Campus de São Carlos

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE CASA BRANCA (SP) -
ÊNFASE NO USO DA TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DE
TERRENOS E PERFIS TÍPICOS DE MATERIAIS
INCONSOLIDADOS
(VOL. 1)

AUTOR: LUIS EDUARDO GAGLIOTTI ALMEIDA

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE CASA
BRANCA (SP) - ÊNFASE NO USO DA
TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DE TERRENOS
E PERFIS TÍPICOS DE MATERIAIS
INCONSOLIDADOS
(VOLUME I)**

Luís Eduardo Gagliotti Almeida

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016538

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Eduardo Rodrigues

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 04 / 08 / 00

Ass.: *Acum*

São Carlos
2000

Class.	TESE
Cott.	1053
	V.1
Tombo	T0182/00

1100368

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

A447m Almeida, Luís Eduardo Gagliotti
Mapeamento geotécnico de Casa Branca (SP) : ênfase
no uso da técnica de avaliação de terrenos e perfis
típicos de materiais inconsolidados / Luís Eduardo
Gagliotti Almeida. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Rodrigues.

1. Landforms. 2. Avaliação de terrenos.
3. Materiais inconsolidados. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor José Eduardo Rodrigues, um orientador sincero e interessado e um amigo para os momentos ingratos.

À Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq, pela bolsa de estudo concedida.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, que apoiou financeiramente este trabalho por meio do projeto "Desenvolvimento de metodologia de mapeamento geotécnico na escala 1:25.000, com ênfase em erosão, expansão e movimentos de massa" (processo FAPESP 96/1502-2).

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, à Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, à Prefeitura Municipal de Casa Branca e ao Hospital Psiquiátrico Cocais pelo acesso aos respectivos acervos técnicos.

Aos colegas, professores e funcionários do Departamento de Geotecnia da EESC/USP pela colaboração e convívio enriquecedor.

SUMÁRIO

VOLUME I

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	v
LISTA DE SÍMBOLOS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
<hr/>	
1. INTRODUÇÃO	1
2. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	3
2.1 Metodologias de Mapeamento Geotécnico	3
2.2 Metodologia Zuquette (1987 e 1993)	6
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	12
3.1 Localização e Acessos	12
3.2 Geologia	13
3.2.1 Grupo Tubarão	13
3.2.2 Grupo São Bento	18
3.2.3 Depósitos Recentes	18
3.3 Geomorfologia	19
3.4 Solos	20
3.5 Vegetação Original e Ocupação Atual do Solo	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 Orientações Metodológicas	24
4.2 Operações sobre os Mapas	24
4.3 Elaboração de Cartas de Zoneamento Geotécnico Geral	27
4.4 Técnica de Avaliação de Terrenos	29
4.5 Materiais Utilizados e Dados Anteriores	32
4.6 Trabalhos de Campo	34

4.7 Trabalhos de Laboratório	35
4.7.1 Análise Granulométrica Conjunta	36
4.7.2 Massa Específica dos Sólidos	36
4.7.3 Ensaio de Compactação Normal	36
4.7.4 Ensaio do Anel (Massa Específica Seca Aparente)	36
4.7.5 Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno	37
4.7.6 Fórmulas de Correlação	43
4.7.7 Estimativas de Comportamento	43
 5 DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS	 47
5.1 Documentos Fundamentais Básicos	47
5.1.1 Mapa de Documentação	47
5.1.2 Mapa do Substrato Rochoso	48
5.1.2.1 Subgrupo Itararé	48
5.1.2.2 Formação Serra Geral	49
5.1.3 Mapa de <i>Landforms</i>	51
5.1.3.1 Sistema de Terreno 1 - Terrenos "Baixos" com Substrato de Rochas Básicas	57
5.1.3.1.1 Unidade de Terreno 1.1 - Colinas com Vertentes Convexas	58
5.1.3.1.2 Unidade de Terreno 1.2 - Colinas com Vertentes Côncavas	61
5.1.3.1.3 Unidade de Terreno 1.3 - Vales Dissecados	63
5.1.3.1.4 Unidade de Terreno 1.4 - Testemunhos de Rampas	65
5.1.3.2 Sistema de Terreno 2 - Terrenos "Baixos" com Substrato e Rochas Sedimentares	65
5.1.3.2.1 Unidade de Terreno 2.1 - Morrotes em Terrenos de Rochas Sedimentares	67
5.1.3.2.2 Unidade de Terreno 2.2 - Colinas	69
5.1.3.2.3 Unidade de Terreno 2.3 - Morrotes Rochosos Sustentados por Rochas Básicas Discordantes	69
5.1.3.3 Sistema de Terreno 3 - Terrenos Elevados	70
5.1.3.3.1 Unidade de Terreno 3.1 - Rampas	70
5.1.3.3.2 Unidade de Terreno 3.2 - Morros com Encostas Suavizadas	71
5.1.3.4 Quadro Resumo das Características de Sistemas e Unidades de Terreno	72
5.1.4 Mapa de Materiais Inconsolidados	78

5.1.4.1 Material Arenoso Retrabalhado	79
5.1.4.2 Material Siltoso Residual	81
5.1.4.3 Material Argiloso Residual	84
5.1.4.4 Aluviões	85
5.1.4.5 Afloramentos de Rochas Básicas	86
5.1.4.6 Afloramentos de Rochas Sedimentares Clásticas	86
5.1.4.7 Propriedade Estimadas	87
5.1.5 Carta de Declividade	91
5.2 Documento Derivado ou Interpretativo (a Carta de Zoneamento Geotécnico Geral de Casa Branca)	94

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
-------------------------	-----

7. CONCLUSÕES	104
---------------	-----

BIBLIOGRAFIA

ANEXO I - FOTOS

VOLUME II

ANEXO II - MAPAS E CARTAS

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1: Localização de Casa Branca no Estado de São Paulo. SP: São Paulo (capital) e CB: Casa Branca. (página 12)

FIGURA 3.2: Modelo deposicional para a progradação de sedimentos continentais sob a forma de lobos deltaicos. No modelo os depósitos de origem glacial (depositados pela efetiva ação das geleiras) são retrabalhados em planícies de lavagem por um sistema fluvial e redepositados num ambiente transicional de planície deltaica em progradação. Soares et al. (1977). (página 16)

FIGURA 4.1: Influência da mineralogia das argilas sobre a adsorção de azul de metileno, LAUTRIN (1987) apud PEJON (1992). (página 39)

FIGURA 4.2: Diagrama da atividade das argilas pelo método do azul de metileno, LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992). (página 40)

FIGURA 4.3: Índice de adsorção de azul de metileno V_b em função da porcentagem de argila dos materiais inconsolidados, mostrando o comportamento laterítico ou não laterítico, obtido com a classificação MCT (notar limite $V_b = 1,5$). Fonte: PEJON (1992). (página 41)

FIGURA 4.4: Índice de adsorção de azul de metileno da fração argilosa A_{cb} em função da porcentagem de argila dos materiais inconsolidados, mostrando o comportamento laterítico ou não laterítico obtido com a classificação MCT (notar limites $A_{cb} = 4$ e $A_{cb} = 5$). Fonte: PEJON (1992). (página 42)

FIGURA 5.1: Perfil esquemático das vertentes (1 - côncava / retilínea / convexa, 2 - côncava, 3 - côncava / convexa, 4 - convexa e 5 - retilínea). Modificado de SOARES & FIORI (1976). (página 54)

FIGURA 5.2: Perfil esquemático das formas de topos (1 - plano, 2 - achatado, 3 - arredondado e 4 - agudo). (página 54)

FIGURA 5.3: Perfil esquemático das rupturas de declive (1 - convexo / positiva abrupta, 2 - convexo / positiva suavizada, 3 - côncava / negativa abrupta e 4 - côncava / negativa suavizada). (página 55)

FIGURA 5.4: Arranjo esquemático em planta dos padrões de drenagens (1 - retangular, 2 - cabeceiras de drenagem com lagoas, 3 - subparalelo, 4 - paralelo, 5 - dendrítico e 6 - dendrítico). Modificado de SOARES & FIORI (1976). (página 55)

FIGURA 5.5: Perfil composto dos pontos de observações 88, 91 e 90. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 1.1 (colinas com vertentes convexas). (página 60)

FIGURA 5.6: A figura no alto mostra o perfil composto dos pontos de observações 39, 40, 41 e 42. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 1.2 (colinas com vertentes côncavas). A segunda figura mostra, em seção, a distribuição dos materiais inconsolidados ao longo da vertente. (página 62)

FIGURA 5.7: A figura no alto mostra o perfil do ponto de observação 118. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 1.3 (vales dissecados). A segunda figura mostra, em seção, a distribuição dos materiais inconsolidados ao longo da vertente. (página 64)

FIGURA 5.8: Ponto de observação 18 (Cerâmica Casa Nova). Seção mostrando a distribuição dos materiais inconsolidados ao longo da vertente. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 2.1 (morrotes). (página 68)

FIGURA 5.9: Seção mostrando a distribuição dos materiais inconsolidados ao longo da vertente, pontos de observações 26, 27, 28 e 29. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 2.1 (morrotes). (página 68)

FIGURA 5.10 a e b: Perfis típicos de materiais inconsolidados. (páginas 76 e 77)

FIGURA 5.11: Ensaio de azul de metileno. Índice V_b X % de argila para as amostras de materiais inconsolidados. PEJON (1992) sugeriu o valor $V_b = 1,5$ como o limite entre os materiais com comportamento laterítico (abaixo da reta) e os não lateríticos (acima da reta) segundo a Classificação MCT. BACHION (1997) sugere uma reta inclinada ($f(x) = 0,0556x$) como o limite entre os materiais com comportamentos lateríticos (a direita da reta) e os não lateríticos (a esquerda da reta).

- (1) reta proposta por PEJON (1992).
 - (2) reta proposta por BACHION (1997).
- (página 90)

FIGURA 5.12: Ensaio de azul de metileno. Índice A_{cb} X % de argila para as amostras de materiais inconsolidados. PEJON (1992) sugeriu o valor $A_{cb} = 4$ como o limite superior para os materiais com comportamento laterítico e o valor $A_{cb} = 5$ como o limite inferior para materiais com comportamento não laterítico segundo a Classificação MCT. No intervalo $4 < A_{cb} < 5$ não seria possível ter um grau de certeza razoável quanto ao comportamento dos materiais. BACHION (1997) sugere o valor $A_{cb} = 5$ como o limite entre os comportamentos lateríticos e não lateríticos. (página 91)

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: Princípio de obtenção de informações relativas aos atributos investigados no mapeamento geotécnico. Princípio da densidade de informações para a escala prevista. A tabela mostra a sugestão de ZUQUETTE (1987) para a quantidade de informações necessárias por unidade de área segundo a escala de apresentação de cartas geotécnicas. (página 9)

TABELA 3.1: Correspondência entre o substrato geológico e as coberturas pedológicas. Fonte: modificado de Furlani (1980). (página 21)

TABELA 3.2: Formações geológicas, litologias e as correspondentes classes de solo. Fonte: Modificado de IPT (1997). (página 21)

TABELA 3.3: Distribuição em área das categorias de uso e ocupação das terras no município de Casa Branca, SP. Fonte: Modificado de IPT (1997). (página 23)

TABELA 4.1: Matriz do tipo atributo X atributo utilizada para definir o(s) atributo(s) distintivos(s) dentro de um conjunto considerado. No exemplo temos que o atributo A1 apresenta relações de dependência com o maior número de outros atributos. Fonte: Modificado de Zuquette (1987). (página 27)

TABELA 4.2: Apresenta os atributos considerados no exemplo, sendo A1 o atributo distintivo, e a classificação das informações sobre os atributos (ou as classes de variação dos atributos). (página 28)

TABELA 4.3: Exemplo da definição de UZGGs tendo como base a elaboração de uma matriz do tipo atributo distintivo X atributo fundamental. (página 28)

TABELA 4.4: Capacidade de troca catiônica (CTC) de diferentes tipos de argilas obtidas por métodos químicos tradicionais. Modificado de BEAULIEU (1979) por PEJON (1992). Fonte: Pejon (1992). (página 39)

TABELA 4.5: Aspectos considerados na estimativa da escavabilidade dos materiais. (página 45)

TABELA 5.1: Sistema de descrição adotado para as unidades de terreno ou *landforms*. Modificado de Ponçano et al. (1981) e PIRES NETO (1992). (página 52)

TABELA 5.2: Descrição da geometria de trechos de *landforms*. (página 53)

TABELA 5.3: Descrição dos padrões de drenagem. (página 54)

TABELA 5.4: Sistemas e unidades de terreno representadas no MAPA DE LANDFORMS. (página 56)

TABELA 5.5: Quadro resumo das unidades do Sistema 1. (página 73)

TABELA 5.6: Quadro resumo das unidades do Sistema 2. (página 74)

TABELA 5.7: Quadro resumo das unidades do Sistema 3. (página 75)

TABELA 5.8: Resultado da análise granulométrica conjunta e demais índices físicos obtidos em ensaios ou por fórmula de correlação para o material inconsolidado arenoso retrabalhado. (página 80)

TABELA 5.9: Resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno para as amostras de material arenoso retrabalhado. (página 81)

TABELA 5.10: Resultado da análise granulométrica conjunta e demais índices físicos obtidos em ensaios ou por fórmula de correlação para a camada superior do material inconsolidado siltoso residual. (página 83)

TABELA 5.11: Resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno para as amostras da camada superior do material siltoso residual. (página 83)

TABELA 5.12: Resultado da análise granulométrica conjunta e demais índices físicos obtidos em ensaios ou por fórmula de correlação para a camada inferior do material inconsolidado siltoso residual. (página 83)

TABELA 5.13: Resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno para as amostras da camada inferior do material siltoso residual. (página 84)

TABELA 5.14: Resultado da análise granulométrica conjunta e demais índices físicos obtidos em ensaios ou por fórmula de correlação para o material inconsolidado argiloso residual. (página 85)

TABELA 5.15: Resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno para as amostras do material argiloso residual. (página 85)

TABELA 5.16: matriz atributo X atributo utilizada na definição dos atributos fundamentais e dependentes. Os atributos perfil de típico de material inconsolidado (8) e unidades de terreno (10) foram considerados fundamentais. (página 95)

Tabela 5.17: Definição das unidades de zoneamento geotécnico geral (UZGG) da Carta de Zoneamento Geotécnico Geral (os números entre parênteses correspondem aos perfis de materiais inconsolidados da FIGURA 5.10). (página 99)

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA
ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
CNPq - CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
COMECON - CONSELHO DE ASSISTÊNCIA ECONOMICA MÚTUA
CZGG - CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL
DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
EESC/USP - ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS / UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO
FAPESP - FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO
IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY
IBC-GERCA - INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ
IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IG - INSTITUTO GEOLÓGICO
IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO CARTOGRÁFICO
IGc/USP - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A .
MCT - CLASSIFICAÇÃO MINIATURA COMPACTO TROPICAL
MB - MÉTODO BRASILEIRO (ABNT)
NBR - NORMA BRASILEIRA (ABNT)
PETROBRAS - PETRÓLEO BRASILEIRO S.A .
PMCB - PREFEITURA MUNICIPAL DE CASA BRANCA
PUCE - PADRÃO - UNIDADE - COMPONENTE - AVALIAÇÃO
SBG - SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA
SPT - STANDART PENETRATION TEST
UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL
ORGANIZATION
UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
UZGG - UNIDADE DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ - massa específica do solo

β - afloramento de rocha básica

$\emptyset$ - não dependente

ρ_d - massa específica seca

$\rho_{d,máx}$ - massa específica seca máxima

ρ_s - massa específica dos sólidos

a - areia

Acb - índice de atividade definido como a massa (em g) de azul de metileno que pode ser adsorvida por 100g da argila contida no solo

al - aluviões

arenoso - material inconsolidado arenoso retrabalhado

argiloso - material inconsolidado argiloso residual

C - concentração de solução em normalidade

c - concentração de solução em g/l

c - argila

C₂ - percentagem de material com diâmetro menor que 0,002mm na amostra

CTC - capacidade de troca catiônica em meq/100g

e - índice de vazios

E - leste

FmSG1 - Formação Serra Geral 1

FmSG2 - Formação Serra Geral 2

g - grama

h - hora

K - coeficiente de permeabilidade

km - quilômetro

l - litro

m - metro

M - massa

meq - miliequivalente

ml - mililitro

mm - milímetro

n - porosidade

N - norte

°C - graus Celsius

S - sul

s - silte

SE - superfície específica

sedclas - afloramento de racha sedimentar clástica

Sgl - Subgrupo Itararé

siltoso - material inconsolidado siltoso residual

V - volume

Vb - massa (em g) de azul de metileno que pode ser adsorvido por 100g de solo

w - teor de umidade

W - oeste

w_{ot} - umidade ótima

x - dependente

x* - pouco dependente

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados do mapeamento geotécnico da região adjacente ao sítio urbano de Casa Branca (SP). Foi aplicada a proposta metodológica de ZUQUETTE (1987), com ênfase na utilização da técnica de avaliação de terrenos (*reconhecimento de landforms*) conforme sistemática proposta por LOLLO (1996) e no estudo de perfis típicos de materiais inconsolidados. Foram elaborados os seguintes documentos cartográficos: MAPA DE DOCUMENTAÇÃO, MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO, MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS, MAPA DE UNIDADES DE TERRENO, CARTA DE DECLIVIDADE e CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL. Dentre os documentos destaca-se a CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL que apresenta dados úteis para diversas finalidades e pode ser utilizada inclusive por pessoas não familiarizadas com a geotecnia.

ABSTRACT

This work presents the results of the engineering geological mapping procedures applied to the Casa Branca (SP) urban region. The method proposed by Zuquette (1982) was used, emphasizing the landform terrain evaluation proposed by Lollo (1996) and the research of typical unconsolidated profiles. The following cartographic maps were elaborated: DOCUMENTATION MAP; BEDROCK MAP; UNCONSOLIDATED MATERIALS MAP; LANDFORMS MAP; SLOPE CHART; ENGINEERING GEOLOGICAL ZONNING CHART. The ENGINEERING GEOLOGICAL ZONNING CHART presents valuable data for several uses, including professionals which are not used with geotechnical terms.

1. INTRODUÇÃO

Os objetivos desta dissertação são:

- reunir informações de interesse geotécnico a cerca da região ao redor do sítio urbano de Casa Branca;
- apresentar as informações de maneira regionalizada utilizando a metodologia de mapeamento geotécnico de ZUQUETTE (1987 e 1993) e a sistemática de avaliação de terrenos de LOLLO (1990).

A história da humanidade costuma ser marcada pelo avanço da técnica e pelos instrumentos usados no cotidiano. Assim surgiram os instrumentos de pedra, os metais, os teares, as máquinas a vapor, os motores elétricos e a explosão e os computadores.

Outra forma de avaliar a evolução do homem é a capacidade de ocupar regiões variadas e até mesmo sob condições adversas. A partir dos seus locais originais, provavelmente no norte da África e na Europa, a cerca de 70.000 anos, o homem foi capaz de ocupar os mais variados ambientes.

Mas o que poderia ter sido uma seqüência de aprimoramentos técnicos e sucessos, muitas vezes, resultou em grandes fracassos, com o conseqüente desperdício de recursos e degradação ambiental. Nestes casos fica evidente a desconsideração das potencialidades e limitações do meio físico.

Para ZUQUETTE (1987), a ocupação do meio físico brasileiro vem se dando de maneira inadequada, e a desconsideração das suas limitações tem

elevado os custos de implantação dos projetos, exigido a restauração de áreas que tenham sido desfiguradas.

A afirmação não é exclusiva para o Brasil e pode ser aplicada para outros países e em muitas situações. O mapeamento geotécnico surgiu para suprir esta necessidade de informações de utilidade prática.

O mapeamento geotécnico é uma ferramenta para as atividades antrópicas que modificam o meio ambiente. Segundo ZUQUETTE (1987), os produtos cartográficos finais, bem como os textos explicativos, podem ser utilizados por órgãos governamentais de ação planificadora, regulamentadora ou fiscalizadora e também por usuários particulares como documento básico para a prospecção geotécnica com fins específicos.

O mapeamento geotécnico, como instrumento de fiscalização, estabelece os limites da ação daqueles que exploram o meio físico. A ação fiscalizadora da atividade econômica deve ser exercida por órgãos governamentais, que em hipótese alguma pode repassá-la ao livre arbítrio.

Esta dissertação apresenta os resultados obtidos no mapeamento geotécnico de uma área ao redor do sítio urbano de Casa Branca (Estado de São Paulo - Brasil) com a aplicação da metodologia proposta em Zuquette (1987 e 1993).

2. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

2.1 METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

A necessidade de apresentar as características do meio físico de maneira clara, abrangente e prática foi sentida nos mais diversos países.

A solução dos problemas de representação destas características conduziu a um desenvolvimento convergente ao mapeamento geotécnico, mas sem que isso tenha significado uma homogeneidade de métodos e procedimentos. O caráter prático do mapeamento geotécnico e a necessidade de fornecer respostas rápidas resultaram no surgimento de diversas propostas metodológicas.

Num segundo momento, quando as propostas bem sucedidas ganharam destaque ou quando grandes organizações internacionais passaram a ter interesse pelo assunto, houve uma convergência de métodos, mas mesmo assim apenas em linhas gerais.

ZUQUETTE (1987 e 1993) apresentou estudos extensos a cerca de metodologias elaboradas por autores de diferentes nacionalidades.

PEJON (1992) classificou as metodologias em três grupos:

a) metodologias abrangentes, por exemplo IAEG-UNESCO (1976)¹ e da COMECON de MATULA (1968)²;

b) metodologias nacionais, por exemplo a metodologia espanhola de FARIAS et al. (1984)³, a italiana de BOTTINO & CIVITA (1976)⁴, a australiana de GRANT (1974)⁵,

¹ IAEG-UNESCO (1976) Guide pour la préparation des cartes géotechniques. Les Presses de l'UNESCO. Paris. 79p.

² MATULA (1968) Fundamental problems of regional engineering geology in the Czechoslovak Carpathians. XXIII International Geological Congress. Vol. 12 : 89-103.

a francesa de SANEJOAND (1972)⁶ e russa (ou soviética) de SERGEEV (1978)⁷, entre outras;

c) metodologias para o uso em situações específicas, por exemplo as cartas Zermos de HUMBERT (1977)⁸, a de solos instáveis de HINOJOSA & LEON (1978)⁹ e a sistemática de M. Humbert de HUMBERT & PACHOUD (1970)¹⁰.

