declividades apresentam-se relativamente elevadas (5-10%), relevos ondulados, escoamento superficial médio a rápido. Essa porção apresenta boas condições de escavabilidade, com a utilização de equipamentos simples.

Quanto à delimitação das unidades geotécnicas, poder-se-ia obter uma melhor precisão dos resultados através do aumento dos pontos de amostragem e sua avaliação em termos qualitativos e quantitativos, ou melhor, uma maior correlação entre aspectos fisiográficos e

materiais obtidos: caracterização dos aspectos físicos, estudos de subsuperfície através de profundidades acima de 3 metros, a qual foi adotada neste trabalho, ensaios de mineralogia, além da coleta de outros dados de ensaios já realizados na região, tais como, dados de SPT e resultados de ensaios laboratoriais.

Durante a realização do trabalho verificou-se a carência de perfis típicos de alteração expostos, que associada às grandes espessuras dos materiais, dificultou a obtenção de melhor amostragem e exemplificação das características dos materiais em estudo. A elevada densidade urbana, também apresentou interferências na coleta de amostras e observação do relevo. Tais fatores foram limitantes quando da pesquisa de campo e estudos seqüenciais para a caracterização dos materiais inconsolidados.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi possível realizar um Mapeamento Geotécnico no qual foram identificadas 9 unidades geotécnicas e elaborados um mapa de documentação, uma carta de declividade e o mapa de materiais inconsolidados na escala 1:25000.

Como o mapeamento geotécnico ocorreu em função da disponibilidade de afloramentos de campo com revelação total ou parcial das camadas, a representação dos perfis foi limitada em profundidade não sendo possível estabelecer uma variação vertical das propriedades geotécnicas, identificando na maioria dos casos somente as variações laterais e as características dos materiais até uma profundidade aproximada de 3m.

Quanto à delimitação das unidades geotécnicas, poder-se-ia obter uma melhor precisão dos resultados através do aumento dos pontos de amostragem e sua avaliação em termos qualitativos e quantitativos, ou melhor, uma maior correlação entre aspectos fisiográficos e materiais obtidos: caracterização dos aspectos físicos, estudos de subsuperfície através de profundidades acima de 3 metros, a qual foi adotada neste trabalho, ensaios de mineralogia, além da coleta de outros dados de ensaios já realizados na região, tais como, SPT e outros ensaios laboratoriais.

O desenvolvimento desse trabalho permitiu que fosse realizada uma caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados superficiais da área de expansão urbana de Uberlândia. Segundo a classificação HRB foram identificados 5 tipos de materiais inconsolidados : A-4; A-3, A-6, A2-4 e A7-5. Segundo a classificação SUCS, 4 tipos de materiais foram observados: CL, SC, SM e SC-SM. De acordo com a metodologia MCT,

obtiveram-se apenas dois tipos de materiais: LA e LA', portanto, conforme esta última classificação, todos de comportamento laterítico.

Com relação à Classificação HRB e aos trabalhos de campo, chegou-se à conclusão que: a Unidade 1 é constituída pelos solos A-4; Na Unidade 2 os solos do tipo A-3 representam 60% das 25 amostras ensaiadas nesta porção. São encontrados também uma pequena parcela de solos A-2-4 (2%) e A-6 (2%), predominando a característica arenosa; Na Unidade 3 os solos do tipo A-4 representam 72% das 25 amostras analisadas para esta porção, tendo uma pequena parcela de solos A-2-4 (12%), A-3 (8%) e A-6 (8%); Na Unidade 4 os solos do tipo A-6 representam 75% das 4 amostras ensaiadas para a porção, com uma pequena parcela de solo A-2-4 (25%); a Unidade 5 é constituída pelos solos do tipo A-7-5; a Unidade 6 pelos solos A-4 (50% das 2 amostras ensaiadas) e A-6 (50%).

Como as unidades 2 e 3 apresentam algumas variações com relação às suas características geotécnicas, sugere-se que em trabalhos futuros sejam feitos mais ensaios para melhor caracterizá-las.

Todos os materiais da área estudada apresentam um comportamento colapsível, mostrando que não é indicado o uso de fundações diretas e são constituídos por solos lateríticos, dos grupos LA e LA', que são os mais indicados para a execução de pavimento de baixo custo em vias de baixo volume de tráfego.

O volume de informações obtidas foi muito grande em decorrência das etapas do mapeamento e da grande variedade dos ensaios laboratoriais para a análise física e geotécnica, sendo estas informações adequadas e pertinentes para subsidiar a avaliação geotécnica dos diferentes materiais inconsolidados.

Este mapeamento geotécnico consiste apenas em um trabalho preliminar para dar subsídios ao planejamento urbano, ficando atribuídas à sua interpretação das diferentes formas de ocupações para as porções delimitadas a outros documentos como as cartas derivadas e/ou interpretativas.

A carta de declividade, elaborada como parte este trabalho de mapeamento geotécnico, teve um papel fundamental **como ferramenta auxiliar** na compreensão das variações

geomorfológicas com base em um único atributo (inclinação da sua superfície), e a relação destas declividades como fator limitante para determinados tipos de uso.

Os documentos cartográficos elaborados com esta pesquisa (mapas e carta), devem ser compreendidos como trabalhos iniciais para subsidiar o planejamento da ocupação do meio físico, visando à minimização dos conflitos, perdas na economia e riscos resultantes da ocupação antrópica, lembrando que o mapa de materiais inconsolidados deve ser mais bem detalhado á medida que novos pontos forem amostrados, ensaiados e caracterizados quanto às formas de relevo.