CERRI (1990) registra como os primeiros mapeamentos geotécnicos realizados no Brasil os trabalhos de COULON (1974)¹¹, SEIGNEMARTIN et al. (1979)¹² e IPT (1980)¹³. O autor considera ainda que a cartografia geotécnica tem pouca importância no Brasil e aponta vários motivos para isso, por exemplo:

a) o uso indiscriminado de termos como mapa, carta e planta;

b) falta de continuidade no uso dos termos. As cartas geotécnicas produzidas no Brasil poderiam ser divididas em cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco, mas no entanto são utilizadas as mais variadas denominações;

c) grande variabilidade de critérios utilizados na elaboração das cartas;

d) escolha inadequada das escalas de apresentação dos documentos, sendo raras as cartas apresentadas em escalas maiores que 1:20.000;

³ FARIAS et. alii. (1984) Guia para la elaboracion de estudios del medio físico: contenido y metodologia. Centro de Estudios de Ordenacion del Territorio y Medio Ambiente. Espanha. 572p.

⁴ BOTTINO & CIVITA (1976) Engineering geological features and mapping of subsurface in metropolitan area of Turin, North Italy. Proceedings of the 5th International IAGE Congress, Buenos Aires. Vol. 6, pp 1741-1751.

⁵ GRANT, K. (1974) A systematic approach to mapping engineering geology. Proceedings of the 2th International IAGE Congress. São Paulo, 2: III P.C-2-11

⁶ SANEJOAND, R. (1972) La cartographie géotechnique em France. Paris, Ministère de l'Equipement et du Logement. D.A.F.U.; A.R.M.I.N.E.S., L.C.P.C.. 95P.

⁷ SERGEEV, E.M. (1978) Special purpose maps of geological environmental protection. Proceedings of 3rd International IAGE Congress. Madrid, PP. 125-131.

⁸ HUMBERT, M. (1977) La cartographie en France des zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol. Carte Zermos. Bull. of the Int. Ass. of Eng. Geology. Krefeld, (16): 80-82.

⁹ HINOJOSA, J.A. & LEON, C. (1978) Unstable soil mapping in Spain. Proceedings of the 3rd International IAGE Congress. Madrid, pp. 217-227.

¹⁰ HUMBERT, M. & PACHOUD, A (1970) Carte prévisionnelle de atabilité des terrains au val thorene 1:20.000, essai methodologique. Bureau Recherches géologiques minières, Orléans.

¹¹ COULON, F. K. (1974) Mapa geotécnico das folhas Morrotes e Montenegros. Porto Alegre. FAPERGS - Tecnosolo S.A, 58p.

¹² SEIGNEMARTIN, C. L. et. alii. (1979) Mapeamento geológico-geotécnico preliminar do município de America (SP). In: Segundo Simpósio Regional de Geologia, Rio Claro (SP). Anais...volume 2. (321-329).

¹³ IPT (1980) Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. São Paulo. (IPT Monografia 3).

e) grande diversidade de formas de integrar os dados;

f) falta de dados básicos, de corpos técnicos especializados e de recursos técnicos e financeiros.

Para PEJON (1992), os mapeamentos geotécnicos no Brasil começaram a ser realizados apenas nas duas últimas décadas. Nesses trabalhos foram aplicadas metodologias importadas porém adaptadas às condições brasileiras ou realizados estudos para resolver situações específicas. A maior parte foi realizada por universidades com finalidade de pesquisa, enquanto que outros realizados por empresas, normalmente por requisição de órgãos governamentais para a solução de problemas relacionados com áreas de riscos, como por exemplo os estudos do IPT nas encostas dos Morros de Santos e São Vicente.

ZUQUETTE (1993) faz uma análise dos trabalhos realizados no Brasil e considera que:

a) o número de trabalhos é muito pequeno;

b) podem ser divididos em quatro grupos:

- trabalhos desenvolvidos segundo metodologias e sistemáticas oriundas de outros países;

- trabalhos elaborados segundo a metodologia de ZUQUETTE (1987);

- trabalhos que apenas aprofundam observações geológicas tradicionais, com vistas à ocupação ou utilização da área;

- trabalhos sem orientação metodológica definida, mas que podem ser enquadrados na metodologia da IAEG-UNESCO (1976);

c) o detalhamento ainda é incipiente quando são consideradas as escalas de apresentação;

d) a discussão metodológica desenvolvida nos trabalhos é pequena, em especial quanto:

- à eficiência dos documentos;
- à representação das variações em terceira dimensão;
- à relação conteúdo / escala;
- ao controle de conteúdo e
- à relação eficiência / custo das investigações subsuperficiais.

Da análise das considerações dos autores citados podemos concluir que uma revisão detalhada dos trabalhos nacionais seria extensa e trabalhosa. Dificilmente os trabalhos poderiam ser agrupados segundo seus aspectos metodológicos.

Por outro lado, a descontinuidade dos trabalhos e de procedimentos impede de forma determinante o aperfeiçoamento tanto dos procedimentos quanto dos corpos técnicos.

2.2 METODOLOGIA ZUQUETTE (1987 e 1993)

A metodologia ZUQUETTE (1987 e 1993) é uma adaptação de metodologias estrangeiras que considera as características do nosso país. Foi, e continua sendo, utilizada pela grande maioria das dissertações e teses na área de mapeamento geotécnico da EESC/USP.

A metodologia é bastante ampla para ser aplicada tanto no planejamento regional quanto municipal ou em estudos de potencialidades, de viabilidade e em

áreas sujeitas aos perigos geológicos. Os resultados podem ser apresentados tanto de uma forma geral (zoneamento geotécnico geral ou de condições geotécnicas), quanto de uma forma específica (cartas de potencial, de viabilidade ou de risco).

São previstos, ainda, procedimentos para a investigação de áreas virgens e de levantamentos em escalas pequenas voltados para ações de planejamento, gestão ou gerenciamento da ocupação e da exploração econômica.

Segundo ZUQUETTE(1987, p. 226), "... a proposta metodológica tem como objetivo básico produzir documentos que auxiliarão nas diretrizes para implementar as formas de ocupação, sem que o meio físico sofra consequências desastrosas (...) O levantamento de informações do meio físico deverá ser executado por meios de técnicas e métodos que sejam simples, baratos e objetivos. Os atributos do meio físico devem ser classificados basicamente segundo características naturais e secundariamente por sistemas técnicos (...) o esqueleto básico deve permitir a sua aplicação em escalas variadas entre 1:50.000 e 1:10.000, através da alteração da densidade de pontos observados."

Mapeamento geotécnico conforme THOMAS (1970) apud ZUQUETTE (1987) é "um processo que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos do meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos e outros; tais informações deverão ser manipuladas de maneira tal que possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento e outros. As informações deverão ser manipuladas através de processos de seleção, generalização, adição e transformação, para que possam ser relacionadas, correlacionadas, interpretadas e no final representadas em mapas, cartas e anexos descritivos...". "Os produtos cartográficos finais e os textos explicativos, tem como objetivo a utilização por órgãos governamentais (...) de ação planificadora, regulamentadora ou fiscalizadora da utilização e ocupação do meio físico e também por usuários particulares como documento básico para a prospecção geotécnica com objetivos específicos."

A proposta metodológica pode ser resumida em três fases:

- a) esquematização do problema a ser investigado e definição dos atributos do meio físico que devem ser analisados;
- b) parcelamento da área em unidades, por hipótese homogêneas, em função das propriedades e relações dos atributos previamente selecionados;
- c) comprovação da solidez das unidades previamente definidas através de métodos experimentais.

Existem ainda quatro aspectos que devem ser analisados com atenção especial:

- a) a motivação do mapeamento, ou seja, com vistas a um problema ocorrendo ou com vistas ao planejamento.
- b) o princípio de obtenção das informações a cerca dos atributos. A obtenção das informações pode ser orientada segundo:
 - a densidade de informações para a escala prevista (ou a quantidade de dados obtidos em relação à área analisada). Deve ser adotado em locais onde existe grande quantidade de dados geotécnicos disponíveis e as investigações adicionais serão restritas às porções com deficiência de dados. A TABELA 2.1 mostra a sugestão do autor com relação a densidade de observações e a escala dos documentos elaborados;

TABELA 2.1: Princípios de obtenção de informações relativas aos atributos investigados no mapeamento geotécnico. Princípio da densidade de informações para a escala prevista. A tabela mostra a sugestão de ZUQUETTE (1987) para a quantidade de informações necessárias por unidade de área segundo a escala de apresentação de cartas geotécnicas.

Finalidade do mapeamento geotécnico	Escala	Número mínimo de pontos de observação por km ²						Áreas chaves	
		Atributos							
		Qualitativos				Quantitativos			
		Metamórfica e Ígneas		Sedimentares		Geral			
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	Escala	Pontos de observação por km ²
Básico	1:250.000	1/10	3162	1/10	3162	1/10	3162	1:50.000	1/1
Regional	1:100.000	4/10	1581	3/10	1825	2/10	2236	1:25.000	4/1
	1:50.000	6/5	912	1/1	1000	3/10	1825		
	1:25.000	3/1	577	2/1	707	1/10	1000		
Detalhe	1:25.000	5/1	447	4/1	500	4/10	500		
	1:10.000	15/1	258	15/1	258	10/1	316		
	1:5.000	25/1	200	20/1	223	15/1	258		
	1:2.000	40/1	158	35/1	160	25/1	200		

(1) pontos observados por km²

(2) distância entre os pontos observados (m)

- a análise seqüencial da paisagem em unidades de mapeamento hierarquizadas e razoavelmente homogêneas. Deve ser utilizado em áreas vastas ou onde as informações são escassas e as investigações planejadas serão praticamente as únicas informações geotécnicas disponíveis. A investigação é direcionada para a reunião de informações representativas das unidades de mapeamento pré-definidas pela análise da paisagem. O princípio básico é da extrapolação das informações obtidas, ou seja, paisagens semelhantes devem possuir atributos geotécnicos semelhantes;

c) mapeamento não convencional das unidades básicas de análise. As unidades geotécnicas devem ser definidas por atributos geotécnicos, vinculados a qualidade do material, e não necessariamente estratigráficos;

d) tipos de documentos cartográficos produzidos. A metodologia define que mapeamento geotécnico é a elaboração de uma série de documentos sobre o meio físico, que juntamente com outros que representam as condições biológicas e os aspectos sociais e econômicos, tornam possível a avaliação da viabilidade da ocupação frente às adequabilidades da área.

Os documentos cartográficos podem ser classificados em mapas e cartas:

- os mapas são documentos de caracterização da área e portanto não abordam aspectos que exigem interpretação ou estimativas de comportamento dos materiais;
- as cartas envolvem manipulação de dados de origens diversas, seleção de atributos, interpretações e estimativas de comportamento. A finalidade é apresentar um quadro dos aspectos de interesse geotécnico e ressaltar as potencialidades e restrições.

ZUQUETTE (1993) propõe uma análise completa com a elaboração de sete tipos de documentos, a saber: *fundamentais básicos, derivados ou interpretativos, analíticos básicos, de prognósticos de risco, de prognósticos e orientações quanto à ocupação e aos riscos, diretos para o usuário e de orientações conclusivas.*

Os mapas básicos são elaborados por meio dos métodos tradicionais de obtenção de dados, ou seja, sensoriamento remoto, observações de campo, investigações geofísicas ou geotécnicas, ensaios *in situ* ou de laboratórios e medições periódicas de fenômenos sazonais (dados do clima, do nível d'água, de escoamento básico...).

Os mapas derivados são elaborados a partir da hierarquização dos atributos do meio físico, os quais interferem nos processos ou conjuntos de processos, ou na caracterização geral ou específica de uma região. Os atributos são obtidos a partir dos mapas básicos; e as informações são cruzadas, sobrepostas e comparadas de forma a produzir um quadro das características gerais ou do potencial de um processo específico.

As formas de apresentação destes documentos são:

- a) mapa de condições geotécnicas gerais: o documento retrata todos os atributos, caracterizando o meio físico sem apresentar um zoneamento de áreas similares ou indicar potenciais ou limitações;

b) carta de zoneamento geotécnico geral: o documento retrata o ambiente através do zoneamento de áreas similares segundo os atributos considerados, mas não indica potencialidades. Neste caso, cabe ao usuário verificar as condições do local de interesse;

c) carta de zoneamento geotécnico específico ou cartas de potencial: a região é parcelada segundo os atributos que afetam um único uso ou processo natural. São claramente expostas as potencialidades ou limitações do meio àquele uso ou processo. A carta de zoneamento geotécnico específico é um documento útil, pois traduz as condições do meio físico de forma sintética e permite a sua utilização por profissionais das mais variadas formações.

As cartas analíticas, de prognósticos e conclusivas são elaboradas a partir dos mapas fundamentais ou da combinação destes em mapas derivados (cartas de aptidão, suscetibilidade ou vulnerabilidade) através do aumento de atributos considerados, do cruzamentos de cartas e agregação de novos conceitos como possibilidade, risco, vulnerabilidade, critérios de hierarquização e previsão de necessidades futuras.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudo está situada na porção centro-nordeste do Estado de São Paulo (FIGURA 3.1), nas Folhas 1:50.000 de Casa Branca (SF-23-V-C-V-4) e de Rio Tambaú (SF-23-V-C-V-2), entre os meridianos $47^{\circ}10'00''$ e $47^{\circ}00'00''$ W e paralelos $21^{\circ}43'00''$ e $21^{\circ}50'00''$ S. São cerca de 240km^2 no município de Casa Branca, incluindo o sítio urbano.

A cidade de Casa Branca dista cerca de 330km da cidade de São Paulo, sendo o seu acesso realizado pela Rodovia Anhangüera (SP-330) até a cidade de Porto Ferreira e depois pela SP-215. A partir de São Carlos, o acesso é realizado pela SP-215, por cerca de 116km.

FIGURA 3.1: Localização de Casa Branca no Estado de São Paulo. SP: São Paulo (capital) e CB: Casa Branca.

3.2 GEOLOGIA

A área pesquisada está inserida na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná. O arcabouço geológico é dividido em dois conjuntos estratigráficos: o Grupo Tubarão constituído por depósitos sedimentares originados em uma bacia intracratônica sob influência de clima glacial e pós-glacial no Paleozóico Superior (Permiano) e o Grupo São Bento constituído por corpos intrusivos ou extrusivos de rochas básicas de idade Mesozóica. Ocorrem, ainda, Depósitos Recentes constituídos por coberturas coluvionares e depósitos de aluviões de idade Cenozóica até o Recente.

3.2.1 GRUPO TUBARÃO

Segundo PETRI (1964), as rochas do Grupo Tubarão são reconhecidas como de origem glacial desde do início do século, quando WOODWARD (1912)¹⁴ identificou os conglomerados como tilitos.

No entanto, registros diretos da ação do gelo (rochas *moutonnée*, pavimentos e seixos estriados, *drumlins* e *ésqueres*, pseudomorfo de cunhas de gelo...) ainda são raros, mas podem ser encontrados nos trabalhos de ALMEIDA (1948), AMARAL (1965), ROCHA-CAMPOS et al.(1968), ROCHA-CAMPOS et al. (1977) e CAETANO-CHANG et al. (1990).

A divisão estratigráfica normalmente usada aponta a divisão do Grupo Tubarão em Subgrupo Itararé e Formação Tatuí. No entanto, também é utilizada a divisão do Grupo nas Formações Itararé, Aquidauana e Tatuí.

A denominação Tubarão é usada para identificar um grupo. A denominação Itararé é restrita aos depósitos com influência do ambiente glacial e é usado para denominar um Subgrupo, sendo que este já foi apresentado dividido em formações, fácies sedimentares ou unidades de mapeamento informais.

¹⁴ WOODWARD, J. B. (1912) Geological Expedition to Brazil and Chile. 1908-1909. Harvard College, Mus. Comp. Zool 55 (1): 1-137, 37 est.

A denominação Tatuí é restrita aos depósitos pós-glaciais e é usada para identificar uma Formação.

Outras denominações, como Rio Bonito e Palermo, não foram citadas na área estudada.

Para o Subgrupo Itararé, na região do Médio Tietê, existe certa continuidade na proposta de BARBOSA & ALMEIDA (1949)¹⁵ apud PETRI (1964) na divisão nas Formações Itu, Capivari, Gramadinho, Tietê, Itapetininga e Tupi, e posteriormente com a adição da Formação Elias Fausto por BARBOSA & GOMES (1958)¹⁶ apud SOARES et al. (1977).

No entanto, SOARES et al. (1977) afirmam que esta compartimentação é artificial e impossível de ser mapeada. Para os autores os pacotes são lateralmente descontínuos, não existem camadas-guias e limites bem definidos entre as unidades estratigráficas. No mesmo trabalho é sugerido que o Subgrupo Itararé pode ser mapeado através do reconhecimento de quatro associações litológicas que ocorrem na coluna estudada, e apresentam predominâncias de acordo com o nível estratigráfico. As características das associações e o seu arranjo espacial sugerem um sistema deposicional de progradação de sedimentos clásticos na forma de lobos deltáicos que retrabalharam depósitos variados, inclusive os verdadeiros depósitos glaciais. A FIGURA 3.2 mostra o arranjo das associações litológicas e o modelo deposicional proposto.

A denominação Aquidauana foi originalmente usada no Estado do Mato Grosso do Sul por ALMEIDA (1954)¹⁷ e por BEURLIN (1956)¹⁸ apud Sores et al. (1973), e trazida para São Paulo na denominação de depósitos continentais que afloram a norte do Rio Mogi - Guaçú. ALMEIDA et al. (1981) dividem o Grupo

¹⁵ BARBOSA, O. & ALMEIDA, F. F. M. de (1949) A série tubarão na bacia do Tietê, Estado de São Paulo, Brasil, Div. Geol. Min., Notas Prel. e Estudos ns. 48, 16p. 1 tab.

¹⁶ BARBOSA, O. & GOMES, F. A. (1958) Pesquisa de petróleo na bacia do Rio Corumbataí, Estado de São Paulo. D.N.P.M., D.G.M., Boletim 171.

¹⁷ ALMEIDA, F.F.M. de (1954) Geologia do Centro-Oeste Matogrossense. DNPM, Div. Geol. Mi., Bol. 150. Rio de Janeiro.

¹⁸ BEURLIN, K. A geologia pós-Algonquiana do sul do Estado do Mato Grosso do Sul: Brasil. Div. Geol. Moner., Bol. 163.

Tubarão nas Formações Itararé (a sul) e Aquidauana (a norte), com limite no Rio Mogi-Guaçu. Para eles, a Formação Aquidauana possui posição estratigráfica incerta, mas acreditam que a unidade é lateral, contemporânea e interdigitada com a Formação Itararé. O ambiente deposicional seria continental glacial, e marginal ao glacial com influência marinha da Formação Itararé. Predominam arenitos e siltitos avermelhados com lentes de arenitos grossos a seixosos e conglomerados, ocorrem folhelhos vermelhos ou esverdeados, conglomerados, diamictitos e ritmitos; são comuns clastos de feldspato e de rochas do Embasamento Cristalino.

SOARES et al. (1973) ao mapearem a região nordeste do Estado de São Paulo, sem contudo abranger a região de Casa Branca, definiram a Formação Aquidauana da seguinte forma "...predominam os arenitos em corpos lenticulares a tabulares de grande extensão, composição granulométrica muito variável, cores vermelho tijolo ou marrom avermelhado e estratificação planar de pequeno a médio porte. Na base da unidade temos arenitos conglomeráticos com seixos de quartzito e quartzo, matriz caulínica e grãos angulosos. No topo existem arenitos de granulação grossa a fina, com seleção regular a boa, muito pouca matriz e estratificações cruzadas de pequeno e médio porte (semelhantes ao Pirambóia)..." Os diamictitos possuem poucos seixos e matacões (5-15%), predominam os seixos de quartzito e granito, a matriz é mais arenosa que a da Formação Itararé (depósitos da região do Médio Tietê) e possui cor vermelha. As espessuras das camadas podem chegar a 30m, mas predominam os 5m. As camadas de diamictito possuem granudecrescência ascendente e a litologia varia de diamictito suportado por matriz a lamito arenoso. Siltitos maciços ou finamente laminados são freqüentes em toda a seção do Aquidauana.

FIGURA 3.2: Modelo deposicional para progradação de sedimentos continentais sob a forma de lobos deltaicos. No modelo, os depósitos de origem glacial (depositados com a efetiva ação das geleiras) são retrabalhados em planícies de lavagem por um sistema fluvial e redepositados num ambiente transicional de planície deltáica em progradação. Soares et al. (1977).

FIGUEIREDO FILHO & FRANKES (1968) comparando as seções Mococa - Casa Branca (norte) e Sorocaba - Itapetininga (sul), fizeram as seguintes observações:

- as rochas do Itararé são, em geral, mais grossas no norte, mas os diamictitos são menos expressivos;
- no norte, as espessuras dos diamictitos são menores, em média 2m, contra 8-10m no sul;
- no norte não ocorrem pacotes de origem marinha como no sul;
- no sul predominam os pacotes de rochas mais finas (folhelhos e siltitos), enquanto que no norte predominam os pacotes de rochas mais grossas;
- os pacotes de rochas no norte não apresentam a mesma ciclicidade observada no sul.

Estes fatos e outras observações indicariam para região norte uma sedimentação em ambiente fluvial ou marinho marginal (transicional).

O Grupo Tubarão engloba, ainda, uma seqüência pós-glacial denominada Formação Tatuí. SOARES (1972) propôs, mas não de forma conclusiva, a restrição do Grupo Tubarão ao ambiente glacial com a conseqüente passagem da Formação Tatuí para o Grupo Passa Dois.

Para PETRI (1964), a seqüência pós-glacial é constituído por arenitos finos e siltitos com freqüente estratificação cruzada, cores variegadas, mas predominando o vermelho chocolate na base e o verde no topo. No Estado de São Paulo, a unidade teria por volta de 40m.

SOARES (1972) definiu de forma muito mais detalhada a Formação Tatuí, ressaltando os siltitos como a litologia predominante, mas com níveis de calcário, arenitos e conglomerados e deu importância às ocorrências de sílex, carbonatos e

rochas clásticas com cimentação carbonática. O topo desta camada seria marcado por uma discordância erosiva entre esta e o Membro Taquaral da Formação Irati. A discordância, especialmente na região de Rio Claro e Araras, ocorre como um conglomerado delgado (não mais que 50cm) com clastos de arenito, sílex e grande quantidade de ossos e dentes. Apenas na região entre Araras e Ibicatu este conglomerado chega a ter 6m de espessura.

Para ALMEIDA et al. (1981), a Formação Tatuí é composta por depósitos marinhos com estratificação plano-paralela de cor vermelha arroxeada na parte inferior e esverdeada na parte superior. As litologias predominantes são os siltitos, mas aparecem ainda os arenitos finos em parte concrecionados, calcários e sílex.

3.2.2 GRUPO SÃO BENTO

As ocorrências de rochas básicas não foram mapeadas com o mesmo detalhe que as ocorrência do Grupo Tubarão, assim, as descrições existentes são bastante breves e genéricas.

SOARES et al. (1973) descrevem as rochas básicas da Formação Serra Geral com vários tipos de texturas e em corpos na forma de *sill*, apófises e diques. Os autores ressaltam a dificuldade na definição das estruturas encontradas, que ora indicam corpos intrusivos, ora extrusivos. Os indicativos mais seguros da natureza intrusiva ou extrusiva dos corpos são as relações de campo, especialmente do contato superior, sendo que em muitas oportunidades estas relações estão encobertas por areias mais recentes.

3.2.3 DEPÓSITOS RECENTES

Os Depósitos Recentes são aluviões e coluviões que apresentam notável extensão e recobrem áreas muito amplas. São denominados como Recentes em contraposição às rochas de idade Paleozóica e Mesozóica.

O tratamento dado aos depósitos coluvionares é muito diverso. Estes materiais podem ser citados como uma unidade estratigráfica, no caso a Formação

Pirassununga (IG,1983), como latossolos de vários tipos (IPT, 1990 e 1997) ou ainda não serem mapeados como em ALMEIDA et al. (1981). Em razão desta razoável multiplicidade de interpretação estes depósitos são escassamente conhecidos.

3.3 GEOMORFOLOGIA

Segundo a Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo, proposta por ALMEIDA (1964), a área de estudo está inteiramente localizada na Província Geomorfológica da Depressão Periférica. Esta província é dividida em três zonas e seus limites respeitam os divisores das bacias hidrográficas dos Rios Paranapanema (Zona do Paranapanema), Tietê (Zona do Tietê) e Pardo/Mogi-Guaçu (Zona do Mogi-Guaçu). A Zona do Mogi-Guaçu, onde está localizada a área de estudo, segundo o autor, é a região mais típica da Depressão Periférica.

Foram destacadas as seguintes características:

- a) predominância de rochas do Grupo Tubarão e de abundantes *sills* e lacólitos de diabásio com dimensões variadas;
- b) relevo predominante de "...campos extremamente uniformes, com vales amplos, pouco profundos, abrigando cursos d'água em cujas margens são freqüentes planícies aluviais arenosas, bem como terraços.", ALMEIDA (1964, p. 241);
- c) a variabilidade litológica do Grupo Tubarão não se reflete no relevo suave e monótono. Apenas alguns morros de pequena altura denunciam a presença de intrusões maiores de diabásio;
- d) todo sistema de drenagem é controlado e desviado pelas ocorrências de rochas básicas em direção ao Rio Mogi-Guaçu ou ao Rio Pardo, que são as únicas drenagens a ultrapassar as cuestas basálticas em direção ao Rio Grande.

PONÇANO et al. (1981) elaboraram o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo a partir do detalhamento da divisão proposta por ALMEIDA (1964). A

região de Casa Branca foi definida como uma área de degradação em planaltos dissecados, onde predominam relevos pouco movimentados, como colinoso (com declividades menores que 15% e amplitudes topográficas locais menores que 100m), morros com encostas suavizadas (declividades menores que 15% e amplitudes topográficas locais entre 100 e 300m) e morrotes (declividades acima de 15% e amplitudes topográficas locais inferiores a 100m).

FURLANI (1980) analisou perfis geo-topográficos em diversas direções numa extensa área no entorno de Casa Branca e apontou a existência de quatro superfícies topográficas. Mostrou, ainda, a íntima relação entre as formas do relevo com uma camada superficial de sedimentos neoceno-zóico ("manto arenítico vermelho"), o que explicaria porque ALMEIDA (1964) afirmou que a variabilidade litológica do Grupo Tubarão não interfere no relevo.

3.4 SOLOS

A Carta dos Solos do Estado de São Paulo do MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1960)¹⁹ modificada por FURLANI (1980) aponta as seguintes correspondências entre o substrato geológico e as coberturas pedológicas (TABELA 3.1).

IPT (1997) apresenta o levantamento de solos mais recente para a área de Casa Branca na forma do Mapa de Levantamento de Solos do Município, na escala 1:50.000. Esse mapa foi baseado numa interpretação preliminar dos tipos de solos por associação com o mapa geológico (análise geológica), descrição morfológica de perfis de solos em sondagens a trado e em trincheiras, correlação entre os solos e as formações geológicas, análises granulométricas e ensaios físico-hídricos e químicos. Os autores apontam as seguintes correspondências entre as unidades do substrato geológico e as classes de solos (TABELA 3.2).

¹⁹ MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1960) Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Contribuição à carta de soloim do Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas, número 12, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro.

TABELA 3.1: Correspondência entre o substrato geológico e as coberturas pedológicas.
Fonte: modificado de Furlani (1980).

substrato geológico	cobertura pedológica
Depósitos quaternários (aluviões)	hidromórfico
Formação Serra Geral	latosol roxo
Formações Aquidauana, Teresina e Serra Alta e os depósitos terciários (*)	latosol vermelho amarelo - fase arenosa
Pré-Cambriano (**)	latosol vermelho amarelo - orto e podzólico vermelho amarelo - orto

(*) as Formações Teresina e Serra Alta e os depósitos terciários ocorrem apenas fora da área de interesse deste trabalho.

(**) os terrenos Pré-Cambrianos (embasamento cristalino) ocorrem apenas fora da área de interesse deste trabalho.

TABELA 3.2: Formações geológicas, litologias e as correspondentes classes de solo.
Fonte: modificado de IPT (1997).

Formação Geológica	Rocha	Classe de Solos
Serra Geral	diabásio	Latossolo Roxo eutrófico, textura argilosa a muito argilosa
Aquidauana	argilitos	Latossolo Vermelho Escuro distrófico, A moderado, textura muito argilosa
Aquidauana	lamitos	Latossolo Vermelho Escuro distrófico e eutrófico, A fraco, textura argilosa
Aquidauana	arenitos	Latossolo Vermelho Escuro distrófico, A moderado, textura média
Aquidauana	lamitos	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, A fraco, textura argilosa
Aquidauana e Pirassununga	arenitos lamíticos e arenitos	Latossolo Vermelho Amarelo álico a distrófico, A moderado a fraco, textura média
Cenozóico Indiferenciado	arenito médio consolidado	Podzólico Vermelho Amarelo, A moderado, textura arenosa/média
Quaternário	areias, argilas e cascalhos	Solos Hidromórficos
Vários	-	Cambissolos e Litólicos

3.5 VEGETAÇÃO ORIGINAL E OCUPAÇÃO DO SOLO

FURLANI (1980) elaborou um esboço da distribuição primitiva da vegetação na região. Para o autor, haviam três tipos de vegetação: o cerrado ocupava as

áreas de depósitos neoceno-zóicos e solos arenosos, a floresta latifoliada tropical ocupava as ilhas de solo argiloso em meio ao cerrado e as matas ciliares acompanhavam as drenagens. Esse arranjo seria ladeado pela floresta latifoliada tropical, predominante nas Províncias Geomorfológicas das Cuestas Basálticas (a oeste) e do Planalto Atlântico (a leste).

IGC (1985), na Carta de Uso e Ocupação do Solo de Ribeirão Preto, na escala 1:250.000, apontou como principal uso das terras em Casa Branca as pastagens e/ou áreas não cultivadas e as culturas anuais (milho, soja, arroz, algodão, feijão, batata) e, em menor quantidade, plantações de cana-de-açúcar e reflorestamento.

PRANDINI et al. (1990) afirmam que a região, desde o fim da década de 80, passa por um surto de modernização da agricultura através da adoção de técnicas de irrigação. Esta intensificação de atividades vem provocando uma modesta aceleração do crescimento urbano.

IPT(1997) elaborou o Mapa de Uso e Ocupação das Terras do Município de Casa Branca (escala 1:50.000) a partir da análise de cartas anteriores, do uso de processamento digital de imagens de satélite e controle de campo. A distribuição em área das categorias de uso e ocupação das terras adotadas pode ser observada na TABELA 3.3.

Na tabela, observamos o uso intensivo do solo, através de culturas como citrus, cana-de-açúcar, culturas temporárias e pastagens, em detrimento de usos mais conservadores do solo, como vegetação residual ou secundária e reflorestamento. No entanto, o uso mais freqüente do solo é como pastagem (37,50%), o que, pelo menos teoricamente, seria menos agressivo ao solo que a cana-de-açúcar e os citrus.

TABELA 3.3: Distribuição em área das categorias de uso e ocupação das terras no município de Casa Branca, SP. Fonte: modificado de IPT (1997)

Grupo de categorias	categorias de uso e ocupação	área	
		hectares	%
Vegetação de porte alto a médio	vegetação secundária / capoeirão	111,08	0,13
	reflorestamento	5318,97	6,15
Subtotal		5430,05	6,28
Vegetação de porte médio a baixo	capoeira / cobertura residual	4715,99	5,45
	citrus	11885,20	13,75
	cana-de-açúcar	9479,58	10,96
Subtotal		26080,75	30,15
Vegetação de porte baixo a rasteiro	pastagens e várzeas	32440,67	37,50
	culturas temporárias	21786,85	25,18
Subtotal		54227,52	62,68
Outros usos: naturais e antrópicos	espelho d'água	145,98	0,17
	área urbana	615,68	0,71
Subtotal		761,66	0,88
Total		86500,00	100,00

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ORIENTAÇÕES METODOLÓGICAS

Esta dissertação segue a metodologia de mapeamento geotécnico proposta por ZUQUETTE (1987 e 1993). A escolha justifica-se como parte de um objetivo maior, ou seja, aplicar os seus procedimentos em situações variadas, na expectativa de aprimorar os seus métodos e os documentos produzidos. Esse esforço vem traduzindo-se, ao longo dos anos, em várias dissertações e teses produzidas no Departamento de Geotecnia da EESC/USP.

Dentre os artigos, dissertações e teses voltados para o mapeamento geotécnico elaborados segundo a mesma orientação metodológica, influenciaram em maior ou menor grau esta dissertação os trabalhos de PEJON (1992), LOLLO (1996), LOLLO & ZUQUETTE (1996), ZUQUETTE & PEJON (1996), GOMES (1997), BACHION (1998) e NISHIYAMA (1998).

4.2 OPERAÇÕES SOBRE OS MAPAS

O objetivo de um mapeamento é gerar documentos cartográficos capazes de localizar (definir a distribuição geográfica) das variações das propriedades (os atributos) do meio físico.

A afirmação acima, quando aplicada ao mapeamento geotécnico, traduz à necessidade de encontrar formas de mapear e representar as distribuições geográficas das propriedades ou atributos do meio físico de interesse à geologia de engenharia.

Mapeamentos geotécnicos são elaborados por diversos grupos de pesquisa e com relativa liberdade, basta ver a grande variedade de procedimentos metodológicos propostos.

Em razão disto, é útil definir alguns conceitos válidos para este trabalho, como distribuição geográfica, atributo e informação:

a) DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA é a expressão areal representada em um mapa ou carta de uma determinada unidade. A unidade pode ser definida, por exemplo, por um atributo do meio físico (unidade litológica, clinométrica, de material inconsolidado...) ou por um conjunto de atributos (unidade geotécnica, de potencial, de suscetibilidade, de viabilidade...);

b) ATRIBUTO "... é o elemento básico para a realização de um mapeamento. Um grupo de atributos ou um único atributo forma a unidade ou indivíduo, que caracteriza a base para a análise de uma área" ZUQUETTE (1987, p. 5). O atributo é cada uma das características do meio físico que pode ser analisado isoladamente e que em conjunto descrevem o todo de uma maneira compreensível. Por exemplo: substrato rochoso, declividade e materiais inconsolidados.

Uma das vantagens proporcionada pela aplicação do conceito de atributo no mapeamento geotécnico é a possibilidade de estabelecer hierarquias. Por exemplo, de posse de um grupo de atributos que caracterizam uma área pode-se, por hipótese, definir uma hierarquia de forma que um atributo tenha a sua distribuição geográfica como a resultante da influência de um determinado subconjunto de outros atributos. Este primeiro atributo seria considerado distintivo e os segundos fundamentais, sendo que quanto maior for o subconjunto definido, maior será a importância deste atributo para o mapeamento geotécnico, pois será possível considerar que a distribuição geográfica deste atributo distintivo é indicativa das distribuições geográficas dos atributos fundamentais. Portanto, considera-se que existe uma relação de dependência entre os *atributos distintivos* e os *fundamentais*.

Os atributos fundamentais são definidos por si só, como por exemplo a litologia, declividade de uma vertente e textura do material inconsolidado; já os distintivos estão em função dos atributos considerados fundamentais, como por exemplo os *landforms*, a permeabilidade, a CTC de um solo e perfil de alteração de uma litologia. A análise de relações entre os atributos deve ser realizada cuidadosamente.

c) a INFORMAÇÃO qualifica o atributo. Por exemplo, a litologia arenito qualifica o atributo substrato rochoso de um determinado local. A distribuição geográfica do atributo é definida pela variação das informações. O limite entre uma unidade relativa a um determinado atributo e outra é definido por uma mudança significativa nas informações recolhidas.

As informações por ser classificadas em cinco tipos (ou apresentar cinco aspectos, como define ZUQUETTE (1987)):

- informação sintética: são observações que se esgotam em si mesmas. A sua existência, valor ou sinal não permite conclusões sobre a sua causa ou o seu significado. Por exemplo: espessura do solo, profundidade do nível d'água;
- informação semântica ou qualitativa: a observação é enquadrada na forma de um sistema de classificação. Assim, uma palavra tem um significado específico e este significado não é sujeito a interpretações, pois as classificações são normatizadas ou consolidadas pelo uso. Exemplo: textura de rocha ou solo, compacidade do solo, graus de alteração em rocha;
- informação pragmática: é a informação cujo significado ou utilidade irá depender da habilidade ou da necessidade do usuário. Por exemplo: presença de argilas expansivas em um solo, arenito com cimentação carbonática ou solo eutrófico;
- informação numérica: é a observação obtida por meio de medidas, ensaios ou cálculos. Por exemplo: os índices físicos do solo, limites de consistência e plasticidade, SPT;

- informação gráfica: a informação é uma observação contínua dentro de um intervalo delimitado no espaço geográfico. Por exemplo: perfil de sondagem, seção geológica e mapa.

4.3 ELABORAÇÃO DE CARTAS DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL (CZGG)

A definição de unidades de zoneamento geotécnico geral (UZGG) só é possível a partir da manipulação dos atributos. Para isso, é necessário definir os processos de manipulação dos atributos, sendo a hierarquização o mais importante para esta dissertação. Ou seja, a definição dos atributos distintivos, que por sua vez irão definir a distribuição geográfica dos demais atributos e conseqüentemente das unidades de zoneamento geotécnico geral.

De acordo com ZUQUETTE (1987) esta definição pode ser realizada através do uso de matrizes de atributos do tipo atributo X atributo, como por exemplo na matriz da TABELA 4.1, onde o atributo A1 apresenta relação com o maior número de outros atributos e pode ser considerado distintivo.

TABELA 4.1: Matriz do tipo atributo X atributo utilizada para definir o(s) atributo(s) distintivos(s) dentro de um conjunto considerado. No exemplo temos que o atributo A1 apresenta relações de dependência com o maior número de outros atributos. Fonte: modificado de Zuquette (1987).

	A1	A2	A3
A1	-	X	X
A2	X	-	
A3	X		-

Com relação à definição do(s) atributo(s) distintivo(s), é interessante ressaltar que esta escolha deve ser direcionada para o(s) atributo(s) que possa(m) ter a sua distribuição geográfica representada em carta, sem que para isso seja necessário elevar os custos do mapeamento.

A partir da definição do(s) atributo(s) distintivo(s) é possível analisar as informações disponíveis sobre os atributos e realizar cruzamentos com objetivos de definir as UZGG.

É elaborada uma matriz do tipo atributos distintivos X atributos fundamentais. A TABELA 4.2 mostra os atributos considerados no exemplo (A1...A3) e as respectivas classes de variação dos atributos (ou classificação das informações). A TABELA 4.3 exemplifica a definição das UZGG com base em uma matriz do tipo atributo distintivo X atributos fundamentais.

TABELA 4.2: Apresenta os atributos considerados no exemplo, sendo A1 o atributo distintivo, e a classificação das informações sobre os atributos (ou as classes de variação dos atributos).

Atributos	classificação das informações sobre os atributos
A1 (distintivo)	classes 1, 2, 3 e 4
A2 (fundamental)	classes 1 e 2
A3 (fundamental)	classes 1, 2 e 3

TABELA 4.3: Exemplo da definição de UZGGs tendo como base a elaboração de uma matriz do tipo atributo distintivo X atributo fundamental, sendo A1 o atributo distintivo e A2 e A3 os atributos fundamentais.

	A2classe 1	A2classe 2	A3classe 1	A3classe 2	UZGG
A1classe 1	X		X		1
A1classe 1	X			X	2
A1classe 1		X	X		3
A1classe 1		X		X	4
A1classe 2	X		X		5
A1classe 2	X			X	6
A1classe 2		X	X		7
A1classe 2		X		X	8
A1classe 3	X		X		9
A1classe 3	X			X	10
A1classe 3		X	X		11
A1classe 3		X		X	12

No exemplo são criadas as UZGGs de 1 a 12 e estas qualificadas pelas classes de cada um dos atributos. Teoricamente são criadas tantas UZGGs quantas forem possíveis pela combinação das classes dos atributos, mas isso não ocorre, pois várias UZGGs não se concretizam no cruzamento dos documentos cartográficos.

Existe a possibilidade de agrupar duas ou mais UZGGs razoavelmente semelhantes numa única unidade nova, desde que a nova unidade contemple todo o intervalo de variação das classes dos atributos das UZGGs originais.

4.4 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DOS TERRENOS

LOLLO (1996) fez uma revisão da técnica de avaliação dos terrenos e descreveu trabalhos elaborados em vários países (Reino Unido, Estados Unidos da América, Austrália, África do Sul, Hong Kong, Holanda, União Soviética e Brasil).

Para o entendimento da técnica de avaliação dos terrenos é recomendável a leitura de LOLLO (1996), LOLLO & ZUQUETTE (1996) e ZUQUETTE & PEJON (1996).

Para LOLLO (1996, p. 5) "A primeira observação importante acerca do método de avaliação do terreno é que o mesmo se baseia no reconhecimento, interpretação e análise de feições do relevo (denominadas *landforms*) as quais, sendo reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, devem refletir as condições dos mesmos".

O termo "landform" foi definido como "...porção do terreno originada de processos naturais e distinguível das porções vizinhas (demais *landforms*) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização de canais, inclinação de vertentes, e amplitude de relevo."(p. 54).

A área analisada é parcelada em níveis hierárquicos de sistemas de terreno (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elementos de terreno (*land element*), de acordo com a necessidade e os objetivos desejados.

LOLLO (1996) apresenta ainda as seguintes definições para sistema, unidade e elemento de terreno:

a) sistema de terreno é uma "...associação de formas de relevo com expressão espacial determinada e que representa condições similares de processos evolutivos de materiais associados." (p. 56). Os sistemas de terreno reúnem *landforms* com histórias de evolução da paisagem semelhante sobre substratos geológicos também semelhantes quanto à natureza sedimentar, ígnea ou metamórfica;

b) unidade de terreno é a "...forma individual do terreno que se distingue das outras às quais está associada por indicar um determinado subconjunto de processos do sistema de terreno no qual se situa. Estas características devem se refletir como diferenças em termos do material inconsolidado associado à unidade." (p. 59);

c) e elemento de terreno é "...parte de uma forma individual do relevo distinguível das demais partes em termos de inclinação ou forma da vertente, posição topográfica, ou forma topográfica, e que deve refletir condições diferenciadas de espessura de materiais inconsolidados ou variações laterais no perfil destes materiais." (p. 62).

ZUQUETTE & PEJON (1996) apresentaram definições pouco diferentes para os mesmos conceitos e acrescentaram um nível hierárquico mais elevado denominado província:

a) província de terreno "...é uma associação de sistemas de terrenos e unidades combinadas, uniformes normalmente em termos de litologia." (p. 167);

b) sistema de terreno é "...a parcela do meio físico constituída por um conjunto de *landforms* relacionados em termos de gênese e litologia, mas diferentes dos outros conjuntos." (p.167);

c) unidade de terreno é "...a parcela do meio físico representada por um *landform* ou uma associação de *landforms* homogêneos ou que reúne alguma particularidade seletiva ou ainda por um conjunto de componentes de terreno. A unidade de terreno deve sempre refletir características diferentes das outras dentro de um mesmo sistema. A unidade deve ser definida com base em critérios relacionados ao relevo, gênese e composição." (p.166-167);

d) elemento de relevo são "...as subdivisões das unidades de terreno onde as variações mais importantes para a sua definição são as formas de encosta ou de drenagens; sendo uniformes em termos de litologia, forma de vertente e perfil de alteração" (p. 167).

A análise destes dois conjuntos de definições não aponta grandes discrepâncias. O segundo conjunto de definições é apenas mais amplo em relação ao primeiro, mas em momento algum torna inviável a sua utilização simultânea.

A sistematização da técnica de avaliação dos terrenos proposta por LOLLO (1996, p. 75) é constituída das seguintes atividades:

a) Levantamento de informações e materiais: material fotográfico e cartográfico, informações de investigações geotécnicas anteriores executadas na área estudada e obtenção ou elaboração da base cartográfica;

b) Uso de foto aéreas / avaliação do terreno:

- montagem do foto-mosaico;

- delimitação de sistemas de terreno: interpretação do foto-mosaico; fotointerpretação preliminar; uso de mapas topográficos; generalizações; fotointerpretação final; mapa de sistemas de terreno;

- delimitação das unidades de terreno: fotoanálise preliminar; trabalho de campo preliminar; generalizações; fotoanálise final; trabalho de campo final; mapa de unidades de terreno;

- delimitação dos elementos de terreno: fotodedução preliminar; trabalho de campo preliminar; generalizações; fotodedução final; trabalho de campo final; mapa de elementos de terreno;

c) Uso de mapas anteriores: verificação e análise;

d) Caracterização geotécnica das unidades: amostragem e ensaios;

e) Elaboração de mapas e documentos relacionados.

Na presente dissertação foi adotado este roteiro de ação numa tentativa de reproduzir os resultados obtidos pelo primeiro autor.

O produto final é apresentado na forma de mapas de *landforms* para níveis hierárquicos diferentes (sistema, unidade e elemento), que acompanhados da descrição detalhada dos *landforms* e da caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados, torna-se uma carta de zoneamento geotécnico geral. O documento pode ser ainda uma carta de zoneamento geotécnico específico, se considerado um uso ou ocupação específico ou a solução de um problema.