As informações levantadas para a composição do Mapa de Materiais Inconsolidados como: planilhas dos ensaios, índices físicos, curvas granulométricas, ficha de campo, mapas e cartas, podem ser utilizados para gerar um de um banco de dados geotécnico do município de Uberlândia, servindo como fonte de informação para novas pesquisas.

O uso da ficha de campo foi muito importante na fase inicial do trabalho de campo, pois permitiu coletar todas as informações geotécnicas possibilitando uma melhor organização e manejo destas informações.

Em razão dos produtos gerados neste mapeamento apresentarem uma caracterização geotécnica, não se pode desconsiderar as investigações locais de campo, mediante as necessidades específicas de cada uso dos terrenos.

.

REFERÊNCIAS CONSULTADA

AB'SABER, A.N. *Contribuição à Geomorfologia da área dos cerrados* In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO. Atas. São Paulo, EDUSP, 1972. p.97-103.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6484*: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

_____. *NBR 6459* – Solo - Determinação do limite de liquidez. – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 6508* - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm - determinação da massa específica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 7180* - Solo - Determinação do limite de plasticidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 7181* - Solo - Análise granulométrica. – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 7182* - Solo - Ensaio de compactação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

BACCARO, C. A. D. *As unidades geomorfológicas e a erosão nos chapadões do município de Uberlândia.* Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 06 n. 11 e 12, p. 9-17, 1994.

BACHION, M. L. *Mapeamento geotécnico das áreas urbana e de expansão da região sudoeste do município de Campinas – SP, escala 1:25.000.* São Carlos-SP, 1997. 2v. Dissertação de Mestrado, USP de São Carlos.

BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C. ; CUNHA, A. R. da. *Geologia da região do Triângulo Mineiro.* Ministério da Minas e Energia – Boletim DNPM. Rio de Janeiro, 1970. Nº 136.

BARCELOS, J. H. *Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo.* Rio Claro, 1984.Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

BARISON, M. R. *Mapeamento Geotécnico Regional da Quadrícula de Amparo-SP, Escala 1:50.000: Com Base na Análise dos Landforms e de Perfis Típicos de Alteração.*São Carlos-SP. 1995.2v. Dissertação de Mestrado. USP São Carlos.

BIELAVSKY M. *Artigo publicado pela editora Libreria com o título "Fotos Aéreas"* Disponível em < http://www.libreria.com.br/portal/colunas/mariana/sens/> Acesso em: 01 de abril de 2005.

BINDI L. F. *Artigo publicado pela editora Libreria com o título "Fotografias Aéreas"* Disponível em <http://www.libreria.com.br/portal/artigos/geografia/fotoareas/index.shtml> Acesso em: 01 de abril de 2005.

BORTOLUCCI, A. A. *Caracterização Geológica-Geotécnica da Região Urbana de São Carlos-SP a partir de sondagens de simples reconhecimento.*São Carlos-SP, 1983. 1v. Dissertação de Mestrado, USP de São Carlos.

BUENO, B. DE S.;VILAR, O. M. *Mecânica dos Solos.*São Carlos: Ed. EESC-USP, 1998.1vol.

CINTRA, J. C. A. *Aplicações da Mecânica dos Solos Não-Saturados-Fundações em Solos Colapsíveis*. 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não-Saturados. São Carlos, SP, 25 a

27/08/04. Disponível em http://www.eesc.sc.usp.br/sgs/fundpos/NSatRelatoCintraAgrad .pdf. Acesso em: 10 de novembro de 2004.

CINTRA, J. C. A. *Fundações em solos colapsíveis*.1. ed. São Carlos: Serviço Gráfico da EESC / USP, 1998. 116P.

COLETÂNEA DE NORMAS E MANUAIS DO DNER. *ME 122/94* – Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito. Rio de Janeiro, 2002.

_____. *ME 228/94* – Solos – compactação em equipamento miniatura. Rio de Janeiro, 2002.

_____. *ME 254/94* – Solos compactados em equipamento miniatura – Mini- CBR e expansão. Rio de Janeiro, 2002.

_____. *ME 256/94* – Solos compactados em equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão. Rio de Janeiro, 2002.

_____. *ME 258/94* – Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV. Rio de Janeiro, 2002.

COSTA, M. E. da. *Estudo da colapsibilidade dos solos superficiais de Uberlândia.*São Carlos-SP, 1986. 1v. Dissertação de Mestrado, USP de São Carlos.

DEDALUS: *Banco de dados bibliográficos da USP catálogo on-line global.* Disponível em <http://dedalus.usp.br:4500/ALEPH/POR/USP/ USP/DEDALUS/SHORT/214790/81/> Acesso em: 8 de Set. de 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA. *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro.* EMBRAPA – SNLCS/EPAMG/DRNR. Rio de Janeiro, 1982.

GONÇALVES, C. F. *Análise hidrológica em compartimentos de paisagem na bacia do córrego conceição. Municípios de Uberlândia e Tupaciguara-MG.* Uberlândia-MG, 2003.1V.Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia-UFU.

IBGE _ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Síntese de dados dos municípios em 2000_ Uberlândia/ MG*. Disponível em: < http: //www.Ibge.com.br>. Acessado em 12 de março de 2004.

INSTITUTO GEOLÓGICO *Subsídios de meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas-SP*. 2v. São Paulo, IG/SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1993.