4.5 MATERIAIS UTILIZADOS E DADOS ANTERIORES

Na elaboração desta dissertação foram utilizadas as seguintes fontes primárias de informações:

a) Levantamentos aerofotogramétricos:

- SECRETARIA DA AGRICULTURA DO ESTADO DE SÃO PAULO, ano de 1962 na escala 1:25.000. Coleção Prospec - Levantamentos, Prospecções e Aerofotogrametria S/A ;

- IBC-GERCA, ano de 1971 na escala 1:25.000. Serviço Aerofotogramétrico da Cruzeiro do Sul S/A ;

- SEP/CAR/IGC Região de Ribeirão Preto, ano de 1984 na escala 1:35.000. Base Aerofotogrametria e Projetos S/A .

b) Mapas Topográficos:

- Folha Ribeirão Preto (SF-23-V-C) na escala 1:250.000 do IBGE, publicada no ano de 1985;

- Folhas Casa Branca (SF-23-V-C-V-4) e Rio Tambaú (SF-23-V-C-V-2) na escala 1:50.000 do IBGE, publicada no ano de 1971;

c) Cartas temáticas:

- Mapa "Folha Geológica Provisória de Casa Branca" na escala 1:100.000, IGG (1965).

- Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo na escala 1:1.000.000, Almeida et al. (1981);

- Mapa Geológico do Estado de São Paulo na escala 1:500.000, Ponçano et al. (1981);

- Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Folha Ribeirão Preto, na escala 1:250.000 (Folha SF-23-V-C), UNESP (1982);

- Mapa "Formações Geológicas de Superfície, Folha Geológica de Casa Branca", na escala 1:50.000, IG (1983);

- Carta de Utilização das Terras do Estado de São Paulo, Folha Ribeirão Preto na escala 1:250.000, IGC (1985);

No campo das geociências, os principais trabalhos de referência sobre a área de estudo são:

- SOARES et al. (1973) apresentam o levantamento geológico, em escala de semi-detulhe, mais próximo da área estudada, sem contudo abrangê-la.
- FURLANI (1980) mapeou as feições erosivas de uma extensa área no município de Casa Branca, caracterizou o meio físico e os processos erosivos.
- IPT (1990) executou estudos básicos que visaram o conhecimento do meio físico (solos, recursos hídricos e clima) para o planejamento de irrigação;
- IPT (1997) complementou os estudos básicos de conhecimento do meio físico para o planejamento de irrigação e sugeriu técnicas para o aumento da produtividade agrícola.

d) Informações anteriores:

A recuperação de informações geotécnicas pré-existentes foi uma atividade infrutífera. Existem poucas obras civis de porte no município e as informações mais antigas foram perdidas. No entanto, foi possível recuperar alguns relatórios de perfuração de poços, fichas cadastrais de poços (cadastro DAEE) e perfis de solos de IPT (1990 e 1997).

4.6 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados no segundo semestre de 1997 e no primeiro semestre de 1998, em várias etapas de três ou quatro dias cada. No total foram locados 132 pontos de observação (0,55 pontos por km²) e coletadas 35 amostras deformadas de solos em 21 pontos de coleta.

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

Os materiais inconsolidados foram caracterizados segundo a forma do relevo, a variabilidade do material, o arranjo dos materiais nos perfis, análise tátil-visual (estimativa da textura), cor, espessura, presença de linhas de seixos e origem (retrabalhado ou residual).

Os afloramentos de rochas foram caracterizados segundo a relação de contato com o material inconsolidado (abrupto ou transicional), forma e atitude do topo rochoso (horizontal, ondulado ou irregular), descrição da litologia (textural, estruturas e avaliação do grau de alteração), relações de contato entre litologias (vertical, horizontal, interestratificado) e definição da unidade de mapeamento (associações litológicas).

Num segundo momento, as informações coletadas nos pontos foram interpretadas de acordo com a distribuição dos *landforms*. O objetivo foi sugerir generalizações quanto a distribuição e espessuras dos materiais inconsolidados. Estas generalizações foram enriquecidas por informações recolhidas em caminhamentos pré-definidos considerados representativos dos *landforms* e finalmente consolidadas em perfis típicos de materiais inconsolidados. As amostras deformadas dos materiais inconsolidados foram coletadas ao longo dos caminhamentos.

Os perfis típicos de materiais inconsolidados são seções verticais ideais, elaboradas a partir da generalização das informações obtidas de fontes diversas, que organizam as camadas de materiais inconsolidados e indica intervalos de espessura como típicos para aquele material em determinada posição topográfica.

4.7 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Na escolha dos ensaios a serem realizados foram considerados a sua importância intrínseca à pesquisa, sua rapidez relativa, simplicidade e custos. Cabe ressaltar que, segundo a metodologia adotada, estes ensaios não pretendem, de forma alguma, substituir uma prospecção geotécnica convencional para uso em projeto.

Os ensaios foram realizados nos laboratórios do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Os ensaios visaram a determinação textural (análise granulométrica conjunta), massa específica dos sólidos, ensaio de compactação normal (Proctor), massa específica seca (método do anel) e CTC (adsorção de azul de metileno).

4.7.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA CONJUNTA

As curvas granulométricas foram obtidas por meio de análise granulométrica conjunta, segundo a Norma NBR-7181/84 (ABNT MB-32).

4.7.2 MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS

O índice físico " ρ_s " (massa específica dos sólidos) foi obtido segundo a Norma NBR-6508/84 (ABNT MB-28).

4.7.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMAL (PROCTOR)

Os índices " $\rho_{d,máx}$ " (massa específica seca máxima) e " w_{ot} " (umidade ótima) foram obtidos segundo Norma NBR-7182/86 (ABNT MB-33).

4.7.4 ENSAIO DO ANEL (MASSA ESPECÍFICA SECA APARENTE)

O índice " ρ_d " (massa específica seca aparente) quantifica a densidade do material inconsolidado em seu estado natural. Foi estimado por meio do método do anel proposto por ZUQUETTE (1987). O método serve apenas como indicativo do valor de " ρ_d ", pois difere da norma existente para este fim.

O procedimento visa talhar no campo um corpo de prova com as dimensões exatas do anel utilizado, usualmente com 10cm de diâmetro e 5cm de altura (393cm³). O material é transferido para um saco plástico e fechado de forma a evitar ao máximo a perda de umidade. Em laboratório são determinadas a massa

de solo coletado e a sua umidade; posteriormente o "pd" é determinado utilizando as seguintes fórmulas:

Para:

Mw = massa de solo coletado em g;

V_{anel} = volume do anel em cm³ ;

w = umidade do solo coletado;

ρ = massa específica do solo em g/cm³;

pd = massa específica seca em g/cm³

$$\rho = Mw / V_{anel}$$

$$pd = \rho / (w+1)$$

4.7.5 ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO

O ensaio de adsorção de azul de metileno foi realizado segundo as orientações de PEJON (1992). Através do ensaio é possível:

- a) determinar a CTC (capacidade de troca catiônica) do solo;
- b) estimar a composição mineralógica e os teores de misturas de argilas do solo;
- c) estimar a atividade da fração argila do solo;
- d) prever o comportamento laterítico ou não-laterítico por correlação com a classificação MCT (Miniatura , Compactado, Tropical).

O método é fundamentado no fato de os argilo-minerais possuírem superfícies específicas características. O azul de metileno (cloridrato de metiltiamina - C₁₆H₁₈N₃SCI.3H₂O) é um corante orgânico que em solução aquosa forma cátions azul de metileno (C₁₆H₁₈N₃S⁺) capazes de deslocar os cátions Na⁺, Ca⁺, K⁺, Mg²⁺ e H₃O⁺ adsorvidos aos argilo-minerais de uma amostra de solo.

O procedimento do ensaio é determinar a quantidade exata de uma solução de concentração conhecida de azul de metileno necessária para saturar de cátions

azul de metileno uma amostra de solo (com peso e porcentagem de argila conhecidos).

Para que os resultados sejam considerados válidos é necessário considerar que os cátions azul de metileno formam uma camada monocatiônica sobre as partículas de argilas.

Conhecendo-se a quantidade de solução gasta na saturação é possível calcular a CTC da amostra (FÓRMULA 1), a superfície específica (SE) de 1g de amostra (FÓRMULA 2), o índice Vb (FÓRMULA 3), o índice Acb (FÓRMULA 4), estimar a natureza das argilas contidas no solo por meio dos valores de CTC (TABELA 4.4), possíveis teores de mistura de argilas por meio dos índices Vb (FIGURA 4.1) e Acb (FIGURA .2) e a atividade das argilas contidas no solo por meio do índice Acb (TABELA 4.2).

Para maiores detalhes quanto aos fundamentos teóricos, procedimentos de ensaio e bibliografia original é recomendável consultar PEJON (1992).

$$CTC = (V \times C \times 100) / M \text{ (FÓRMULA 1)}$$

$$SE = (3,67 \times V) / M \text{ (FÓRMULA 2)}$$

$$Vb = (c \times V) / 10 M \text{ (FÓRMULA 3)}$$

$$Acb = (100 \times Vb) / C_2 \text{ (FÓRMULA 4)}$$

Onde:

CTC = capacidade de troca catiônica em meq/100g;

SE = superfície específica em m²/g;

Vb = massa (em g) de azul de metileno adsorvida a 100g de solo;

Acb = índice de atividade da fração argila definido como a massa (em g) adsorvida a 100g da argila contida no solo;

V = volume de solução gasta em ml;

M = massa de solo seco em g;

C = concentração da solução de azul de metileno em normalidade;

c = concentração da solução de azul de metileno em g/l;

C₂ = porcentagem de material com menos de 0,002mm de diâmetro na amostra.

TABELA 4.4: Capacidade de troca catiônica (CTC) obtidas por métodos químicos tradicionais de diferentes tipos de argilas. Modificado de BEAULIEU (1979)²⁰ por PEJON (1992). Fonte: Pejon (1992)

Argila	CTC (meq/100g)
caolinita	3 - 15
haloisita 2 H ₂ O	5 - 10
haloisita 4 H ₂ O	10 - 40
ilita	10 - 40
montmorilonita	80 - 150
clorita	10 - 40
atapulgita	20 - 30
vermiculita	100 - 150

FIGURA 4.1: Influência da mineralogia das argilas sobre a adsorção de azul de metileno, LAUTRIN (1987)²¹ apud PEJON (1992).

Composição mineralógica da fração argila

a - 100 % K +	0 % I +	0 % M	K - caulinita
b - 95 % K +	5 % I +	0 % M	
c - 95 % K +	0 % I +	5 % M	I - ilita
d - 0 % K +	100 % I +	0 % M	
e - 80 % K +	0 % I +	20 % M	M - montmorilonita
f - 10 % K +	45 % I +	45 % M	
g - 0 % K +	98 % I +	2 % M	
h - 15 % K +	0 % I +	85 % M	
i - 10 % K +	0 % I +	90 % M	

²⁰ BEAULIEU, J. (1979) Identification géotechnique de matériaux argileux naturels par la mesure de leur surface au moyen du bleu de méthylène. Thèse de doctorat de 3^o cycle, Univ. de Paris-Sud, Orsay, 133p.

²¹ LAUTRIN, D. (1987) Une procédure rapide d'identification des argiles. Bull. Labo. P. Ch. 152, nov. déc., pp. 75-84.

FIGURA 4.2: Diagrama da atividade das argilas pelo método do azul de metileno, LAUTRIN (1989)²² apud PEJON (1992).

Outra possibilidade de uso para o ensaio de adsorção de azul de metileno é a estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico por meio de correlação, proposta por PEJON (1992), com a classificação MCT.

NOGAMI & VILLIBOR (1979 e 1981) apresentaram peculiaridades dos solos tropicais paulistas não eficientemente analisadas pelas classificações geotécnicas tradicionais. Constatadas as limitações, NOGAMI & VILLIBOR (1981) propuseram uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. A classificação é fundamentada na separação segundo o comportamento laterítico (solos de melhor qualidade para a finalidade proposta - aterros e taludes escavados - e que na maioria das vezes passaram por processos de laterização ou pedogênese evoluída) ou não laterítico (solos de pior qualidade para a finalidade proposta - aterros e taludes escavados - e que normalmente são solos residuais jovens ou solo de alteração de rocha).

²² LAUTRIN, D. (1989) Utilisation pratique des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans les projets de génie civil. Bull. Labo. P. et Ch., fevr.-mars., pp. 53-65.

COZZOLINO & NOGAMI (1993) denominaram esta divisão de Classificação Geotécnica MCT (miniatura, compactado, tropical).

PEJON (1992) ressalta que a Classificação MCT mostra-se bastante eficiente, mas é trabalhosa e exige um tempo relativamente grande para a sua execução. A correlação entre o ensaio de adsorção de azul de metileno e a Classificação MCT, testada pelo autor, foi bastante boa quando os índices V_b e A_{cb} são lançados em gráfico contra os teores de argila no solo. O autor sugeriu que $V_b = 1,5$ (FIGURA 3.3) ou $A_{cb} = 4$ seriam os limites superiores para os solos de comportamento laterítico e que $A_{cb} = 5$ (FIGURA 3.4) seria o limite inferior para os solos de comportamento não laterítico.

FIGURA 4.3: Índice de adsorção de azul de metileno V_b em função da porcentagem de argila dos materiais inconsolidados, mostrando o comportamento laterítico ou não laterítico, obtido com a classificação MCT (notar limite $V_b = 1,5$). Fonte: PEJON (1992).

FIGURA 4.4: Índice de adsorção de azul de metileno da fração argilosa A_{cb} em função da porcentagem de argila dos materiais inconsolidados, mostrando o comportamento laterítico ou não laterítico obtido com a classificação MCT (notar limites $A_{ch} = 4$ e $A_{cb} = 5$). Fonte: PEJON (1992).

GOMES (1997) repetiu os mesmos procedimentos de correlação e confirmou os limites propostos anteriormente para o índice A_{cb} . Para o índice V_b a distribuição das amostras de comportamento laterítico e não laterítico foi dispersa.

BACHION (1997), que também repetiu os procedimentos de correlação, sugeriu que o limite entre os solos de comportamento laterítico e não laterítico em gráficos V_b contra teores de argila seria uma reta inclinada onde $f(x) = 0,0556x$ e em gráficos A_{cb} contra teores de argila o limite superior dos solos lateríticos seria $A_{cb} = 5$.

No presente trabalho estas experiências anteriores foram utilizadas para estimar o comportamento laterítico ou não laterítico dos solos analisados.

4.7.6 FÓRMULAS DE CORRELAÇÃO

Os índices obtidos por meio de fórmulas de correlação foram:

a) "e" (índice de vazios) e "n" (porosidade):

$$e = (\rho_s / \rho_d) - 1$$

$$n = e / (1 + e)$$

b) "K" (coeficiente de permeabilidade) segundo a proposta de HONORATO & MACKENNA (1975):

$$K = 14,266 (D_{50}^{2,19735} / \rho_d^{8,50784})$$

4.7.7 ESTIMATIVAS DE COMPORTAMENTO

Estimativas são embasadas em modelos, e estes em reduções ou generalizações de situações reais. Portanto, estimativas apenas sugerem os comportamentos normalmente esperados em situações complexas.

De acordo com o objetivo da estimativa, o resultado pode ser bom, aceitável ou até mesmo ruim. A qualidade de uma estimativa irá depender do modelo adotado ou ainda dos parâmetros utilizados para as reduções ou generalizações.

Estimativas de comportamento de materiais inconsolidados justificam-se em, pelo menos, quatro situações:

a) quando o acervo de dados disponíveis sobre um tipo de terreno permite que se realizem extrapolações com segurança;

b) quando se pretende apenas um reconhecimento das potencialidades e limitações de um terreno pouco conhecido;

- c) quando a disponibilidade de tempo ou os recursos financeiros são reduzidos e;
- d) quando a utilização pretendida da área prescinde de dispêndios elevados, ou seja, se as solicitações são pequenas ou a responsabilidade da obra é reduzida.

O presente trabalho pode ser encaixado no item b. Para os materiais inconsolidados pesquisados foram estimadas a erodibilidade, a escavabilidade, as possibilidades para mineração ou empréstimo de material e o comportamento laterítico (segundo definição adotada pela Classificação MCT).

A erodibilidade foi considerada como uma medida da resistência do material à erosão pluvial. Os agentes erosivos considerados foram o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial, que são responsáveis pela desagregação do solo e pelo transporte de partículas. A estimativa foi embasada na análise dos seguintes aspectos:

- a) dados granulométricos: a predominância da fração areia fina em relação à argila ou à presença da fração silte em quantidade significativa (cerca de 40%) foi considerada como fator de diminuição da resistência do solo à erosão;
- b) observação dos materiais no campo e laboratório: estimativa do comportamento laterítico por meio dos resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno, da agregação do solo (organização das partículas em "torrões" estáveis) e a presença ou não de cimentação superficial em taludes;
- c) observação da distribuição de feições erosivas em relação aos limites das unidades de materiais inconsolidados mapeados;
- d) observação da integridade de taludes escavados em solo

Na análise da integridade de taludes escavados (rodoviários e ferroviários) é necessário fazer ressalvas quanto às suas condições. Isso porque a degradação observada não deve ser totalmente atribuída à qualidade do material escavado,

mas também às condições de construção, de manutenção e possíveis agressões posteriores.

A escavabilidade foi considerada como uma medida da facilidade ou dificuldade envolvida na escavação de maciços. Os aspectos analisados foram: profundidade do substrato rochoso, textura do material inconsolidado, presença de matacões, presença de camadas laterizadas (crostas lateríticas), presença de camadas orgânicas, profundidade do nível d'água e condições de drenabilidade.

A TABELA 4.5 apresenta os aspectos analisados e as variantes consideradas como favoráveis ou desfavoráveis. A coluna de justificativas tenta esclarecer dúvidas ou casos extremos.

TABELA 4.5: Aspectos considerados na estimativa da escavabilidade dos materiais .

aspecto analisado	condição favorável	condição desfavorável	justificativas
profundidade do substrato rochoso	profundo	raso	perfis de materiais inconsolidados profundos permitem escavações amplas e fornecem grande quantidade de material para aterro
textura do material inconsolidado	grossos	finos	areias apresentam melhores condições de trabalhabilidade
presença de matacões	pequenos ausentes	ou grandes abundantes	ou a presença de matacões dificulta a escavação, sendo necessário em algumas oportunidades o uso de explosivos
presença de camadas laterizadas (crostas lateríticas)	delgadas, ausentes ou desagregadas	espessas ou duras	semelhante aos matacões, a presença de camadas laterizadas espessas e contínuas dificulta a escavação
presença de camadas orgânicas	delgadas ausentes	ou espessas	solos orgânicos normalmente são moles e necessitam ser substituídos
profundidade do nível d'água	profundo	raso	escavações abaixo do nível d'água exigem procedimentos de bombeamento e rebaixamento
condições de drenabilidade	terrenos elevados como boa drenabilidade	terrenos baixos ou encharcados	ou terrenos bem drenados são mais facilmente trabalhados

As estimativas das possibilidades para mineração e empréstimo de materiais para aterro foram embasadas fundamentalmente nas atividades de exploração que já estão em curso.

O comportamento laterítico foi estimado por meio da correlação do ensaio de adsorção de azul de metileno com a Classificação MCT. As conclusões podem ser úteis em estudos preliminares de obras que envolvam movimentação de terra, como por exemplo estradas e aeroportos. Os procedimentos de correlação já foram explicitados no item 4.8.5 (Adsorção de Azul de Metileno).

5 DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

5.1 DOCUMENTOS FUNDAMENTAIS BÁSICOS

Seguindo as orientações metodológicas de ZUQUETTE (1987 e 1993), conforme já exposto no Capítulo 2 desta dissertação, foram elaborados os seguintes documentos fundamentais básicos: MAPA DE DOCUMENTAÇÃO, MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO, MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS, MAPA DE *LANDFORMS* e a CARTA DE DECLIVIDADE.

5.1.1 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

O MAPA DE DOCUMENTAÇÃO mostra as informações reunidas nesta pesquisa e aponta a sua origem. A área mostrada no mapa extrapola os limites da área pesquisada em razão do aproveitamento de informações coletadas além dos limites estabelecidos inicialmente. A utilização destas informações justifica-se pela absoluta carência de dados geológicos ou geotécnicos.

A origem das informações utilizadas foram:

- a) 132 pontos de observação em afloramentos de rocha e/ou material inconsolidado;
- b) 21 pontos de coleta de amostras de materiais inconsolidados, onde foram coletadas 35 amostras deformadas;
- c) 61 perfis pedológicos descritos em IPT (1990 e 1997), sendo 24 no interior da área mapeada;

- d) 16 perfis de poços tubulares profundos, sendo 10 no interior da área mapeada;
- e) 21 relatórios de perfuração de poços tubulares.

5.1.2 MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO

No MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO foram representadas duas unidades estratigráficas formais: o Subgrupo Itararé, que ocupa a parte leste da área e a Formação Serra Geral (subdividida em concordante e discordante), que ocupa a parte oeste.

5.1.2.1 SUBGRUPO ITARARÉ

O Subgrupo Itararé é constituído por uma variedade de rochas sedimentares clásticas organizadas em camadas tabulares interestratificadas. São encontrados, com maior frequência, dois tipos de associação litológica: folhelho - siltito e arenito - diamictito. No Mapa do Substrato Rochoso é representada apenas a unidade estratigráfica indivisa, denominada como Subgrupo Itararé.

a) associação folhelho - siltito:

A associação folhelho - siltito ocorre na maior parte da área de afloramento do Subgrupo Itararé. É constituída por uma seqüência de camadas interestratificadas de folhelho e siltito de espessuras variadas (de alguns milímetros a um metro). As cores predominantes são o vermelho escuro para o folhelho e o bege para o siltito, ocorrendo ainda camadas de folhelhos verdes.

A melhor exposição desta associação é na extração de argila da Cerâmica Casa Nova (ponto de observação 18 e FOTO 01, 02 e 03), a nordeste de Casa Branca, mas podem ser encontrados afloramentos em todo o vale do Córrego Lambari, do Córrego dos Cocais e do Córrego da Figueira.

Um conjunto de diques subverticais de rocha básica com espessuras de até 1m e direção EW corta as camadas desta associação litológica. As melhores

exposições dos diques estão na extração de argila da Cerâmica Casa Nova (ponto de observação 18 e FOTO 02) e na Rodovia SP-340, que liga Casa Branca a Mococa (ponto de observação 29 e FOTO 04).

b) associação arenito - diamictito:

A associação arenito - diamictito ocorre de forma bem mais restrita, em especial nas cabeceiras do Córrego dos Cocais e do Ribeirão das Figueiras (área urbana de Casa Branca). São camadas tabulares de lamitos roxos, arenitos finos a médios de cor rosa, arenitos médios a grossos feldspáticos de cor branca, diamictitos maciços com seixos de granito, lamito e arenito lamoso de cor cinza, branca ou levemente verde.

As melhores exposições desta associação são as grandes boçorocas que bordejam a área urbana de Casa Branca (pontos de observações 30, 36, 129 e 44 e FOTOS 05, 06, 07 e 08) e o cruzamento da ferrovia com a Rodovia SP-215, que liga Santa Cruz das Palmeiras a Casa Branca, a sul da cidade (ponto de observação 11 e FOTOS 09 e 10).