NISHIYAMA, L. *Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes.* Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 01, n 01. p. 9-15, 1989.

NISHIYAMA, L. *Mapeamento Geotécnico preliminar da Quadrícula de São Carlos.*São Carlos-SP, 1991. 2v. Dissertação de Mestrado, USP de São Carlos.

NISHIYAMA, L. *Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000, aplicados ao município de Uberlândia-MG*. São Carlos-SP, 1998.Tese de Doutoramento, USP de São Carlos.

NOGUEIRA, J. B. *Amostragem e reconhecimento do sub-solo.*São Carlos: Ed. EESC-USP, 1979.

NOGUEIRA, J. B. *Mecânica dos Solos – Ensaios de Laboratório.*São Carlos: Ed. EESC-USP, 1995.

ORSE_*Sistema de orçamento de obras de Sergipe do departamento de habitação e obras públicas*. Disponível em <http://www.cehop.se.gov.br/orse/esp/ES00044.pdf.> Acesso em: 01 de abril de 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA *Banco de Dados Integrados de Uberlândia- 2003.* Disponível em <http://bastion.prodaub.com.br/comunicacao /bdi2003/evolucao_populacao.doc> e <http://bastion.prodaub.com.br/comunicacao /bdi2003 /taxas_crescimento.doc>. Acesso em: 13 dezembro 2003.

RADAMBRASIL. *Levantamento de recursos naturais. Folha SE 22 – Goiânia*. V.31 Rio de Janeiro, 1983. 76 p.

RODRIGUES, J. E. *Evolução de critérios de caracterização dos materiais inconsolidados no mapeamento geotécnico da região centro leste do estado de São Paulo*. Tese de Livre Docência, USP de São Carlos, 1996.

ROSA, R. *O uso de SIG'S para o zoneamento: Uma abordagem Metodológica*. São Paulo-SP. 1995.1v. Tese de doutoramento. USP de São Paulo.

SANTOS J. A. *Lista de publicações didáticas do departamento de Engenharia Civil e Arquitetura _ DECivil (2004).* Disponível em < http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/12 _Ensaios%20de%20campo.pdf > Acesso em: 01 de abril de 2005.

SILVA, E. C. da. *Mapeamento geotécnico da folha córrego das moças, no município de Uberlândia-MG.* Caminhos de Geografia - Revista Eletrônica, Uberlândia, v. 02, ano 2, Fev / 2001 p. 1-24.

SOLO Sondagem e Construção Ltda. *homepage voltada para a divulgação e promoção da empresa.* Disponível em <http://www.solosondagem.com.br/equipamentos.htm> Acesso em:01 de abril de 2005.

STURARO, J. R. *Mapeamento Geoestatístico de Propriedades Geológico-Geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento.*São Carlos-SP, 1994. 1v. Dissertação de Mestrado, USP de São Carlos.

UDITUDO_ *homepage voltada para a divulgação e promoção da cidade de Uberlândia suas empresas, produtos e serviços*. Disponível em <http://orbita.starmedia.com/ ~udiclassi/cidade.htm> Acesso em 11 de agosto de 2004.

VILLIBOR D. F.; NOGAMI J.S.; BELIGNI M.; CINCERRE J.R.:*Pavimento com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas*.ed.São Paulo-SP 2000.

ZUQUETTE, L. V. *A importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. São Carlos-SP, 1993. 1vol. Tese de Livre Docência, USP de São Carlos.

ZUQUETTE, L. V. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras*. São Carlos-SP, 1987. 4vol.Tese de Doutoramento, USP de São Carlos.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. *Mapeamento Geotécnico: levantamento e análise das metodologias e sistemáticas mais utilizadas***.**Anais do VII Congresso Latino-Americano de Geologia Beleiu, 1988, p.591-605.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. *Metodologia de Mapeamento Geotécnico para Áreas Municipais*.

ZUQUETTE, L.V.; NAKAZAWA, V.A. *Cartas de geologia de engenharia***.** In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A., eds. Geologia de engenharia. São Paulo, ABGE, 1998. Cap. 17, p.283-300.