5.1.2.2 FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral é constituída por rochas básicas. As ocorrências destas rochas podem ser concordantes (*sills*) ou discordantes (diques de pelo menos dois tipos).

a) corpos concordantes (FmSG1)

Os corpos concordantes ocupam a porção oeste da área mapeada e estão em continuidade com as rochas básicas que afloram amplamente ao redor da cidade de Santa Cruz das Palmeiras (FOTO 11). Esta relação de continuidade é importante pois, na área mapeada, as rochas básicas podem estar recobertas por depósitos espessos de coluvião arenoso.

O recobrimento por depósitos arenosos prejudica o mapeamento das rochas básicas, uma vez que mascara o típico solo argiloso de cor vermelho escuro.

As melhores exposições desta unidade são os Morros do Cruzeiro, a noroeste da área, e da Ponte Alta, a sul da cidade de Casa Branca. No Mapa de Substrato Rochoso estas rochas são identificadas como FmSG1 (rochas básicas intrusivas concordantes).

b) corpos discordantes (FmSG2)

Os diques podem ser divididos, de acordo com as suas espessuras, em dois tipos.

Os do primeiro tipo possuem espessuras de até um metro e normalmente são observados em afloramentos cortando as camadas da associação folhelho - siltito do Subgrupo Itararé (FOTOS 02 e 04).

Os diques do segundo tipo formam cristas alongadas, morros de topos agudos ou escarpas que ressaltam em meio ao relevo mais arrasado das áreas sedimentares. Essas feições do relevo possuem entre 0,25 a 0,5km² e não definem um *trend* estrutural (FOTO 14).

As rochas encontradas nestas áreas apresentam texturas variadas, ocorrem desde diabásios com textura fanerítica fina até gabros de textura fanerítica grossa, incluindo-se os termos texturais intermediários.

No Mapa de Substrato Rochoso os diques delgados não são assinalados e os mais espessos são identificados como FmSG2 (Formação Serra Geral - rochas básicas intrusivas e discordantes).

5.1.3 MAPA DE LANDFORMS

O MAPA DE *LANDFORMS* foi elaborado segundo as recomendações de LOLLO (1996), já citadas no item 4.4 (Técnica de Avaliação de Terrenos).

É prudente definir, antes de mais nada, os critérios de descrição e a terminologia utilizada. A descrição foi baseada no reconhecimento dos tipos de *landforms*, na forma dos trechos de vertente e na descrição dos padrões de drenagens. Assim:

a) *landforms*: são feições individuais que podem ser delimitadas e analisadas separadas das demais feições do terreno, por exemplo, uma colina, um morro ou uma montanha.

A unidade de análise básica do MAPA DE *LANDFORMS* é a unidade de terreno, sendo que estas unidades são formadas por conjuntos de *landforms* razoavelmente semelhantes. As unidades de terreno são agrupadas em sistemas de terreno segundo os critérios expostos no Capítulo 4.

A terminologia utilizada foi extraída da classificação de sistema de relevo utilizada por PONÇANO et al. (1981) para o Estado de São Paulo e da proposta de PIRES NETO (1992). O sistema de descrição adotado (TABELA 5.1) privilegia como critérios de distinção a amplitude topográfica local e a declividade generalizada das vertentes.

Amplitude topográfica local é a diferença de cotas topográficas entre o topo do *landform* e os canais de drenagens estáveis que drenam a bacia.

Declividade generalizada é o intervalo de declividade, representado na CARTA DE DECLIVIDADE, que predomina em toda ou em parte da área de interesse.

TABELA 5.1: Sistema de descrição adotado para as unidades de terreno ou *landforms*. Modificado de PONÇANO et al. (1981) e PIRES NETO (1992).

LANDFORMS	AMPLITUDE TOPOGRÁFICA	DECLIVIDADE GENERALIZADA	OBSERVAÇÕES
TERRAÇOS ALUVIAIS	~0	~0	Depósitos fluviais recentes e elevados em relação ao canal de drenagem atual. Estes depósitos foram entalhados devido ao rebaixamento do nível de base local ou soerguimento tectônico da área. Potencialmente não estão sujeitos à inundação.
COLINAS	< 100m	< 15%	Relevo característico dos terrenos pouco dissecados pelo ciclo de erosão atual. Normalmente possuem vertentes extensas e sem rupturas de declive.
MORROS COM ENCOSTAS SUAVIZADAS	100 a 300m	< 15%	São áreas com amplitudes topográficas maiores, mas normalmente associados a sistemas de drenagens com baixa densidade. Resulta em formas de relevo mais amplas e com declividades menores. Os trechos de vertentes podem apresentar grandes diferenças de declividades.
MORROTES	< 100m	> 15%	São áreas com menores amplitudes topográficas ou relevos de menor extensão areal e normalmente associados à sistema de drenagem com alta densidade.
MORROS	100 a 300m	> 15%	Relevo característico dos terrenos mais dissecados pelo ciclo erosivo atual.
MONTANHAS	> 300m	> 15%	Ocorrem importantes desníveis topográficos em razão das litologias apresentarem comportamento heterogêneo de resistência à erosão ou devido à soerguimento tectônico. Para o Estado de São Paulo, este tipo de relevo é associado com os terrenos cristalinos.
RAMPAS	-	< 6%	São áreas planas e elevadas que correspondem aos restos de uma antiga superfície de aplainamento. Nestas áreas não tem sentido falar em amplitude topográfica local pois esta é muito pequena.
TESTEMUNHOS	-	-	Formas residuais que registram a existência de um nível de aplainamento anterior que não foi inteiramente consumido pelo ciclo erosivo atual. Nestas áreas não é possível definir declividades e amplitudes características, pois a existência ou não de formas residuais tem relação com a intensidade dos agentes erosivos e do estágio de desenvolvimento do ciclo erosivo atual.
VALES	variável	variável	Conjunto de vertentes relacionadas pelo nível de dissecamento do relevo e contribuindo para um mesmo canal de drenagem.

b) descrição da forma dos trechos de *landforms*: a terminologia utilizada é de uso comum em trabalhos de avaliação de terrenos, mas aqui foram escolhidas nomenclaturas estritamente descritivas. Por exemplo, os fundos de vale são descritos como chato, plano, arredondado ou agudo e não em forma de "V" ou em forma de "U", que também poderia ser utilizado, mas são normalmente usados para distinguir vales fluviais de glaciais. Os trechos de *landforms* considerados na

descrição foram: topo, vertente, fundo de vale, cabeceira de drenagem e rupturas de declive (TABELA 5.2).

TABELA 5.2: Descrição da forma dos trechos de *landforms*.

TRECHOS DE <i>LANDFORMS</i>	TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES
VERTENTES são reconhecidas como todo o intervalo desde o cume até o fundo de vale. As nomenclaturas e definições são as usualmente utilizadas.	CÔNCAVO-RETILÍNEA-CONVEXA CÔNCAVA CÔNCAVA-CONVEXA CONVEXA RETILÍNEA (FIGURA 5.1)
TOPOS dos <i>landforms</i> foram reconhecidos como os trechos das vertentes à montante de rupturas de declive positivas, mesmo que suavizadas.	PLANO ACHATADO ARREDONDADO AGUDO (FIGURA 5.2)
FUNDOS DE VALES foram reconhecidos como os trechos de vertente à jusante das quebras de relevo negativas localizadas no 1/3 inferior das vertentes e quando estas não existiam a partir de limites arbitrários.	PLANO/CHATO: quando possui planícies aluvionares expressivas. ARREDONDADO: quando não possui planícies aluvionares ou estas são pequenas e quando não existem entalhes erosivos no leito das drenagens. AGUDO: quando os leitos das drenagens são entalhadas por erosão fluvial. O tipo agudo indica um relevo que está passando por um processo de rejuvenecimento.
CABECEIRAS DE DRENAGENS: são áreas que apresentam as maiores declividades e de onde partem as drenagens (ou nascentes).	PRESERVADAS: as consideradas estáveis são aquelas que por algum motivo (preservação da vegetação natural, prática de manejo de solo ou ausência de um escoamento superficial mais efetivo) não foram degradadas por processos erosivos. INSTÁVEIS (DEGRADADAS): são as cabeceiras de drenagens entalhadas por processos erosivos atuais ou pré-atuais (já em fase de estabilidade e com fixação de vegetação invasora) COM LAGOAS: são cabeceiras de drenagem particulares que formam lagoas arredondadas e com fundos chatos. Da maior parte destas lagoas partem drenagens tênues, mas outras parecem não ter conexão com o sistema de drenagem superficial.
RUPTURAS DE DECLIVE	- CONVEXA/POSITIVA: ABRUPTA SUAVIZADA - CÔNCAVA/NEGATIVA (FIGURA 5.3) ABRUPTA SUAVIZADA

c) descrição dos padrões de drenagem (TABELA 5.3): os padrões de drenagem são descritos quanto à sua densidade na área e o seu arranjo espacial.

Os termos utilizados na descrição do arranjo espacial das drenagens foram retirados dentre os normalmente utilizados, mas foi dada preferência aos mais simples e que suscitassem poucas dúvidas.

TABELA 5.3: descrição dos padrões de drenagem.

CRITÉRIOS	TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES
DENSIDADES DE DRENAGEM são estabelecidas por comparação dentro da área pesquisada.	ALTA: possui mais de 3 canais de drenagens por km^2 MÉDIA: possui de 1 a 3 canais de drenagens por km^2 BAIXA: possui menos de 1 canal de drenagem por km^2
PADRÕES DE DRENAGENS foram definidos segundo o arranjo em planta das drenagens. As denominações utilizadas foram escolhidas dentre os termos normalmente utilizados para este fim.	RETANGULAR CABECEIRAS DE DRENAGEM COM LAGOAS SUBPARALELO PARALELO DENDRÍTICO SUBDENDRÍTICO (FIGURA 5.4)

FIGURA 5.1: Perfil esquemático das vertentes (1 - côncava/retilínea/convexa, 2 - côncava, 3 - côncava/convexa, 4 - convexa e 5 - retilínea). Modificado de Soares & Fiori (1976).

FIGURA 5.2: Perfil esquemático das formas de topos (1 - plano, 2 - achatado, 3 - arredondado e 4 - agudo).

FIGURA 5.3: Perfil esquemático das ruptura de declive (1 - convexa/positiva abrupta, 2 - convexa/positiva suavizada, 3 - côncava/negativa abrupta e 4 - côncava/negativa suavizada).

FIGURA 5.4: Arranjo esquemático em planta dos padrões de drenagem (1 - retangular, 2 - cabeceiras de drenagens com lagoas, 3 - subparalelo, 4 - paralelo, 5 - dendrítico e 6 - subdendrítico). Modificado de Soares & Fiori (1976).

No MAPA DE *LANDFORMS* foram representados 3 Sistemas de Terreno que foram divididos em 9 Unidades de Terreno (TABELA 5.4), e estes, por sua vez, relacionados a 9 Perfis Típicos de Materiais Inconsolidados. A utilização da natureza do substrato na denominação dos sistemas de terreno não deve ser encarada de maneira categórica. Este relacionamento foi utilizado apenas para facilitar a divisão dos sistemas de acordo com tipo de substrato predominante em

grandes áreas dentro da região pesquisada, assim dentro do sistema assentado sobre rochas básicas existe uma unidade caracterizada por possuir substrato de rochas sedimentares, sendo que a situação inversa também é verificada.

No próximo item são apresentadas as descrições dos Sistemas de Terreno, nomeados por números de 1 a 3, das Unidades de Terreno, nomeados como 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1 e 3.2, e dos Perfis Típicos de Materiais Inconsolidados, nomeados de (1) a (9).

TABELA 5.4: Sistemas e unidades de terreno representadas no MAPA DE LANDFORMS.

SISTEMAS	UNIDADES
1. TERRENOS "BAIXOS" COM SUBSTRATO DE ROCHAS BÁSICAS	1.1 COLINAS COM VERTENTES CONVEXAS
	1.2 COLINAS COM VERTENTES CÔNCAVAS
	1.3 VALES DISSECADOS
	1.4 TESTEMUNHOS DE RAMPAS
2. TERRENOS "BAIXOS" COM SUBSTRATO DE ROCHAS SEDIMENTARES	2.1 MORROTES EM TERRENOS DE ROCHAS SEDIMENTARES
	2.2 COLINAS
	2.3 MORROTES SUSTENTADOS POR ROCHAS BÁSICAS DISCORDANTES
3. TERRENOS ELEVADOS	3.1 RAMPAS
	3.2 MORROS COM ENCOSTAS SUAVIZADAS

Os perfis típicos de materiais inconsolidados, são empilhamentos de camadas de materiais inconsolidados considerados característicos de determinadas áreas. Na apresentação dos perfis, as camadas são nomeadas conforme as unidades do MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS e são separadas por uma barra (/), por exemplo: "material arenoso retrabalhado espesso (de 5 a 10m) / linha de seixos (0,05 a 0,1m) / rocha sedimentar".

As TABELAS 5.5., 5.6 e 5.7 apresentam quadros resumos das principais características das unidades de terreno e as FIGURAS 5.10a e 5.10b mostram os 9 perfis de materiais inconsolidados definidos na área.

5.1.3.1 SISTEMA 1 - TERRENOS "BAIXOS" COM SUBSTRATO DE ROCHAS BÁSICAS

Áreas extensas e contínuas que abrangem várias colinas relativamente semelhantes e que ocupam todo o oeste da área. Tem como características:

- a) topos extensos achatados e contínuos, declividades baixas com predomínio da classe 0- 2%;
- b) predomínio de vertentes convexas longas com declividades entre 2-6%, mas com pequenos trechos, próximos aos fundos de vale, com declividades de 6-12% ou 12-20%;
- c) vertentes côncavas, às vezes encimadas por escarpas rochosas;
- d) o relevo, na maior parte da área, é pouco dissecado pelo ciclo de erosão atual. A principal característica dos vales é possuir fundos planos devido ao entulhamento por aluviões, em especial nas drenagens mais importantes (Ribeirão da Cachoeira e Córrego da Estiva);
- e) ocorrem cabeceiras de drenagem preservadas, instáveis (ou degradadas por erosões) e com represamento da drenagem formando lagoas;

A maior parte das cabeceiras de drenagem do Sistema de Terreno 1 passaram ou passam por processos de degradação por erosão remontante acelerada. O resultado desta degradação é a formação de boçorocas de grande porte.

As boçorocas são facilmente delimitadas em fotos aéreas pois possuem comprimento e largura significativos, taludes verticais vegetados ou não e cristas de taludes marcadas por rupturas de declive muito abruptas.

No início do atual ciclo erosivo, as cabeceiras de drenagem recebiam os grandes volumes de água pluvial coletados nas extensas áreas de montante

(Unidades de Terreno 1.1, 1.2 e 1.4). A substituição da vegetação natural por culturas e pastagens aumentou a energia do escoamento superficial, proporcionou o destacamento e transporte de partículas e a formação das feições erosivas.

Num segundo momento, estágio que caracteriza a maioria das erosões encontradas na área, o volume de água pluvial coletado é pequeno pois os taludes estão mais próximos dos divisores. Também a energia do escoamento superficial é menor, pois, vencido o desnível mais pronunciado dos taludes de cabeceira, a água passa a escoar sobre a superfície quase plana do fundo do talvegue (nível de base local). A partir deste momento passa a predominar, como processo evolutivo, a instabilidade dos taludes devido aos descalçamentos de base e à ação do próprio peso do solo. A evolução das feições é consideravelmente mais lenta.

Como consequência dos processo erosivos, os sedimentos produzidos contribuem de forma decisiva no assoreamento das drenagens e na degradação dos recursos hídricos superficiais. A degradação diz respeito tanto a escassez de água (diminuição das vazões das drenagens perenes), quanto a possibilidade de ocorrerem inundações com maior frequência nas baixadas.

Já as cabeceiras de drenagens com lagoas são feições com nível freático raso e drenados por cursos d'água perene ou intermitente. Ocorrem lagoas drenadas por canais tênues ou sem aparente conexão com o sistema de drenagem superficial. Algumas destas feições foram efetivamente barradas para formarem lagoas de acumulação de água para uso agrícola. Os perfis de materiais inconsolidados destas áreas não foram investigados, mas é provável que sejam areias ou areias argilosas submetidas freqüentemente à condição de encharcamento.

5.1.3.1.1 COLINAS COM VERTENTES CONVEXAS

São *landforms* com amplitudes topográficas menores que 100m, densidade de drenagem média ou baixa com padrão subdendrítrico, altitudes máximas por volta de 680m e fundos de vale por volta de 640-600m.

Os topos são planos, as vertentes são convexas e possuem por volta de 4km de comprimento (do cume até o fundo do vale). As vertentes apresentam declividades baixas, entre 2-12% e ruptura de declive positiva suavizada no terço inferior. À jusante das quebras, próximo aos fundos de vale e nas cabeceiras de drenagem, as declividades aumentam para 12-20% ou até 30%;

As planícies aluvionares são extensas e estão restritas às drenagens principais, enquanto as demais drenagens apresentam fundos de vales arredondados (com planícies aluvionares pequenas) ou agudos (com entalhes erosivos);

A área é muito pobre em afloramentos naturais, devido à baixa declividade, e artificiais, devido à ocupação do solo ser agrícola. Não existem sítios urbanos nos seus limites e as obras civis estão restritas à Rodovia SP-215, às linhas de alta tensão, às estradas secundárias (de terra) e às sedes de propriedades agrícolas.

Os perfis de materiais inconsolidados definidos para esta unidade são:

a) arenoso retrabalhado espesso (de 5 a 10m) / rocha básica (4): predomina nas porções mais elevadas das formas de relevo. O local típico deste perfil é o ponto de observação e amostragem 01, onde a espessura aparente do material arenoso superficial é de 4m e a camada inferior não é aflorante. A profundidade do substrato rochoso é de difícil determinação devido à ausência de exposições profundas ou de poços tubulares;

b) arenoso retrabalhado espesso (de 5 a 10m) / rocha básica (4) passando lateralmente para silteoso residual / rocha sedimentar (9): ocorre nas formas menos elevadas e nas meias-encostas das formas de relevo mais elevadas. A camada de material arenoso apresenta continuidade desde o topo até próximo aos fundos de vales, onde pode passar a aparecer os materiais argilosos oriundos da alteração das rochas básicas ou os materiais silteosos oriundos da alteração das rochas do Subgrupo Itararé. O local típico de exposição destes materiais é representado pelos campos agrícolas localizados ao sul da SP-215, entre os Ribeirões da Cachoeira e dos Cocais. São exemplos da ocorrência deste perfil os pontos 95 (com

amostragem), 101 e 102, onde o nível arenoso superior possui cerca de 2m de espessura aparente e recobre toda a vertente.

c) arenoso retrabalhado espesso (5-10m) / canga limonítica (de 0,5 a 1m de espessura) / argiloso residual (de espessura variável)/ rocha básica alterada (3): ocorre nas formas de relevo menos elevadas e nas vertentes mais suaves. O local típico de exposição desta sequência é o perfil composto dos pontos de observação e amostragem 88, 91 e 93 (FIGURA 5.5 e FOTOS 17, 18 e 19).

FIGURA 5.5: Perfil composto dos pontos de observações 88, 91 e 90. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 1.1 (Colinas com Vertentes Convexas).

5.1.3.1.2 COLINAS COM VERTENTES CÔNCAVAS

São formas de relevo isoladas e elevadas em relação às áreas vizinhas, com topos entre as cotas topográficas 700 e 750m. Os locais típicos desta Unidade são as localidades do Morro do Cruzeiro e Ponte Alta no noroeste e no centro da área, respectivamente.

As principais características são topos restritos planos ou agudos, limitados por rupturas de declive positiva abrupta com ou sem escarpas rochosas e vertentes côncavas com declividade relativamente alta, entre 6-20%, podendo chegar a 20-35% (FOTO 11). As áreas elevadas possuem solos rasos ou rocha aflorante, já as áreas rebaixadas podem apresentar solo argiloso avermelhados ou cobertura arenosa transportada.

O perfil de material inconsolidado definido para as colinas com vertentes côncavas foi:

Material heterogêneo delgado com níveis de cascalho / material arenoso retrabalhado espesso (1 a 5m) / canga limonítica / material argiloso residual / rocha básica de muito a pouco alterada (3): O perfil completo só pode ser verificado no perfil composto dos pontos de observação e/ou amostragem 39, 40, 41 e 42 (FIGURA 5.6) (FOTOS 20 e 21).

O tipo de material inconsolidado que aparece em superfície depende da camada que foi interceptada pela topografia em cada local. Nas proximidades do Morro do Cruzeiro é a camada de material argiloso de cor vermelha escura que aparece em superfície.

Para as áreas de topos limitados por escarpas, o perfil típico do material inconsolidado é constituído por uma camada delgada (menos de 1m), constituída por cascalhos em matriz arenosa, capeando a rocha básica pouco ou moderadamente alterada (1).

FIGURA 5.6: A figura no alto mostra o perfil composto dos pontos de observações 39, 40, 41 e 42. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 1.2 (Colinas com Vertentes Côncavas). A segunda figura mostra, em seção, a distribuição dos materiais inconsolidados ao longo da vertente.

5.1.3.1.3 VALES DISSECADOS

São formas de relevo com amplitudes topográficas menores que 100m, densidade de drenagem alta com padrão subdendrítico, altitudes máximas por volta de 680m e fundos de vale por volta de 620-580m.

Os topos são alongados e planos. As vertentes são côncavas ou retilíneas com declividades entre 12-20%, mas podem, em pequenas áreas de cabeceira de drenagem, chegar a 35%. São comuns ravinamentos de meia-encosta retilíneos e de pequena profundidade.

Os fundos de vales apresentam perfil agudo e as cabeceiras de drenagem podem ser preservadas ou degradadas (com erosões remontantes).

O perfil de material inconsolidado definido para esta unidade foi:

Arenoso retrabalhado (espessura variável) / linha de seixos (predomínio de seixos e calhaus de quartzo, quartzito e limonita) / siltoso residual delgado / rocha sedimentar alterada (siltito, arenito, lamito ou diamictito) (7, 8 ou 9): ocorre na passagem das Unidades de Terrenos 1.2 e 1.4 para a 1.3. Seu local típico de exposição é o perfil do ponto de observação e amostragem 118 (FIGURA 5.7), onde a camada superior de material arenoso possui 5m de espessura aparente no topo da forma e se adelgaça ao longo da vertente até 0,5m de espessura real. A camada de material siltoso com blocos de siltito e arenito fino possui menos de 0,5m de espessura e passa a ser superficial a partir do trecho intermediário da vertente. Na base da vertente aflora a rocha, que no local é constituída por camadas centimétricas interestratificadas de siltito e arenito fino, pertencente à associação folhelho - siltito.

FIGURA 5.7: A figura no alto mostra o perfil do ponto de observação 118. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 1.3 (Vales Dissecados). A segunda figura mostra, em seção, a distribuição dos materiais inconsolidados ao longo da vertente.

5.1.3.1.4 TESTEMUNHOS DE RAMPAS

São formas de relevo constituídas por áreas planas que restaram como testemunhos de um antigo planalto, provavelmente em continuidade com as áreas elevadas do Sistema 3. Estas áreas apresentam declividade muito baixa, entre 0-2%, e altitudes entre 700 e 720m.

O perfil de material inconsolidado definido para a unidade foi:

Arenoso retrabalhado espesso (>10m) / rocha sedimentar ou básica (5): os pontos de observação e amostragem 88, 95 e 90, onde os perfis possuem 2, 4 e 6m de espessura respectivamente, exemplificam as características do material arenoso que se encontra em superfície (FOTOS 22 e 23).

Em campo foi verificado que a camada de material arenoso é muito espessa e homogênea. A espessura da camada, a inexistência de obras civis de engenharia que atravessam a camada superficial e as limitações dos métodos de aquisição de informações adotados (observação direta) impossibilitaram a reunião de informações mais completas.

5.1.3.2 SISTEMA 2 - TERRENOS “BAIXOS” COM SUBSTRATO DE ROCHAS SEDIMENTARES

É o sistema de terreno mais característico da ocorrência das rochas do Subgrupo Itararé. Corresponde ao relevo mais dissecado, às maiores declividades gerais e às planícies aluvionares mais restritas. Caracterizado por ter topos planos, alongados e ligeiramente menores que os do Sistema 1, vertentes convexas com declividades predominantes entre 6-20%, mas com trechos de 20-35% e fundos de vales estreitos, normalmente com perfis agudos ou arredondados (com planícies aluvionares estreitas).

As planícies aluvionares maiores são restritas às drenagens principais (Ribeirão dos Cocais e Ribeirão das Congonhas), mas mesmo assim são menores que as demais observadas na área mapeada.

Afloramentos de rocha podem ocorrer nos terços inferiores das vertentes, próximo às planícies aluvionares, e no fundo das boçorocas.

O Sistema de Terreno 2 também possui cabeceiras de drenagem degradadas por grandes erosões. As feições erosivas entalham os talwegues a partir da Unidade de Terreno 2.1 em direção aos terrenos mais elevados da Unidades de Terreno 2.2 (FOTOS 05 e 06). A evolução recente destas feições parece ser semelhante àquela já apresentada para o Sistema de Terreno 1.

São especialmente importantes as feições erosivas próximas ao sítio urbano de Casa Banca. Estas erosões, mesmo sem ter seus processos deflagradores e evolutivos diretamente relacionados com a expansão da urbanização, interferem nesta na medida que servem como barramentos naturais às ocupações urbanas. Aparentemente, o surgimento das feições erosivas foi iniciado com a ocupação agrícolas das extensas e planas formas de relevo da região. A retirada da vegetação, a utilização de práticas de manejo do solo não-conservacionistas e a construção de estruturas lineares capazes de concentrar o escoamento superficial (estradas, carreadores, cercas, caminhos, sulcos de aragem e murunduns) expuseram solos profundos e potencialmente suscetíveis à erosão.

Atualmente, estas grandes erosões apresentam perfil de estabilização em nível crescente, sendo que algumas já possuem vegetação invasora.

No entanto, a recente expansão do sítio urbano de Casa Branca propiciou a ocupação das áreas lindeiras às erosões com moradias. A ocupação destas áreas fez surgir áreas de risco de escorregamento, pois o desnível dos taludes laterais das erosões chega atingir 20 ou 30m. Os escorregamentos podem ser deflagrados após chuvas mais intensas em razão do encharcamento do solo e ruptura devido ao próprio peso. Existe ainda a possibilidade de infiltrações anômalas no maciço terroso (potencialmente colapsível como sugere a sua alta porosidade) provocadas, por exemplo, por cisternas, fossas sépticas ou vazamentos na rede de abastecimento de água ou de afastamento de esgoto.

As unidades de terreno do Sistema 2 são:

5.1.3.2.1 MORROTES EM TERRENOS DE ROCHAS SEDIMENTARES

As áreas de morrotes são caracterizadas por *landforms* alongados com topos arredondados e mais raramente agudos, vertentes convexas com declividades entre 6-20% e amplitude topográfica menor que 100m. Os vales são fechados e possuem perfil agudo, as planícies aluvionares, quando existem, são estreitas e o padrão de drenagem predominante é subdendrítico ou retangular.

Foram definidos dois perfis de materiais inconsolidados para esta unidade, a saber:

a) material arenoso retrabalhado espesso (5 a 10m) / linha de seixos / material siltoso residual (espessura variável) / rocha sedimentar alterada (7 ou 8): a melhor exposição deste perfil é o perfil composto dos pontos de observação e amostragem 61, 62 e 18 na Cerâmica Casa Nova (FIGURA 5.8 e FOTO 01). No local ocorre um nível superior de material arenoso de 6m de espessura aparente em continuidade lateral com material semelhante que recobre o Unidade de Terreno 2.2, a seguir um nível de material siltoso com 4m de espessura e finalmente a rocha sedimentar alterada, no caso a associação litológica folhelho - siltito. Também o perfil longitudinal dos pontos de observação 26, 27, 28 e 29 exemplifica a organização dos materiais inconsolidados (FIGURA 5.9).

b) material siltoso delgado (<5m) residual ou transportado à pequena distância / rocha sedimentar alterada (9): este perfil expõe uma camada delgada ou ausente de material siltoso com ou sem blocos de rocha. O ponto de observação 23 ilustra esta distribuição (FOTO 25).

FIGURA 5.8: Ponto de observação 18 (Cerâmica Casa Nova). Seção mostrando a distribuição dos materiais inconsolidados ao longo da vertente. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 2.1 (Morrotes).

FIGURA 5.9: Seção mostrando a distribuição dos materiais inconsolidados ao longo da vertente, pontos de observações 26, 27, 28 e 29. Exemplo de perfil de materiais inconsolidados da Unidade 2.1 (Morrotes).

5.1.3.2.2 COLINAS

As colinas são formas de relevo com amplitudes topográficas menores que 100m e predomínio de declividades de 0-6% e 6-12%, sendo que declividades maiores podem ocorrer apenas em cabeceiras de drenagem ou nas vertentes próximas às planícies aluvionares.

Os topos são achatados ou arredondados e as altitudes estão entre 700 e 720m.

Os fundos dos vales das drenagens principais possuem perfis planos e ocupados por planícies aluvionares amplas (Ribeirão das Congonhas e Rio Verdinho). As drenagens secundárias apresentam fundos de vale arredondados, com pequenas acumulações de sedimentos ou perfis agudos.

O perfil de material inconsolidado definido para esta unidade de terreno foi:

Material arenoso retrabalhado muito espesso (>10m)/ linha de seixos / rocha sedimentar alterada (7): a camada superficial de material arenoso é contínua ao longo de toda a vertente. A melhor exposição desta distribuição é o ponto de observação 30, onde o perfil é escavado por uma grande boçoroca em cabeceira de drenagem (FOTO 05, 06, 07 e 08).

5.1.3.2.3 MORROTES ROCHOSOS SUSTENTADOS POR ROCHAS BÁSICAS DISCORDANTES

São *landforms* associados à presença de corpos intrusivos de rocha básica em sedimentares do Subgrupo Itararé. Estes corpos, por apresentar maior resistência à erosão, em relação às rochas sedimentares do Subgrupo Itararé ressaltam na topografia como morrotes de topos agudos e vertentes retilíneas e declivosas, porém não escarpadas (FOTOS 14 e 15). Algumas áreas podem ser descritas como “campos de matacões”, tal a quantidade de blocos de rocha em meio às vertentes (FOTOS 16).

Essas feições de relevo não apresentam orientação consistente e não definem um *trend* estrutural.

O perfil de material inconsolidado mostra um nível de material heterogêneo delgado sobre a rocha básica em diferentes estágios de alteração (1).

5.1.3.4 SISTEMA 3 - TERRENOS ELEVADOS

É o relevo mais plano de toda a área mapeada. Apresenta as maiores elevações com topos entre 700 e 750m, mas chegando a 795m, próximo ao Hospital Psiquiátrico Cocais. As principais características deste sistema são:

- a) declividades muito baixas (0-6%) em áreas extensas que abrangem desde o topo (cume) até o fundo dos vales;
- b) vertente convexas sem ruptura de declive e topos muito extensos, resultando num relevo suavemente ondulado;
- c) fundos de vales amplos e chatos entulhados por depósitos aluvionares que formam zonas úmidas largas e contínuas;
- d) cabeceiras de drenagem com lagoas. São áreas elevadas e úmidas de onde partem as drenagens. Possuem formas arredondadas circulares ou alongadas, fundo chato e provavelmente são preenchidas por materiais inconsolidados mobilizados das áreas vizinhas.

As unidades de terreno do Sistema 3 são:

5.1.3.3.1 RAMPAS

Constitui um conjunto de colinas extensamente planas (FOTO 29). Ocupam a maior parte da área abrangida pelo Sistema 3 e possuem altitudes entre 750 e 795m. O perfil de material inconsolidado definido para esta unidade foi:

Material arenoso retrabalhado espesso a muito espesso (>5m, freqüentemente >10m) / rocha sedimentar (5, 6 ou 7): trata-se da área onde a camada de material arenoso tem a sua maior espessura. São poucos os locais de exposição destes materiais, embora os pontos de observação e amostragem 06 e 47 (FOTO 28) e os perfis de poços tubulares do Hospital Psiquiátrico Cocais mostrem, respectivamente, espessuras de 2m, 5m (espessura aparente em afloramento) e 5 - 10m (espessura real em poços tubulares).

5.1.3.3.2 MORROS COM ENCOSTAS SUAVIZADAS

É o domínio de rochas básicas capeadas por depósitos arenosos, mas agora formando morros com encostas suavizadas perfeitamente delimitadas em relação às adjacentes. Suas principais características são declividades baixas entre 2-6%, topos achatados e alongados com altitudes entre 720 e 750m, fundos de vales abertos e planos com planícies aluvionares amplas e cabeceiras de drenagens, sendo que estas últimas, por vezes, formam lagoas.

As vertentes são convexas e divididas em dois setores (topo e encosta) por uma ruptura de declive positiva suavizada.

O setor superior são os topos com formas planas ou arredondadas, declividade entre 2 e 6% e altitudes de 720 a 750m (FOTO 12).

O perfil de material inconsolidado definido para os topos foi:

Material arenoso retrabalhado espesso (5-10m) / rocha sedimentar ou básica (4). A camada superior de material arenoso profundo possui continuidade lateral com o material semelhante que recobre a Unidade de Terreno 3.1.

O setor inferior são encostas que possuem declividades de 12 a 20%. A textura em fotos aéreas sugere a existência de vários conjuntos de ravinas pouco profundas nestas encostas.

O perfil de material inconsolidado definido para esta encosta foi:

Material argiloso / rocha básica (2): esta unidade possui poucas exposições do material inconsolidado. No ponto de observação e amostragem 132 a camada superficial de material argiloso apresenta 1m de espessura aparente e no ponto de observação 66 a rocha básica está a menos de 0,5m de profundidade e o solo superficial é cascalhento (blocos de básicas). (FOTO 13)

5.1.3.4 QUADRO-RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS E UNIDADES DE TERRENO

As TABELAS 5.5 a 5.7 apresentam quadros-resumos das características mais importantes dos sistemas e unidades de terreno da área investigada. As FIGURAS 5.10a e 5.10b apresentam os perfis de materiais inconsolidados definidos para as unidades de terreno.

Tabela 5.5: Quadro-resumo das unidades do Sistema 1

SISTEMA 1: Terrenos "baixos" com substrato de rochas básicas. É um relevo pouco dissecado, formado por colinas entalhadas em rochas básicas e capeadas por espessos depósitos coluvionares. Afloramento de rochas sedimentares do Subgrupo Itararé ocorrem em vales mais entalhados, com vertentes retilíneas e declivosas..

UNIDADES DE TERRENO	SUBSTRATO ROCHOSO	LANDFORM	AMPLITUDE TOPOGRÁFICA (M)	DECLIVIDADE (%)	DENSIDADE DE DRENAGEM RELATIVA	FORMA DO TOPO E DA VERTENTE	ESPESSURA DO MATERIAL INCONSOLIDADO	PERFIL DE MATERIAL INCONSOLIDADO (NÚMEROS CORRESPONDEM AOS PERFIS DA FIGURA)
1.1	Serra Geral	colinas com vertentes convexas	<100	2-12 (fundos de vale com declividades entre 12 e 35%)	baixa	topos amplos e arredondados, vertentes convexas, vales amplos, planos e ocupados por planícies aluvionares	Espesso a muito espesso (5-10m ou > 10m)	arenoso espesso / rocha básica (4) e arenoso espesso / canga limonítica / argiloso / rocha básica (3)
1.2	Serra Geral	Colinas com vertentes côncavas	<100	6-12 nas vertentes e ~0 nos topos. Declividades altas em ressaltos rochosos	baixa	vertentes côncavas e topos aplainados limitados por ruptura de declive positiva suavizada ou escarpa	muito variável	material heterogêneo delgado com níveis de cascalho / arenoso espesso / canga limonítica / argiloso / rocha básica de muito a pouco alterada (3 ou 2) ou material heterogêneo delgado com níveis de cascalho / rocha (1)
1.3	Itararé	Vales dissecados	<100	12-20 (nas cabeceiras de drenagens pode chegar a 35%)	alta	topos restritos e arredondados, vertentes côncavas-retilíneas-convexas a retilíneas	raso (<5m)	arenoso de espessura variável / linha de seixos / silteoso delgado / rocha sedimentar (7, 8 e 9)
1.4	Serra Geral	Testemunhos de rampas	-	0-2	baixa	áreas planas extensas	muito espesso (>10m)	arenoso muito espesso / rocha sedimentar ou básica (5)

Tabela 5.6: Quadro-resumo das unidades do Sistema 2

SISTEMA 2: Terrenos "baixos" com substrato de rochas sedimentares. Morrotes e Colinas sobre substrato de rochas sedimentares do Subgrupo Itararé. A área de morrotes é o relevo mais dissecado de toda a área estudada, apresenta as maiores declividades gerais e as planícies aluviais mais restritas; as colinas são semelhantes ao Sistema 1, mas ligeiramente menores e apresentam planícies aluviais maiores encaixadas em vales mais amplos. As cabeceiras de drenagem apresentam grandes boçorocas, que na maioria das vezes já atingiu o divisor de águas da bacia ou os topos aplainados.

Cristas e Morrotes Rochosos com topos agudos são formas de relevo associados à presença de corpos de rocha básica intrusivos em sedimentos do Subgrupo Itararé.

UNIDADE	SUBSTRATO ROCHOSO	LANDFORM	AMPLITUDE TOPOGRÁFICA (m)	DECLIVIDADE (%)	DENSIDADE DE DRENAGEM RELATIVA	FORMA TOPO E VERTENTE	DO DA	ESPESSURA DO MATERIAL INCONSOLIDADO	PERFIL DE MATERIAL INCONSOLIDADO (NÚMEROS CORRES-PONDEM AOS PERFIS DA FIGURA)
2.1	Itararé	morrotes em terrenos de rochas sedimentares	<100	6-20	alta	topos restritos, arredondados ou agudos, vertentes convexas e vales restritos com pequenas planícies aluvionares.		Muito variável (0,5-10m)	arenoso espesso/ linha de seixos / siltoso / rocha sedimentar (8); siltoso raso / rocha sedimentar alterada(9)
2.2	Itararé	colinas	<100	0-12	baixa	topos amplos e arredondados, vertentes convexas e vales planos com planícies aluvionares amplas.		Profundo (>10m)	arenoso muito espesso / linha de seixos / rocha sedimentar alterada(7)
2.3	Serra Geral	morrotes rochosos sustentados por rochas básicas discordantes	<100	geralmente altas	alta	topos agudos, formando cristas, e vertentes retilíneas		raso (<0,5m)	material heterogêneo delgado com níveis de cascalho / rocha básica (1)

Tabela 5.7: Quadro-resumo das unidades do Sistema 3

SISTEMA 3: Terrenos "elevados". É o relevo mais plano e elevado de toda a área mapeada. Forma um extensa rampa com baixas declividades e planícies aluviais expressivas que entulham vales amplos e com fundo chato. A cabeceiras de drenagem podem apresentar bacias, semelhantes as que ocorrem no Sistema de Terreno 1.

UNIDADE	SUBSTRATO ROCHOSO	LANDFORM	AMPLITUDE TOPOGRÁFICA (m)	DECLIVIDADE (%)	DENSIDADE DE DRENAGEM RELATIVA	FORMA DO TOPO E VERTENTE	ESPESSURA DO MATERIAL INCONSOLIDADO	PERFIL DE MATERIAL INCONSOLIDADO (NÚMEROS CORRESPONDEM AOS PERFIS DA FIGURA)
3.1	Itararé	rampas	<100	0-6	baixa	relevo suave e aplainado, vales abertos com planícies aluviais amplas	muito profundo (>10m)	arenoso espesso a muito espesso / rocha sedimentar alterada (6 ou 7)
3.2	Serra Geral ou Itararé	morros com encostas suavizadas	100- 300m	0-6	baixa	topos aplainados e vertentes convexas	variável	arenoso espesso / rocha sedimentar ou básica (4) ou argiloso / rocha básica (2)

Perfis de Materiais Inconsolidados	1	2	3	4
Unidades de Terreno	1.2 e 2.3	1.2 e 3.2	1.1 e 1.2	1.1 e 3.2
5m	<p>material mal selecionado, camada delgada com níveis de cascalho</p> <p>rocha básica alterada</p> <p>rocha básica (Fm. Serra Geral)</p>	<p>material mal selecionado, camada delgada com níveis de cascalho</p> <p>argiloso residual</p> <p>argiloso residual com blocos de rocha básica</p>	<p>arenoso retrabalhado</p> <p>canga limonítica</p> <p>argiloso residual</p>	<p>arenoso retrabalhado</p>
10m		<p>rocha básica alterada</p> <p>rocha básica (Fm. Serra Geral)</p>	<p>argiloso residual com blocos de rocha básica</p> <p>rocha básica alterada</p>	<p>local sem exposição do substrato (provavelmente rochas básicas da Fm. Serra Geral)</p>

FIGURA 5.10 a : Perfis típicos de materiais inconsolidados.

Perfis de Materiais Inconsolidados	5	6	7	8	9
Unidades de Terreno	1.4	3.1	1.3, 2.2 e 3.1	1.3 e 2.1	1.3 e 2.1
	arenoso retrabalhado	arenoso retrabalhado	arenoso retrabalhado	arenoso retrabalhado	siltoso residual
5m
		rocha sedimentar (Subgrupo Itararé)		linha de seixos siltoso residual	
10m				rocha sedimentar (Subgrupo Itararé)	
	local sem exposição do substrato (provavelmente rochas sedimentares do Subgrupo Itararé)		linha de seixos rocha sedimentar (Subgrupo Itararé)		

FIGURA 5.10 b: Perfis típicos de materiais inconsolidados.

5.1.4 MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

As unidades de materiais inconsolidados foram definidas a partir da análise do MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO, aerofotointerpretação, caminhamentos de campo, classificação tátil-visual, ensaios de laboratório e outros dados disponíveis.

As unidades de materiais inconsolidados representados no mapa são:

a) arenoso retrabalhado (arenoso);

b) silto residual (silto);

c) argiloso residual (argiloso) e

d) aluviões (al).

A presença de "campos de matacões" em áreas de rochas básicas, por um lado, e de grandes erosões em cabeceiras de drenagem com exposição do substrato rochoso, por outro, tornou obrigatória a representação no mapa de duas unidades de afloramento de rocha. Assim, são representadas as áreas de afloramentos de:

a) rochas básicas (β) e

b) rochas sedimentares clásticas (sedclas).

Foram encontrados ainda mais três tipos de materiais inconsolidados. Estes materiais, por terem pequena expressão areal ou pequeno volume, não foram representados no mapa. No entanto, o seu reconhecimento é importante pois facilita interpretações e subsidia estimativas de comportamentos. São elas:

a) camada de material retrabalhado mal selecionado (1m de espessura) constituído por seixos e calhaus de natureza variada (arenito, quartzito, granitos, diabásio e

limonita) imersos em matriz arenosa. O material pode recobrir indistintamente quase todos os perfis de materiais inconsolidados;

b) camada muito delgada (cerca de 0,10 a 0,20m) de material grosso (seixo e calhau) formando uma "linha de seixos". É encontrada na base do material arenoso retrabalhado;

c) camada de canga limonítica (0,5m de espessura). É normalmente encontrado no topo do material argiloso residual ou por sobre a rocha básica.

5.1.4.1 MATERIAL ARENOSO RETRABALHADO

A unidade de material arenoso retrabalhado predomina na porção centro-sudeste da área mapeada, mas também ocorre em manchas esparsas na porção oeste. É o tipo de cobertura de cerca de 40% da área.

Ocorre principalmente nos terrenos elevados, ou seja, nas rampas e nos topos achatados de colinas e nos topos de morrotes de maior expressão, correspondendo às Unidades de Terreno 1.1, 2.2, 3.1 e de maneira mais restrita aos topos das formas de relevo às Unidades de Terreno 1.2 e 3.2. Os pontos de observação direta mostram sempre um perfil muito espesso (espessura aparente de até 10m), sendo rara a oportunidade de observar o seu contato com o substrato (FOTOS 5, 7, 09, 22 e 23). É classificado como areia argilosa e possui cor marrom avermelhada ou vermelha em tons claros ou escuros.

Alguns índices geotécnicos deste conjunto de materiais são apresentados na TABELA 5.8 e os resultados do ensaio de adsorção de azul de metileno na TABELA 5.9.

TABELA 5.8: resultado da análise granulométrica conjunta e demais índices físicos obtidos em ensaios ou por fórmula de correlação para o material inconsolidado arenoso retrabalhado.