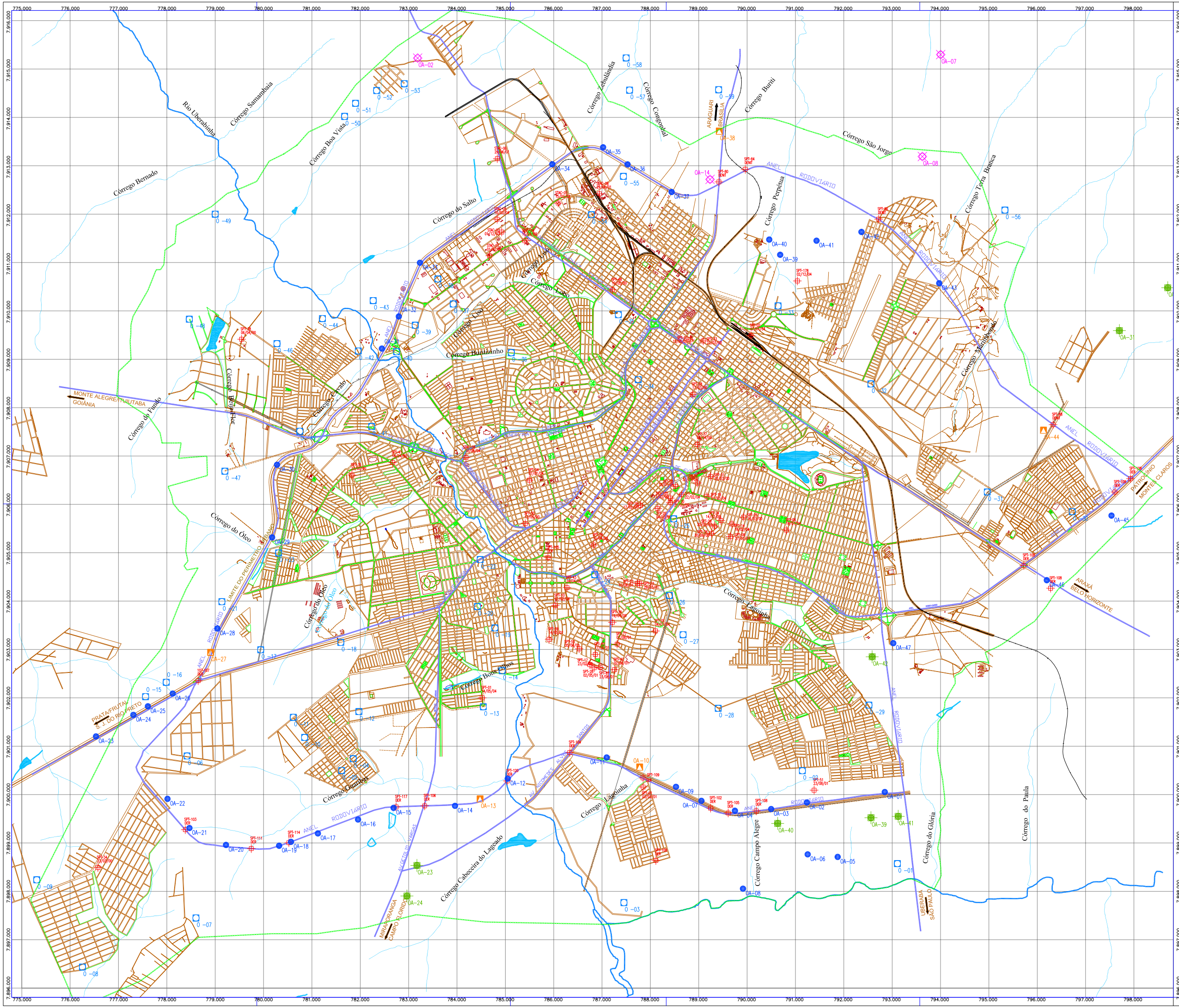
ZUQUETTE, L.V.;GANDOLFI, N. *Algumas reflexões sobre o mapeamento geotécnico.*I Workshop sobre Geociências, U.F.R.J./IG – Rio de Janeiro, 1992.

ANEXOS

ANEXO I – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

ANEXO II – CARTA DE DECLIVIDADE

ANEXO III – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

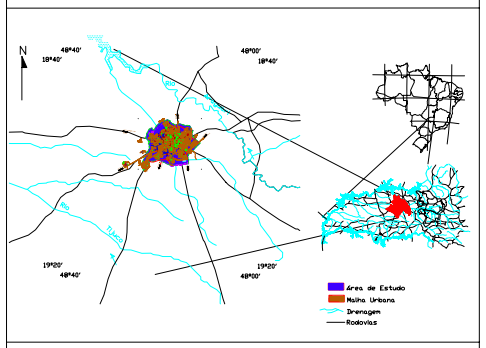
- Linha Férrea_R.F.F.S.A
- Sistema Viário Principal
- Drenagem Principal _Rios
- Drenagem Secundária_Córregos
- Aeroporto
- Limite da área estudada

ESCALA GRÁFICA

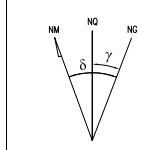
1000 500 0 250 1000 2000 m

ESCALA MÉTRICA

1:50.000

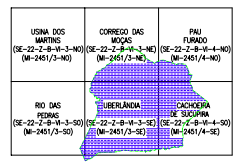


DADOS VARIÁVEIS



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 2004 (δ): -19° 32' 24,4"
CONVERGÊNCIA MERIDIANA (γ): -00° 53' 08,7"
VARIAÇÃO ANUAL : -00° 03' 39,3"
COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR (K): 1,0006269

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS



BASE CARTOGRÁFICA

Base Cartográfica obtida a partir de mapas da área urbana em meio digital cedidos pela Prefeitura Municipal de Uberlândia-MG.

MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

LEGENDA

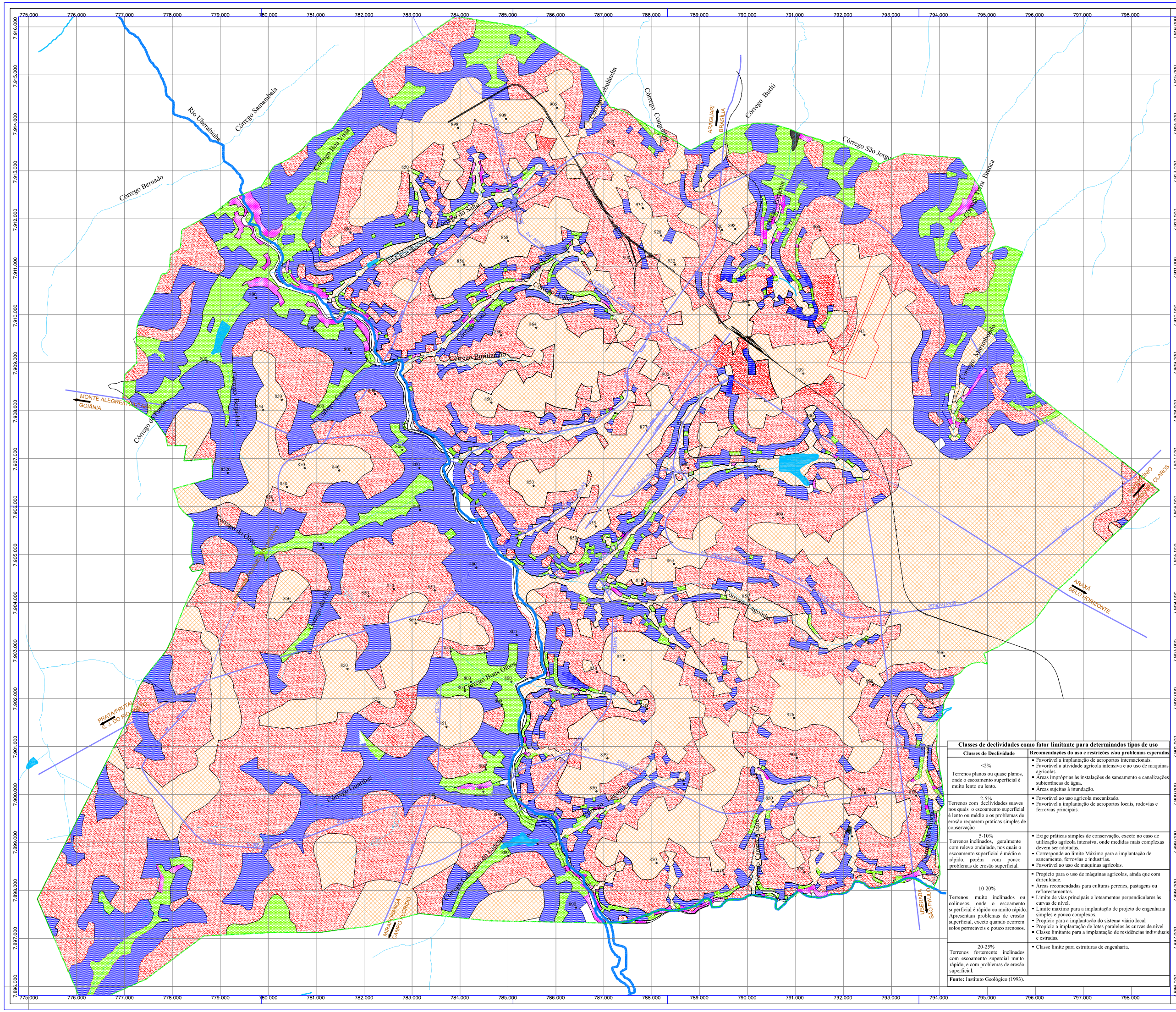
- OA-45 — Ponto de observação e amostragem obtidos de tradagens _amostras deformadas e indeformadas.
- SPT-51 23/08/01 — Pontos de sondagens de simples reconhecimento (SPT) obtidos junto a empresas de sondagens e órgãos governamentais.
- OA-39 — Pontos de observação e amostragem obtidos da pesquisa de doutorado intitulada "Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análise e avaliações ambientais do meio físico, em escala de 1:100.000, aplicados ao município de Uberlândia-MG. Fonte: Nishyiama (1998).
- OA-07 — Pontos de amostrgens obtidos do projeto de pesquisa intitulado "Aplicação da metodologia MCT aos solos superficiais de Uberlândia". Fonte: Dias, I. M. (2001)
- 0 -01 — Pontos de observação da área de estudo obtidos através de caminhamento como procedimento de reconhecimento.
- OA-01 — Ponto de observação e amostragem obtidos de tradagens _ Amostras ensaiadas a partir da Metodologia MCT.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO
ÁREA: ENGENHARIA URBANA

FECIV

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR EM ESCALA DE SEMIDETALHE (1:25.000) DA ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE UBERLÂNDIA-MG.

AUTOR: RICARDO FERNANDES DE ANDRADE
ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ NISHIYAMA
COORIENTADORA: PROFª DRª MARIA ELISA



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

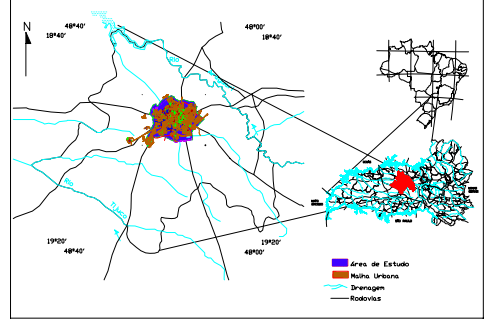
- Linha Férrea_R.F.F.S.A
- Sistema Viário Principal
- Drenagem Principal _Rios
- Drenagem Secundária_Córregos
- 800 Pontos Altimétricos
- Aeroporto
- Limite da área estudada

ESCALA GRÁFICA

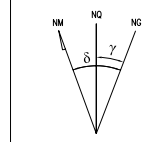
1000 500 0 250 1000 2000 m

ESCALA MÉTRICA

1:50.000

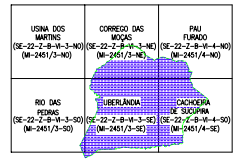


DADOS VARIÁVEIS



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 2004 (δ): -19° 32' 24,4"
CONVERGÊNCIA MERIDIANA (γ): +00° 53' 08,7"
VARIAÇÃO ANUAL : -00° 03' 39,3"
COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR (K): 1,0006269