Amostra	granulometria (*) (%)			ρ_s (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	e	n (%)	K (cm/s)	$\rho_{d\max}$ (g/cm ³)	wot (%)	ativida- de (**)
	a	s	c								
Intervalo de variação	72 a 48	25 a 05	38 a 18	2,611 a 2,724	1,141 a 1,624	0,62 a 1,34	38,5 a 57,3	E-2 a E-4	1,78 a 1,939	11 a 15,5	inativa
1 a	59	11	30	2,684	1,359	0,97	49,3	1,0E-2	1,800	15,0	inativa
1b	50	16	28	2,641	1,624	0,62	38,5	1,8E-3	-	-	inativa
6	48	14	38	2,67	1,141	1,34	57,3	9,6E-3	-	-	-
11 a	61	14	25	2,635	1,373	0,92	47,9	1,4E-2	-	-	inativa
11 b	60	15	25	2,665	1,538	0,73	42,3	5,6E-3	-	-	inativa
11 c	72	7	21	2,661	1,571	0,69	41,0	1,0E-2	-	-	inativa
11 d	72	6	22	2,643	1,448	0,83	45,2	1,7E-2	-	-	-
11 e	75	5	20	2,656	1,435	0,85	46,0	1,5E-2	1,93	11,0	inativa
30 a	56	19	25	2,651	1,395	0,90	47,4	6,5E-3	-	-	inativa
30 b	60	13	27	2,667	1,376	0,94	48,4	1,2E-2	-	-	inativa
30 c	55	10	25	2,611	1,488	0,75	43,0	6,4E-3	1,83	14,0	inativa
40 a	58	14	28	2,699	1,382	0,95	48,8	1,2E-2	1,835	14,2	inativa
40 c	52	13	25	2,724	1,395	0,95	48,8	3,8E-4	-	-	inativa
47 a	62	16	22	2,654	1,474	0,80	44,4	6,9E-3	1,91	11,8	inativa
47 b	60	18	22	2,658	1,300	1,04	51,1	2,0E-2	1,939	11,5	-
73 a	62	20	18	2,663	1,464	0,82	45,0	7,3E-3	-	-	inativa
73 b	57	15	28	2,697	1,321	1,04	51,0	1,5E-2	-	-	inativa
88	50	24	26	2,718	1,203	1,26	55,7	7,3E-3	-	-	inativa
95	50	25	25	2,614	1,296	1,02	50,4	6,1E-3	1,84	13,8	inativa
118	50	19	31	2,657	1,480	0,79	44,3	2E-3	-	-	inativa
131	54	18	28	2,632	1,381	0,91	47,5	4,6E-3	1,78	15,5	inativa

(*) a - areia, s - silte, c - argila

(**) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas pelo método do azul de metileno (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989)²³ apud PEJON (1992).

²³ LAUTRIN, D. (1989) Utilisation pratique des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans les projets de génie civil. Bull. Labo. P. et Ch., fevr.-mars. Pp. 53-65.

TABELA 5.9: resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno para as amostras de material arenoso retrabalhado.

Amostras	< 0,002mm (%)	CTC	SE	Vb	Acb
Intervalo de variação	18 a 38	0,15 a 2,27	1,21 a 18,14	0,05 a 0,74	0,22 a 1,82
1 a	30	1,35	10,75	0,44	1,46
1b	28	1,52	12,15	0,50	1,77
6	38	0,83	6,64	0,27	0,71
11 a	25	1,27	10,11	0,41	1,65
11 b	25	1,14	9,09	0,37	1,49
11 c	20,5	0,80	6,39	0,26	1,27
11 d	22	0,64	5,10	0,21	0,95
11 e	20	0,73	5,79	0,24	1,18
30 a	24,5	2,04	16,25	0,66	2,71
30 b	27	1,38	11,00	0,45	1,67
30 c	25	1,02	8,12	0,33	1,33
40 a	28	1,46	11,65	0,48	1,70
40 c	25	1,40	11,15	0,46	1,82
47 a	22	0,69	5,48	0,22	1,02
47 b	22	0,15	1,21	0,05	0,22
73 a	18	1,34	10,66	0,44	2,42
73 b	28	1,00	7,95	0,32	1,16
88	26	1,04	8,30	0,34	1,30
95	25	1,66	13,23	0,54	2,16
118	31	2,27	18,14	0,74	2,39
131	28	1,15	9,14	0,37	1,33

5.1.4.2 MATERIAL SILTOSO RESIDUAL

O material siltoso residual aparece em cerca de um terço da área mapeada. É característico das áreas de afloramento do Subgrupo Itararé, em especial da associação folhelho - silito, e conseqüentemente dos terrenos de relevos dissecados das Unidades de Terrenos 2.1 e 1.3.

O material inconsolidado de textura siltosa pode ser dividido de acordo com a caracterização obtida por meio de observação direta e ensaios. A avaliação das

informações sugere que esta divisão tem origem nas propriedades obtidas pelos materiais originais (rocha sedimentar) durante os processos de alteração intempérica e de pedogênese. São elas:

a) a camada superior ocorre nas partes mais planas das formas de relevo, normalmente nos topos. Os perfis de materiais inconsolidados são mais espessos e os materiais constituintes apresentam acentuada alteração intempérica. É classificado como silte arenoso, areia siltosa, ou ainda silte argiloso e apresenta cor marrom alaranjada, vermelha ou amarela em tons claros ou escuros (FOTO 26);

b) a camada inferior apresenta dois tipos de ocorrência natural:

- nos trechos mais declivosos da vertente, o material siltoso dá origem a um solo raso e cascalhento. Não possui mais que 0,5m de espessura e pode ser ligeiramente transportado e misturado com outros materiais (FOTO 25);

- nos trechos mais planos da vertente, as camadas superior e inferior compõem um perfil contínuo de alteração intempérica. Nesta situação, a camada inferior pode atingir até 2m de espessura e parece ser, o que numa descrição pedogenética ser um horizonte do tipo C ou R (rocha alterada), ou seja, guarda maior semelhança com o substrato. É classificado como silte arenoso ou silte argiloso e forma um solo raso, friável, com ou sem blocos de rocha (siltitos, arenitos e folhelhos). Normalmente possui cor rosa ou vermelha alaranjada com mosqueamento branco, vermelho e amarelo (FOTO 27).

Alguns índices geotécnicos da camada superior do material inconsolidado siltoso residual são apresentados na TABELA 5.10 e os resultados do ensaio de adsorção de azul de metileno na TABELA 5.11.

TABELA 5.10: resultado da análise granulométrica conjunta e demais índices físicos obtidos em ensaios ou por fórmula de correlação para a camada superior do material inconsolidado siltoso residual.

Amostra	Granulometria (*) (%)			ρ_s (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	e	n (%)	K (cm/s)	$\rho_{d,máx}$ (g/cm ³)	wot (%)	ativida- de (**)
	a	s	c								
Intervalo de variação	28 a 50	20 a 50	16 a 35	2,649 a 2,694	1,273 a 1,607	0,65 a 1,12	39,3 a 48,2	E-2 a E-4	-	-	inativa a pouco ativa
2 a	50	34	16	2,649	1,607	0,65	39,3	8,5E-4	-	-	inativa
18	30	42	28	2,692	1,394	0,93	48,2	8,4E-2	-	-	pouco ativa
29 b	28	50	22	2,659	1,457	0,82	45,2	6,3E-4	-	-	inativa
61	45	20	35	2,694	1,273	1,12	52,8	2,5E-3	-	-	inativa

(*) a - areia, s - silte, c - argila

(**) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas pelo método do azul de metileno (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

TABELA 5.11: resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno para as amostras da camada superior do material siltoso residual.

Amostras	< 0,002mm (%)	CTC	SE	Vb	Acb
2 a	16	1,02	8,16	0,33	2,08
18	28	3,13	24,97	1,02	3,65
29 b	21,5	1,46	11,62	0,47	2,21
61	35	1,68	13,37	0,55	1,56

Alguns índices geotécnicos da camada inferior do material inconsolidado siltoso residual são apresentados na TABELA 5.12 e o resultado dos ensaios de azul de metileno na TABELA 5.13.

TABELA 5.12: resultado da análise granulométrica conjunta e demais índices físicos obtidos em ensaios ou por fórmula de correlação para a camada inferior do material inconsolidado siltoso residual.

Amostra	granulometria (*) (%)			ρ_s (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	e	n (%)	K (cm/s)	$\rho_{d,máx}$ (g/cm ³)	wot (%)	ativida- de (**)
	a	s	c								
2 b	21	64	15	2,619	1,209	1,17	53,9	1,4E-3	-	-	ativa
23	42	21	37	2,613	1,494	0,75	42,8	1,2E-5	1,698	17,7	pouco ativa
29 a	18	62	20	2,641	1,361	0,94	48,5	1,1E-3	-	-	pouco ativa

(*) a - areia, s - silte, c - argila

(**) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas pelo método do azul de metileno (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

TABELA 5.13: resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno para as amostras da camada inferior do material siltoso residual.

Amostras	< 0,002mm (%)	CTC	SE	Vb	Acb
2 b	15	5,32	42,46	1,74	11,57
23	37	3,58	28,53	1,17	3,15
29 a	20	2,07	16,51	0,67	3,37

5.1.4.3 MATERIAL ARGILOSO RESIDUAL

O material argiloso residual predomina em toda a porção oeste da área mapeada e ainda ocorre em três manchas na parte central, sudeste e extremo nordeste da área. Está intimamente ligado às ocorrências de substrato rochoso constituído por rochas básicas e com o relevo de colinas e, ainda, às Unidades de Terreno 1.1, 1.2, 3.2.

No campo, o material é sempre muito espesso, sendo que o seu contato com o substrato de rochas básicas só foi observado nas proximidades dos Morros do Cruzeiro e da Ponte Alta (FOTO 20 e 21).

O material é classificado como argila arenosa ou areia argilosa (com mais 35% de argila), apresenta espessura aparente de 3 a 4m e cor vermelha ou marrom avermelhada sempre em tons escuros.

Capeando esta camada, é comum encontrar um nível de canga limonítica de cerca de 0,5m de espessura (FOTO 18) e, abaixo deste, uma camada de material de alteração de rochas básicas com ou sem blocos de rocha pouco alterada (FOTO 21).

Alguns índices geotécnicos deste conjunto de materiais são apresentados na TABELA 5.14 e os resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno na TABELA 5.15.

TABELA 5.14: resultado da análise granulométrica conjunta e demais índices físicos obtidos em ensaios ou por fórmula de correlação para o material inconsolidado argiloso residual.

Amostra	granulometria (*) (%)			ρ_s (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	e	n (%)	K (cm/s)	$\rho_{dm\acute{a}x}$ (g/cm ³)	wot (%)	ativida- de (**)
	a	s	c								
Intervalo de variação	20 a 38	25 a 29	35 a 54	2,087 a 3,414	1,052 a 1,431	0,46 a 1,71	31,4 a 63,1	E-3 a E-6	1,665 a 1,736	18,25 a 24,3	inativa
39	36	27	37	2,932	1,205	1,43	58,9	2,4E-4	1,678	22,5	inativa
40 b	33	28	39	2,087	1,431	0,46	31,4	1,9E-5	1,736	18,25	inativa
91	38	25	35	2,872	1,117	1,57	61,1	1,0E-3			
93	32	29	39	3,414	1,364	1,5	60,0	1,3E-5	1,665	24,3	inativa
105	28	25	47	2,85	1,052	1,71	63,1	2,6E-5	1,619	22,4	inativa
132	20	26	54	3,029	1,157	1,62	61,8	4,3E-6			inativa

(*) a - areia, s - silte, c - argila

(**) estimado por meio diagrama da atividade das argilas pelo método do azul de metileno (gráfico Ac_b X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

TABELA 5.15: resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno para as amostras do material argiloso residual.

Amostras	< 0,002mm (%)	CTC	SE	V _b	Ac _b
39	37	1,37	10,95	0,45	1,21
40 b	38	3,21	25,58	1,05	2,75
91	35	0,99	7,92	0,32	0,92
93	39	1,37	10,93	0,45	1,15
105	47	1,58	12,61	0,52	1,10
132	54	4,63	36,95	1,51	2,80

5.1.4.4 ALUVIÕES

Os depósitos de aluviões são encontrados ao longo do curso das principais drenagens. Sua expressão areal e espessura dependem da importância relativa do curso d'água que o construiu.

Apresentam maior expressão ao longo do curso do Ribeirão da Cachoeira, Córrego da Estiva, Ribeirão das Congonhas e Rio Verdinho.

Ocorrem ainda depósitos de aluviões em cabeceiras de drenagens com bacias, em especial nas áreas colinosas com substrato de rochas básicas e nos terrenos muito planos.

5.1.4.5 AFLORAMENTOS DE ROCHAS BÁSICAS

As áreas de rochas básicas correspondem às Unidades de Terreno 1.2 e 2.3.

A Unidade de Terreno 1.2 é constituída por colinas com ressaltos topográficos resistentes à erosão, por exemplo, nos locais denominados Morro do Cruzeiro e Ponte Alta. Os afloramentos de basalto ocorrem no topo horizontal dos *landforms* e nas escarpas (FOTO 11).

Próximos a estas áreas elevadas, ou na continuidade das escarpas, podem ser encontrados depósitos de talús. Esses depósitos possuem grande quantidade de blocos de rocha básica de diversos tamanhos imersos em matriz argilosa.

A Unidade de Terreno 2.3 é constituída por morrotes esculpidos em corpos discordantes (diques) de rocha básica. Este tipo de material ressaltam na topografia pois apresentam maior resistência à erosão em relação às rochas sedimentares do Subgrupo Itararé (FOTOS 14, 15 e 16).

5.1.4.6 AFLORAMENTOS DE ROCHAS SEDIMENTARES CLÁSTICAS

Os afloramentos de rochas sedimentares clásticas ocorrem em trechos das Unidades de Terreno 1.3 e 2.1.

O afloramento do substrato litológico é devido a uma atividade denudacional da dissecação do relevo mais intensa que em outras áreas. No campo são observadas grandes feições erosivas lineares (ravinas e boçorocas, principalmente as segundas) que entalham todo o perfil de cobertura e substrato rochoso até que aflore um soleira rochosa mais resistente ou seja alcançado o nível de base local (FOTOS 05 e 06).

5.1.4.7 PROPRIEDADES ESTIMADAS

As propriedades dos materiais inconsolidados estimadas foram erodibilidade, escavabilidade, possibilidades para mineração ou empréstimo de material e comportamento laterítico (segundo definição adotada pela Classificação MCT). Os parâmetros utilizados já foram citados e discutidos no item 4.9.

A erodibilidade estimada dos materiais inconsolidados pode ser resumida da seguinte forma:

a) o material arenoso retrabalhado foi considerado o de maior erodibilidade (ou menor resistência à erosão). São especialmente frágeis aqueles que ocorrem capeando as Unidades de Terreno 3.1, os quais são muito friáveis e não apresentam cimentação superficial, e 3.3, que foram degradados por grandes boçorocas. Em menor grau, são considerados frágeis os materiais arenosos que capeiam as Unidades de Terreno 1.1, 1.2, 3.1 e 5.1, nos quais predomina a textura areia fina.

b) o material argiloso residual foi considerado pouco ou não erodível devido à textura argila arenosa ou areia argilosa, à presença de poucas feições erosivas e à pequena degradação observada nos poucos taludes escavados neste material.

c) o material siltooso apresenta pouca estabilidade quando exposto em taludes artificiais, mas esta situação é observada em poucos locais, uma vez que as maiores obras de engenharia não estão localizadas nestas áreas. O escoamento superficial, mesmo sendo maior que nas demais áreas, mobiliza pequena quantidade de material, pois os solos siltosos são rasos, e conseqüentemente o impacto da erosão deste material nos recursos hídricos é consideravelmente menor que para os demais materiais que apresentam espessuras maiores.

d) as rochas do Subgrupo Itararé apresentam comportamentos distintos frente aos processos erosivos:

- dentre os diversos tipos da associação arenito - diamictito há um constituído por arenito fino siltoso que nas boçorocas próximas à área urbana mostram um comportamento particularmente erodível. Nestas áreas, os taludes das feições erosivas apresentam sulcos, escorregamentos devido ao próprio peso e areias movediças no pé do talude. A esse tipo litológico estão associadas as grandes boçorocas registradas nos pontos de observação 30, 35, 36, 37, 44 e 38.

- a associação siltito - folhelho apresenta uma resistência maior à ação erosiva das águas pluviais, como pode ser verificado nos taludes das explorações de argila da Cerâmica Casa Nova (pontos de observação 18 e 64).

A escavabilidade estimada dos materiais inconsolidados pode ser resumida da seguinte forma:

a) materiais arenosos retrabalhados foram considerados favoráveis à escavação por não apresentarem restrições quanto aos aspectos considerados. No entanto, as obras de escavação destes materiais devem considerar dificuldades adicionais na estabilização de taludes;

b) os materiais argilosos residuais foram considerados moderadamente favoráveis à escavação por apresentarem restrições quanto à profundidade do substrato rochoso, grau de alteração do substrato rochoso, textura do material inconsolidado, presença de matacões e presença de camadas laterizadas;

c) os materiais siltsos residuais foram considerados moderadamente favoráveis à escavação por apresentarem restrições quanto à profundidade do substrato rochoso, grau de alteração do substrato rochoso e textura do material inconsolidado;

d) os afloramentos de rochas básicas foram considerados desfavoráveis à escavação por apresentar restrições quanto ao grau de alteração do substrato rochoso. As áreas próximas a estes afloramentos foram consideradas pouco favoráveis, devido à possibilidade de ocorrerem matacões dispersos no material inconsolidado;

e) os depósitos de aluvião apresentam restrições quanto à profundidade do nível d'água e à presença de camadas orgânicas.

As possibilidades para a mineração e de material de empréstimo para aterro podem ser resumidas da seguinte forma:

a) material de empréstimo arenoso ou argiloso nas áreas de topografia favorável à exploração nas Unidades de Material Inconsolidado Arenoso Retrabalhado e Argiloso Residual;

b) material fino para cerâmica vermelha nas áreas mais elevadas do Sistema de Terreno 3 (principalmente na Unidade de Terreno 3.1), onde o material siltoso residual é mais espesso e protege uma camada de espessura variável de rocha (siltito ou folhelho) medianamente alterada;

c) pedra britada nos locais de afloramento de rochas básicas ou onde estas estão próximas à superfície.

O comportamento laterítico foi estimado por meio de gráficos de V_b e A_{cb} contra porcentagem de material argiloso da forma já citada no item 3.8.5. As FIGURAS 5.11 e 5.12 mostram a distribuição das amostras, os limites adotados e os comportamentos esperados.

A observação da FIGURA 5.11 (V_b X % de argila) e da FIGURA 5.12 (A_{cb} X % de argila) sugere a ampla predominância de materiais de comportamento laterítico a despeito das retas adotadas.

FIGURA 5.11: Ensaio de azul de metileno. Índice Vb X % de argila para as amostras de materiais inconsolidados. PEJON (1992) sugeriu o valor $V_b = 1,5$ como o limite entre os materiais de comportamento laterítico (abaixo da reta) e não laterítico (acima da reta), segundo a Classificação MCT. BACHION (1997) sugere uma reta inclinada ($f(x) = 0,0556x$) como o limite entre os materiais com comportamentos lateríticos (a direita da reta) e os não lateríticos (a esquerda da reta).

(1) reta proposta por PEJON (1992).

(2) reta proposta por BACHION (1997).

FIGURA 5.12: Ensaio de azul de metileno. Índice Acb X % de argila para as amostras de materiais inconsolidados. PEJON (1992) sugeriu o valor Acb = 4 como o limite superior para os materiais com comportamento laterítico e o valor, Acb = 5 como o limite inferior para materiais com comportamento não laterítico, segundo a Classificação MCT. No intervalo $4 < \text{Acb} < 5$ não seria possível ter um grau de certeza razoável quanto ao comportamento dos materiais. BACHION (1997) sugere o valor Acb = 5 como o limite entre os comportamentos lateríticos e não lateríticos.

5.1.5 CARTA DE DECLIVIDADE

A carta de declividade foi elaborada através do método manual com uso de ábaco. As classes de declividade adotadas foram definidas de acordo com considerações de ordem legal (legislação incidente sobre o parcelamento e uso do solo), de exploração econômica do solo e de características fisiográficas.

Posteriormente, foi realizada uma reclassificação que considerou a expressão areal e a praticidade de cada classe. Os limites adotados são assim justificados:

A Lei Federal 6.766 de dezembro de 1979 fixa o limite máximo de 30% de declividade para o parcelamento do solo para fins urbanos. Como fins urbanos considera-se o parcelamento de glebas por loteamento ou desmembramento em área urbana ou de expansão urbana. A mesma lei proíbe, ainda, o parcelamento de áreas alagadiças ou sujeitas à enchentes, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas, terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação, aterros de materiais nocivos à saúde pública sem que sejam previamente saneados, áreas de preservação ecológica e áreas sem condições sanitárias adequadas.

O Código Florestal, Lei Federal 4.711 de setembro de 1965, considera como áreas de preservação permanente, e portanto não sujeita a desmatamento, todas aquelas que tiverem declividades superiores a 100% ou o equivalente 45°. Nas áreas com declividade entre 100% e 47%, ou entre os equivalentes 45° e 25°, "... não é permitida a derrubada de florestas ... sendo nelas toleradas a extração de toros quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes".

Os limites especificados em lei federais podem ser modificados por leis ou códigos estaduais e municipais. As especificações modificadas tem como objetivo a adequação da lei às condições particulares de ambientes específicos, no entanto, deve sempre indicar a regulamentação do uso do solo de maneira mais conservadora que a legislação federal.

Para uso do solo agrícola, o limite de 12% é considerado costumeiramente como o máximo para a implantação de práticas mecanizadas.

A monotonia do relevo da área mapeada exigiu um detalhamento dos intervalos de declividade mais baixos. Assim foram adotados os limites 2% e 6%.

Após a elaboração da Carta de Declividade com os intervalos definidos anteriormente, a saber 0-2%, 2-6%, 6-12%, 12-20%, 20-30% e 30-47% e >47%, foi percebida a falta de utilidade dos intervalos de declividade mais elevados. Isso porque estas classes apresentavam uma distribuição areal muito reduzida, sendo que a sua delimitação ainda era prejudicada pela escala original do mapa topográfico utilizado (1:50.000). Assim, as áreas com declividades maiores que 12% foram reunidas numa única unidade, dentro da qual, já a princípio, predominava amplamente a antiga classe 12-20%.

As planícies aluviais foram excluídas das classes de declividade anteriormente citadas e constituíram uma unidade particular. As justificativas para essa separação são:

a) facilitar a leitura da carta e o seu cruzamento com outras cartas temáticas;

b) identificar as áreas potencialmente alagáveis, uma vez que a Lei Federal 6.766, já citada, proíbe o parcelamento do solo com fins urbanos em terrenos alagadiços ou sujeitos à enchentes;

c) por outro lado, o uso agrícola das várzeas também é regulamentado e exige aprovação de órgão ambiental competente. Isso porque a Lei Federal 4.771, também já citada, define como de "... preservação permanente ... as florestas e demais formas de vegetação situadas: a) ao longo dos rios ou qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima...". Para a área mapeada, a faixa de preservação permanente marginal da maior parte dos cursos d'água é de 30m a partir de cada margem, uma vez que estes não possuem mais de 10m de largura, e de 50m ao redor das nascentes.

Assim, a carta de declividade adotou as seguintes classes: PLANÍCIES ALUVIAIS SEM TERRAÇOS ELEVADOS; 0-2%; 2-6%; 6-12% e >12%.

5.2 DOCUMENTO DERIVADO OU INTERPRETATIVO (A CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL DE CASA BRANCA)

A CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL DE CASA BRANCA foi elaborada segundo as orientações do item 3.3 (Elaboração de Cartas de Zoneamento Geotécnico Geral). A elaboração do documento cartográfico pode ser compartimentada em 4 etapas: análise, pré-qualificação, cruzamento e generalização.