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS



BASE CARTOGRÁFICA

Base Cartográfica obtida a partir de mapas topográficos do DSG (DIRETORIA DE SERVIÇOS EOGRÁFICOS) do DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E COMUNIAÇÕES do MINISTÉRIO DO EXÉRCITO, na escala de 1:25.000, abangendo as folhas de Usina dos Martins (SE-22-Z-B-VI-3-NO), Córrego das moças (SE-22-Z-B-VI-3-NE), Pau Furado (SE-22-Z-B-VI-4-NO), Rio das Pedras (SE-22-Z-B-VI-3-SO), Uberlândia (SE-22-Z-B-VI-3-SE) e Cahoeira de Sucupira (SE-22-Z-B-VI-4-SO).

CARTA DE DECLIVIDADE

LEGENDA

Classes de Declividades

- Áreas com intervalos < 2 %
- Áreas com intervalos de 2 - 5 %
- Áreas com intervalos de 5 - 10 %
- Áreas com intervalos de 10 - 20 %
- Áreas com intervalos > 20 %

Classes de declividades como fator limitante para determinados tipos de uso

Classes de Declividade	Recomendações do uso e restrições e/ou problemas esperados
<2% Terrenos planos ou quase planos, onde o escoamento superficial é muito lento ou lento.	▪ Favorável a implantação de aeroportos internacionais. ▪ Favorável a atividade agrícola intensiva e ao uso de maquinas agrícolas. ▪ Áreas impróprias às instalações de saneamento e canalizações subterrâneas de água. ▪ Áreas sujeitas à inundação.
2-5% Terrenos com declividades suaves nos quais o escoamento superficial é lento ou médio e os problemas de erosão requerem práticas simples de conservação	▪ Favorável ao uso agrícola mecanizado. ▪ Favorável a implantação de aeroportos locais, rodovias e ferrovias principais.
5-10% Terrenos inclinados, geralmente com relevo ondulado, nos quais o escoamento superficial é médio e rápido, porém com pouco problemas de erosão superficial.	▪ Exige práticas simples de conservação, exceto no caso de utilização agrícola intensiva, onde medidas mais complexas devem ser adotadas. ▪ Corresponde ao limite Máximo para a implantação de saneamento, ferrovias e industrias. ▪ Favorável ao uso de máquinas agrícolas.
10-20% Terrenos muito inclinados ou colinosos, onde o escoamento superficial é rápido ou muito rápido. Apresentam problemas de erosão superficial, exceto quando ocorrem solos permeáveis e pouco arenosos.	▪ Propicio para o uso de máquinas agricolas, ainda que com dificuldade. ▪ Áreas recomendadas para culturas perenes, pastagens ou reflorestamentos. ▪ Limite de vias principais e loteamentos perpendiculares às curvas de nível. ▪ Limite máximo para a implantação de projeto de engenharia simples e pouco complexos. ▪ Propicio para a implantação do sistema viário local ▪ Propicio a implantação de lotes paralelos às curvas de.nível ▪ Classe limitante para a implantação de residências individuais e estradas.
20-25% Terrenos fortemente inclinados com escoamento supercial muito rápido, e com problemas de erosão superficial.	▪ Classe limite para estruturas de engenharia.

Fonte: Instituto Geológico (1993).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO
ÁREA: ENGENHARIA URBANA

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR EM ESCALA DE SEMIDETALHE (1:25.000) DA ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE UBERLÂNDIA-MG.

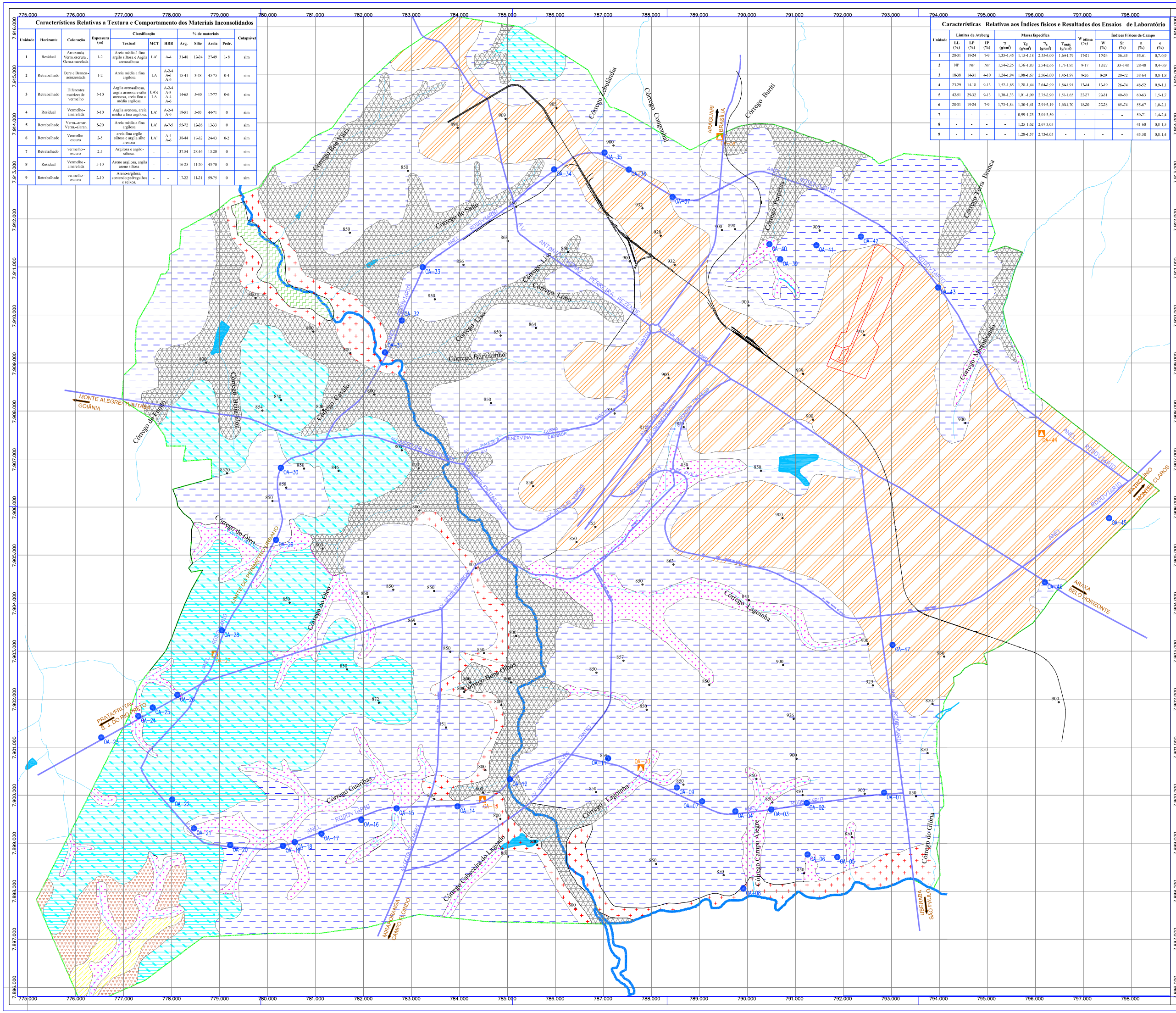
AUTOR: RICARDO FERNANDES DE ANDRADE
ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ NISHIYAMA
COORIENTADORA: PROFª DRª MARIA ELISA

Características Relativas a Textura e Comportamento dos Materiais Inconsolidados

Unidade	Horizonte	Coloração	Espessura (m)	Classificação			% de materiais				Colapsível
				Textural	MCT	HRB	Arg.	Silte	Areia	Pedr.	
1	Residual	Arroxeada Verm. escura , Ocra-amarelada	1-2	Areia média à fina argilo siltosa e Argila arenosa-siltosa	LA'	A-4	31-48	13-24	27-49	1-8	sim
2	Retrabalhado	Ocre e Branco-acinzentada	1-2	Areia média a fina argilosa	LA	A-2-4 A-3 A-6	15-41	3-18	45-75	0-4	sim
3	Retrabalhado	Diferentes matrizes de vermelho	5-10	Argila arenosa-siltosa, argila arenosa e silte arenoso, areia fina a média argilosa.	LA'e LA	A-2-4 A-3 A-4 A-6	14-65	5-40	17-77	0-6	sim
4	Residual	Vermelho-amarelada	5-10	Argila arenosa, areia média a fina argilosa	LA'	A-2-4 A-6	19-51	5-10	44-71	0	sim
5	Retrabalhado	Verm.-amar. Verm.-alaran.	5-20	Areia média a fina argilosa	LA'	A-7-5	55-72	13-26	13-33	0	sim
6	Retrabalhado	Vermelho-escuro	2-5	areia fina argilo siltosa e argila silte arenosa	LA'	A-4 A-6	38-44	17-32	24-43	0-2	sim
7	Retrabalhado	vermelho-escuro	2-5	Argilosa e argilo-siltosa.	-	-	37-54	28-46	13-20	0	sim
8	Residual	Vermelho-amarelada	5-10	Areno argilosa, argila areno siltosa	-	-	16-25	11-20	43-70	0	sim
9	Retrabalhado	vermelho-escuro	2-10	Areno-argilosa, contendo pedregulhos e seixos.	-	-	17-22	11-21	59-75	0	sim

Características Relativas aos Índices físicos e Resultados dos Ensaios de Laboratório

Unidade	Limites de Atelberg			Massa Específica				W ótima (%)	Índices Físicos de Campo			
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ_s (g/cm³)	γ_d (g/cm³)	γ_h (g/cm³)	$\gamma_{máx}$ (g/cm³)		W (%)	Sr (%)	n (%)	e (%)
1	28-31	19-24	7-9	1,35+/-1,45	1,15+/-1,18	2,55-3,00	1,66+/-1,79	17-21	17-24	36-45	55-61	0,7-1,0
2	NP	NP	NP	1,54+/-2,25	1,36+/-1,83	2,54-2,66	1,71+/-1,95	9-17	13-27	33-148	28-48	0,4-1,9
3	18-38	14-31	4-10	1,24+/-1,94	1,08+/-1,67	2,56+/-3,00	1,45+/-1,97	9-26	8-29	20+72	38-64	0,8-1,8
4	23-29	14-18	9-13	1,52+/-1,65	1,28+/-1,44	2,64-2,99	1,84+/-1,91	13-14	13-19	26-74	48-52	0,9-1,1
5	43-51	29-32	9-13	1,30+/-1,33	1,01+/-1,09	2,75-2,90	1,5+/-1,65	22-27	22-31	40-50	60-63	1,5-1,7
6	28-31	19-24	7-9	1,73+/-1,84	1,30+/-1,41	2,91+/-3,19	1,69+/-1,70	18-20	27-28	65-74	55-67	1,0-2,1
7	-	-	-	-	0,99+/-1,23	3,01+/-3,50	-	-	-	-	59-71	1,4-2,4
8	-	-	-	-	1,25+/-1,62	2,67+/-3,05	-	-	-	-	41-60	0,8+/-1,5
9	-	-	-	-	1,28+/-1,57	2,73+/-3,05	-	-	-	-	45-58	0,8+/-1,4



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

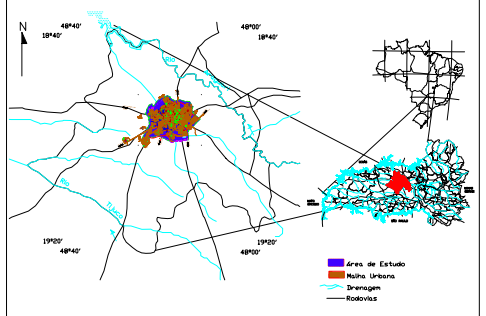
- Linha Férrea_R.F.F.S.A
- Sistema Viário Principal
- Drenagem Principal _Rios
- Drenagem Secundária_Córregos
- 800 Pontos Altimétricos
- Aeroporto
- Limite da área estudada

ESCALA GRÁFICA

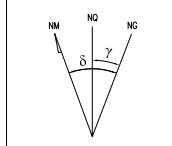
1000 500 0 250 1000 2000 m

ESCALA MÉTRICA

1:50.000

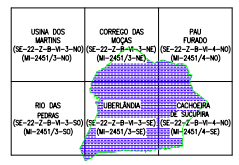


DADOS VARIÁVEIS



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 2004 (δ): -19° 32' 24,4"
CONVERGÊNCIA MERIDIANA (γ): -00° 53' 08,7"
VARIAÇÃO ANUAL : -00° 03' 39,3"
COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR (K): 1,0006269

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS



BASE CARTOGRÁFICA

Base Cartográfica obtida a partir de 48 aerofotos verticais pancromática, produzidas pelo antigo Instituto Brasileiro do Café (IBC/GERCA) em escala aproximada de 1:25.000 no dia 23 de Abril 1978. As faixas de vôo e a respectivas fotos estão apresentadas na tabalea abaixo:

Vôo	Faixas	Faixas
23/04/1978	16 b	100305 a 100319
	17 b	100336 a 100340, 100344 e 100345
	18 b	100588, 100310, 100597 e 100598
	19 a	100092 a 100094, 100101 e 100102
	20 b	100555 a 100564

MAPA DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Unidade 1_ Residuais de pequena espessura da Formação Serra Geral (RSG)- Espessura inferiores a 2 metros, textura argilo-siltosa, coloração vermelho-escura, arroxeada, ocre-amarelada.

Unidade 2_ Hidromórficos (H) - Espessuras variáveis entre 2 e 5 metros, textura argilosa a argilo-arenosa, coloração amarelada, ocre e branco-acinzentada. Comum presença de camadas orgânicas decimétricas a métricas (raramente superiores a 2 metros).

Unidade 3_ Residual da formação Marília - Arenoso (RMA-AR), Espessuras superiores a 5 metros, areno-argilosa, coloração em diferentes matizes de vermelho (2,5 YR - 5,0 YR).

Unidade 4_ Residual da formação Marília (RMA-Arg), Predominância do intervalo de espessura de 5 a 10 metros, texturas argilo-arenosa a areno-argilosa, coloração vermelho-amarela (5,0 YR)*

Unidade 5_ Retrabalhado argiloso II - Cobertura de chapadas (Arg II) - Espessuras variáveis entre 5 e 20 metros, texturas argilo-siltosa a argilo-arenosa, coloração vermelho-escura (2,5YR)*. Aumento na porcentagem de areia ao longo do perfil, no sentido descendente.

Unidade 6_ Retrabalhado argiloso I - colúvio Serra Geral e Marília (Arg I) - Espessuras vari. entre 2 e 5 metros, textura argilosa a argilo-arenosa, coloração vermelho-escura (2,5 YR)*.

Unidade 7_ Retrabalhado argiloso - contribuição dos residuais da Formação Serra Geral (ARG) - Espessuras variáveis entre 2 e 5 metros, textura argilosa a argilo-siltosa.

Unidade 8_ Residual da formação Marília - Arenoso II (RMA-AR II), Textura areno-argilosa, porém com menor teor em argila do que o tipo I, coloração vermelho-amarela (5,0 YR)*.

Unidade 9_ Retrabalhado arenoso - colúvio da Formação Marília (Ar I) - Espessuras variáveis no intervalo de 2 a 10 metros, textura areno-argilosa, contendo pedregulhos e seixos arredondados de quartzo.Coloração vermelho-escura (2,5 YR)*.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO
ÁREA: ENGENHARIA URBANA

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR EM ESCALA DE SEMIDETALHE (1:25.000) DA ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE UBERLÂNDIA-MG.

AUTOR: RICARDO FERNANDES DE ANDRADE
ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ NISHIYAMA
COORIENTADORA: PROFª DRª MARIA ELISA