A análise consiste da reunião dos atributos disponíveis para o estudo, ou seja, aqueles que foram inicialmente escolhidos. Estes atributos foram investigados durante a fase de elaboração dos documentos fundamentais ou básicos e as informações obtidas foram consolidadas nas unidades de mapeamento dos respectivos documentos cartográficos.

Com a lista de atributos foi elaborada uma matriz do tipo atributo X atributo. O objetivo foi avaliar as relações de dependência entre os atributos e, através delas, separar os atributos fundamentais e distintivos, como exemplificado na TABELA 3.1.

A matriz elaborada (TABELA 5.16) mostra as relações de dependência entre os atributos. Como uma forma de minimizar a importância de uma avaliação equivocada, foram definidos três níveis de dependência: dependente (x), pouco dependente (x*) e não dependente ($\emptyset$). A matriz aponta como atributo distintivo as unidades de terreno.

TABELA 5.16: matriz atributo X atributo utilizada na definição dos atributos fundamentais e distintivos. O atributo unidade de terreno (9) foi eleito o atributo distintivo para o subconjunto de atributos considerados.

Atributos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	x	x*
Litológicos													
1. litologia	-	x	x*		x*		x	x*	x	x*	x*	3	5
2. textura	x	-	x*		x*		x*		x*		x*	1	5
Mat. Inconsolidado													
3. textura	x*	x*	-	x	x		x	x*	x*		x*	3	5
4. índices físicos			x	-	x		x		x*		x*	3	2
5. origem	x*	x*	x	x	-	x*	x	x*	x	x*	x*	4	6
6. espessura					x*	-	x	x	x	x	x*	4	2
7. perfil	x	x*	x	x	x	x	-	x*	x	x*	x	7	3
Declividade													
8. declividade	x*		x*		x*	x	x*	-	x*	x*	x*	1	7
Relevo													
9. unidades de terreno	x	x*	x	x	x	x	x	x*	-	x	x	8	2
10. declividade geral	x*				x*	x	x*	x*	x	-	x	3	4
11. densidade de drenagem	x*	x*	x*		x*	x*	x	x*	x	x	-	3	6

Obs: x - dependente, x* - pouco dependente, (vazio) - não dependente

A pré-qualificação foi utilizada para definir UZGGs que identificam a variação de, por exemplo, um ou dois atributos específicos. Neste caso foi necessário que a variação destes determinados atributos fosse claramente mapeável e representada em pelo menos um dos documentos fundamentais básicos utilizados. Dessa forma, podemos dizer que foram definidas por pré-qualificações de atributos as seguintes UZZGs:

a) a UZGG 14 foi definida como a unidade das planícies aluviais representadas no MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS com ALUVIÕES e na CARTA DE DECLIVIDADE como PLANÍCIES ALUVIAIS SEM TERRAÇOS ELEVADOS. A pré-qualificação das planícies aluviais é justificada por características muito particulares deste compartimento do relevo, por exemplo:

- são áreas de agradação, ou seja, sujeitas a entulhamento por material mobilizado das áreas vizinhas;

- são sujeitas a inundações;

- são regulamentadas por legislação específica - Código Florestal (Lei Federal 4771 de 15/09/65, modificado pela Lei 7803 de 18/07/89);

- e apresentam elevada fragilidade quanto à manutenção da qualidade e quantidade da água.

b) a UZGG 15 foi definida como a projeção feições erosivas. Nestas áreas, toda a espessura de material inconsolidado foi mobilizada até o aparecimento de uma camada rocha mais resistente ou o rebaixamento até um nível de base local. Esta unidade é especialmente importante quanto às limitações ao uso do solo impostas pela presença de grandes feições erosivas, como por exemplo:

- adequação criteriosa do uso do solo a um prognóstico realista da evolução das feições erosivas, inclusive com a análise da relação custo / benefício de uma obra de recuperação, de redirecionamento do uso ou de interdição da área;

- necessidade de cuidados adicionais quanto ao sistema de drenagem superficial das áreas adjacentes;

- monitoramento do impacto ambiental provocado pela feição erosiva, tanto local (perda de terras agricultáveis ou urbanizáveis) quanto regional (degradação dos recursos hídricos);

- acompanhamento e direcionamento de vetores de expansão das manchas urbanas. Necessidade de manutenção de programas sociais e de educação ambiental, inclusive com a vigilância de áreas especialmente desvalorizadas pelo elevado risco de acidentes geológicos;

- adoção de plano de manejo de áreas agricultáveis de forma a prever usos especialmente conservadores.

c) a UZGG 16 foi definida como as cabeceiras de drenagem com lagoas. A pré-qualificação justifica-se pelas mesmas razões citadas para a UZGG 14,

ressaltando que estas áreas devem ser consideradas como nascentes e, por isso, preservadas segundo o Código Florestal;

d) a UZGG 10 foi definida como as formas de relevo particulares da Unidade de Terreno 2.3 (cristas e morrotes). As áreas incluídas nesta UZGG apresentam como principais particularidades:

- pequena espessura de material inconsolidado, inclusive com afloramento de rocha;
- vertentes retilíneas e declivosas, muitas vezes salpicadas de matacões.

O cruzamento foi realizado com a elaboração da TABELA 5.17, semelhante ao exemplo da TABELA 3.2, onde foram definidas parte das Unidades de Zoneamento Geotécnico Geral (UZGG). Assim, como atributo distintivo foram utilizadas as unidades de terreno e para a caracterização destas foram utilizados os seguintes atributos fundamentais: substrato rochoso, declividade de vertente e o perfil de material inconsolidado.

A escolha dos atributos fundamentais é direcionada de acordo com o documento a ser elaborado. Por exemplo, neste caso o objetivo foi a elaboração de um documento de vetor não especificado, ou seja, o documento deve apresentar as características gerais do meio físico.

A generalização foi realizada após o cruzamento dos mapas. O procedimento adotado foi o agrupamento das UZGGs definidas por variações pouco significativas de um ou dois atributos menos importantes. Assim tem-se que:

a) para a Unidade de Terreno 1.2, o atributo declividade foi considerado parcialmente. As UZGGs 4 e 5 são diferenciadas por apresentarem, respectivamente, <12% e >12% de declividade. Isso porque as áreas com declividade maior que 12% correspondem aos ressaltos topográficos marcados por escarpas rochosas;

b) para as Unidades de Terreno 2.1 e 1.3, por representarem terrenos dissecados de maneira semelhante, perfis de materiais inconsolidados delgados e formas de relevo de pequena expressão areal, foi considerado suficiente a representação em uma única unidade (UZGG 6);

c) as Unidades de Terreno 3.1 e 1.4, por apresentarem predomínio de declividades $<6\%$ e perfis de materiais inconsolidados capeados por espessa camada de material arenoso retrabalhado, foram representados na UZGG 12;

d) a Unidade de Terreno 3.2, por apresentar predomínio de declividades $<6\%$ e perfil de material inconsolidado sem variações significativas, foi representada sem a sobreposição com a Carta de Declividade e constitui a UZGG 13.

Tabela 5.17: Definição das UZGGs (os números entre parênteses correspondem aos perfis de materiais inconsolidados das FIGURAS 5.10a e 5.10b).

UNIDADES DE TERRENO	SUBSTRATO ROCHOSO	DECLIVIDADES	PERFIL DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS	UZGG
1.1	SG 1	0-2%	arenoso espesso / rocha básica (4 ou 5) e arenoso espesso / canga limonítica / argiloso / rocha básica (3)	1
1.1	SG 1	2-6%	arenoso espesso / rocha básica (4 ou 5) e arenoso espesso / canga limonítica / argiloso / rocha básica (3)	2
1.1	SG 1	>6%, 50%* da área com declividades menores que 12%	arenoso espesso / rocha básica (4 ou 5) e arenoso espesso / canga limonítica / argiloso / rocha básica (3), nos fundos de vale mais entalhados pode ocorrer material silteoso de cor rosado (6)	3
1.2	SG 1	<12%	material mal selecionado, camada delgada com níveis de cascalho / arenoso espesso / canga limonítica / argiloso / rocha básica de muito a pouco alterada (3), material heterogêneo delgado com níveis de cascalho / argiloso residual / rocha básica de muito a pouco alterada (2) ou material heterogêneo delgado com níveis de cascalho / rocha (1)	4
1.2	SG 1	>12%.	material mal selecionado, camada delgada com níveis de cascalho / argiloso residual / rocha básica de muito a pouco alterada (2) ou material mal selecionado, camada delgada com níveis de cascalho / rocha (1)	5
2.1 e 1.3	IT.	-	arenoso de espessura variável / linha de seixos / silteoso delgado / rocha sedimentar (7, 8 e 9)	6
2.2	IT.	-	arenoso espesso / linha de seixos / rocha sedimentar alterada (7)	7
2.2	IT.	2-6%	arenoso espesso / linha de seixos / rocha sedimentar alterada (7)	8
2.2	IT.	6-12%	arenoso espesso / linha de seixos / rocha sedimentar alterada (7)	9
2.2	IT.	>12%	arenoso espesso / linha de seixos / rocha sedimentar alterada (7)	10
2.3	SG 2	-	material mal selecionado, camada delgada com níveis de cascalho / rocha básica (1)	11
3.1 e 1.4	IT.	-	arenoso espesso a muito espesso / rocha sedimentar alterada (7)	12
3.2	SG1	-	arenoso espesso / rocha sedimentar ou básica (4) ou argiloso / rocha básica (2)	13
PLANÍCIES ALUVIAIS	IT. OU SG 1	~0%	areias ou argilas arenosas submetidas à condições de hidromorfismo (nível d'água raso)	14
EROSÕES	IT.	-	-	15
LAGOAS	SG 1 OU IT.	-	areias ou argilas arenosas submetidas frequentemente à condições de hidromorfismo (nível d'água raso)	16

* Porcentagens de áreas estimadas. ** delgado: >5m; espesso: de 5 a 10m; muito espesso: >10m.

SG1 - Formação Serra Geral (concordante);

SG2 - Formação Serra Geral (discordante);

It - Subgrupo Itararé.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento desta dissertação foram reunidas algumas considerações relevantes, que são agora apresentadas:

a) quanto às metodologias de mapeamento geotécnico:

A revisão bibliográfica sobre metodologias de mapeamento geotécnico, disponível em ALMEIDA (1997), sugere que foram vários os grupos de profissionais que tiveram a necessidade de organizar, de maneira regionalizada, as informações geotécnicas. Dentre estes grupos pode-se destacar aqueles que visavam a organização do espaço geográfico ou macro planejamento e aqueles que visavam a solução de problemas específicos em áreas reduzidas o que, talvez, possa ser denominado de micro planejamento.

No Brasil, com a enorme dificuldade de planejar a ocupação dos espaços, estas duas modalidades de planejamento tomaram rumos particulares, quer pela pressão social, quer pelo desvio de funções dos poderes constituídos. Os trabalhos acadêmicos, mesmo sem terem recebido esta atribuição, são direcionados para o macro planejamento, enquanto as administrações públicas (municipais, estaduais e federal) são obrigadas a desenvolver o micro planejamento, especialmente na solução de processos de degradação do solo e dos recursos hídricos.

Surgem dois tipos de trabalhos: aqueles voltados para o reconhecimento de uma área visando o planejamento do uso do solo e aqueles voltados para a remediação de usos conflituosos com as características do meio físico. Ambos são importantes, pois são dirigidos a solicitantes diferentes: o primeiro é voltado para

planejadores que pretendem ocupar uma área aproveitando as suas potencialidades e evitando os seus perigos; o segundo tem a urgência de diagnosticar os atributos frágeis e responder às questões práticas de como enfrentar degradações já em andamento ou prestes a serem deflagradas.

b) quanto à metodologia adotada nesta pesquisa:

A adoção da METODOLOGIA DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE ZUQUETTE é justificada como uma ação no sentido de desenvolver e aperfeiçoar os seus procedimentos numa escala de reconhecimento, mas já com detalhe suficiente para subsidiar o planejamento da ocupação dos espaços em um município.

Esta metodologia tem como aspecto favorável a elaboração e apresentação individualizadas dos mapas fundamentais básicos e das cartas derivadas ou interpretativas. Isso permite a utilização dos produtos tanto por pessoas interessadas em informações brutas (sem tratamento), quanto por aquelas interessadas em informações conclusivas (escolha ou descarte de áreas para fins específicos).

Destaca-se neste trabalho a utilização da SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DE TERRENOS em conjunto com a IDENTIFICAÇÃO DE PERFIS TÍPICOS DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS. A hipótese adotada sugere que terrenos semelhantes possuem também semelhantes perfis típicos de materiais inconsolidados e que estas inferências podem ser regionalizadas e cruzadas com outros atributos.

c) quanto às informações pré-existentes a respeito do meio físico da região pesquisada:

A pesquisa foi particularmente prejudicada pela quantidade de informações pré-existentes. De início, não existe um mapa topográfico em escala adequada, como por exemplo 1:25.000 ou 1:10.000. Também, não existem cartas temáticas

detalhadas, como por exemplo, litológicas, climáticas, de vegetação ou de hidrologia superficial e subterrânea.

E, finalmente, as informações geotécnicas são escassas. A inexistência de informações geotécnicas é condicionada pela vocação agropecuária da região e pela carência de obras complexas ou de maior porte, que normalmente requerem estudos geotécnicos mais detalhados.

d) quanto à origem das informações recolhidas:

As informações recolhidas para esta pesquisa tiveram origem em trabalhos de caracterização do solo para dimensionamento de sistemas de irrigação (IPT, 1991 e 1997), relatórios de perfuração de poços profundos (Prefeitura Municipal de Casa Branca, do DAEE e de particulares), observações de campo e resultados de ensaios obtidos pelo próprio autor.

e) quanto à adoção da SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DOS TERRENOS:

A SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DE TERRENOS foi utilizada na elaboração do MAPA DE *LANDFORMS*. A elaboração do mapa foi particularmente prejudicada pela falta de um mapa topográfico adequado. Entretanto seguiu-se, de forma mais fiel possível, a premissa de primeiro fracionar a área em partes homogêneas e depois proceder a classificação.

A adoção da SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DE TERRENOS obrigou a aplicação de exercícios exaustivos, de constantes avaliações dos resultados e reformulações de conceitos. Especialmente difícil foi o enquadramento das formas de relevo reconhecidas na rígida hierarquia de níveis de análise. Foi muito útil a elaboração de uma série de perfis topográficos com orientações variadas. Os perfis auxiliaram o reconhecimento de níveis topográficos contínuos, de dissecamento da paisagem, dos limites entre os sistemas e as unidades de terreno. Evidenciaram ainda a impossibilidade da compartimentação dos elementos de terreno, em razão da incompatibilidade da dimensão da unidade básica de análise com a escala do mapa topográfico disponível.

f) quanto à elaboração da CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL:

A elaboração da CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL foi dividida em quatro fases: análise, pré-qualificação, cruzamento e generalização.

Da forma como sugerido na metodologia, foram utilizadas matrizes para analisar as relações entre um número limitado de atributos.

A hierarquização dos atributos com a utilização da matriz de atributos admitiu a hipótese de que a distribuição geográfica de um atributo mais importante pode ser utilizada como representativa das distribuições dos demais atributos considerados. Esse artifício, baseado na análise da matriz dos atributos, permitiu a transformação do Mapa de *Landforms* na Carta de Zoneamento Geotécnico Geral. Anteriormente, os atributos tinham sido pré-qualificados de forma que algumas unidades de zoneamento geotécnico representassem atributos não relacionados com os demais.

O procedimento sugerido neste trabalho não é considerado conclusivo, mas apenas mais uma contribuição à discussão acerca da elaboração de documentos de regionalização de informações de interesse geotécnico.

7. CONCLUSÕES

A CARTA DE DOCUMENTAÇÃO apresenta a localização das informações coletadas durante a pesquisa. No total, foram levantadas 187 informações, sendo 132 pontos de observação direta (em 21 pontos foram coletadas 35 amostras deformadas de solo para os ensaios de caracterização), 24 perfis pedológicos de IPT (1990), 10 perfis pedológicos de IPT (1996) e 21 relatórios finais de perfuração de poços tubulares.

Foi reunida em média 0,8 informação por km² pesquisado, sendo que 70% das informações foram produzidas pelo próprio autor. Esta concentração de informações é bem menor que as 2 informações por km² sugerido por Zuquette (1987). Entretanto, não houve prejuízo dos resultados, principalmente devido à homogeneidade da área, em especial dos atributos substrato rochoso (que apresenta apenas 2 unidades, ou seja, o diabásio da Formação Serra Geral e as rochas clásticas do Subgrupo Itararé) e formas de terrenos (apenas 3 sistemas de terrenos e mesmo assim apresentando uma variabilidade de relevos muito pequeno, ou seja, com predomínio amplo das colinas e rampas). Por outro lado, deve ser ressaltada a elevada porcentagem de informações produzidas especialmente para esta pesquisa.

O MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO apresenta as mesmas unidades estratigráficas (Subgrupo Itararé - Grupo Tubarão e Formação Serra Geral - Grupo São Bento) encontradas em mapas anteriores, mas não com a mesma distribuição espacial. Neste trabalho foi rejeitada a regra, tão comum, de restringir os afloramentos de rochas básicas (Formação Serra Geral - Grupo São Bento) às áreas de solos vermelhos e argilosos. Foi verificado que as rochas básicas podem estar capeadas por espessos depósitos coluvionares arenosos de idades mais recentes.

O MAPA DE *LANDFORMS* apresenta 3 sistemas de terrenos, assim denominados: TERRENOS "BAIXOS" COM SUBSTRATO DE ROCHA BÁSICA divididos, por sua vez, em 4 unidades de terrenos, a saber, "colinas com vertentes convexas", "colinas com vertentes côncavas", "vales dissecados" e "testemunhos de rampas"; TERRENOS "BAIXOS" COM SUBSTRATO DE ROCHAS SEDIMENTARES subdivididos em 3 unidades de terreno, a saber, "morrotes em terrenos de rochas sedimentares", "colinas" e "morrotes sustentados por rochas básicas discordantes"; TERRENOS "ELEVADOS" subdivididos em 2 unidades, a saber, "rampas" e "morros com encostas suavizadas".

Foram associados 9 perfis de materiais inconsolidados às 9 unidades de terrenos, sendo que um perfil pode caracterizar perfeitamente uma unidade de terreno, mas pode não ser exclusivo desta. Em outras palavras, uma unidade de terreno pode apresentar mais de um dos perfis típicos definidos na região.

O MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS apresenta 6 unidades definidas por intervalos granulométricos e origem do material. As unidades de maior expressão areal são arenoso retrabalhado, silteoso residual, argiloso residual e aluviões. São representadas, ainda, as áreas onde ocorrem afloramentos de rochas sedimentares clásticas e ígneas básicas. Esse procedimento é justificado pela percepção de que a omissão destas áreas acabaria por passar a falsa informação de que toda a área possui uma cobertura de material inconsolidado. Existem escarpas e ressaltos (pequenas escarpas) em rocha básica e vertentes mais dissecadas com exposição de rocha sedimentar alterada.

As unidades de materiais inconsolidados foram caracterizadas por meio de ensaios geotécnicos realizadas em amostras representativas. Também foram realizadas estimativas de comportamento por meio de métodos empíricos diversos. Em resumo, a respeito dos materiais inconsolidados encontrados na região, pode-se dizer que:

a) o material arenoso residual cobre cerca de 40% da área mapeada e predomina na porção centro-oeste. As principais áreas de exposição são as

Unidades de Terreno 1.1, 2.2 e 3.1 e os perfis mais freqüentes são 4, 5, 6, 7 e 8. Este material é classificado como areia argilosa, possui cor marrom avermelhada ou vermelha em tons claros ou escuros, inativa (atividade da fração argila muito baixa) e muito permeável ($K \sim 10^{-2}$ a 10^{-4}). Entre as características estimadas pode-se destacar que o material é erodível, facilmente escavado e de comportamento laterítico, segundo a Classificação MCT. Vale lembrar ainda que os locais de topografia favorável são excelentes fontes de material de empréstimo arenoso.

b) o material argiloso residual predomina na porção oeste da área mapeada, embora ocorra também em 3 manchas isoladas nas porções central, sudeste e extremo nordeste. As principais áreas de exposição são as Unidades de Terreno 1.1, 1.2 e 3.3, enquanto que os perfis de materiais inconsolidados mais freqüentes são 2 e 3. É classificado como argila arenosa ou areia argilosa e possui cor vermelha ou marrom avermelhada sempre em tons escuros, inativa e média permeabilidade ($K \sim 10^{-4}$ e 10^{-6}). Entre as propriedades estimadas pode-se destacar que o material é pouco erodível, moderadamente favorável à escavação e com comportamento laterítico, segundo a Classificação MCT. Vale lembrar também que os locais de topografia favorável são fontes de material de empréstimo argiloso e potencialmente de brita de basalto.

c) o material siltoso residual cobre 1/3 da área mapeada, em especial nos relevos mais dissecados. As principais áreas de exposição são as Unidades de Terreno 2.1 e 1.3 e os perfis de materiais inconsolidados mais comuns são 8 e 9. A camada superior é classificada como silte arenoso, areia siltosa, ou ainda silte argiloso; possui cor marrom alaranjada, vermelha ou amarela em tons claros ou escuros, inativa a pouco ativa e alta permeabilidade ($K \sim 10^{-2}$ e 10^{-4}). A camada inferior é classificada como silte arenoso ou silte argiloso e guarda semelhança com a rocha original; possui cor rosa ou vermelho alaranjado com mosqueamento branco, vermelho e amarelo; pouco ativa a ativa e média permeabilidade ($K \sim 10^{-3}$ e 10^{-5}). Entre as propriedades estimadas pode-se destacar a predominância de comportamento laterítico, segundo a Classificação MCT, com exceção daquelas amostras mais profundas, obtidas próximas do limite com a rocha alterada.

d) os aluviões são encontrados ao longo do curso das principais drenagens, a saber Ribeirão da Cachoeira, Córrego da Estiva, Ribeirão das Congonhas e Rio Verdinho.

e) os afloramentos de rocha sedimentar clástica ocorrem nas grandes boçorocas formadas por erosão remontante de reativação de cabeceiras de drenagens.

f) os afloramentos de rocha básica correspondem às Unidades de Terreno 1.2 e 2.3, onde estas afloram em meio às rochas sedimentares.

A CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL foi elaborada a partir da caracterização de unidades geotécnicas de interesse utilizando-se das unidades de landforms e de informações extraídas dos demais mapas fundamentais elaborados. O resultado foi um documento com 16 UNIDADES DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL, sendo que, deste total, 4 foram definidas por pré-qualificação, 5 por generalização e 7 por cruzamento de atributos. As unidades são assim divididas:

a) definidas por pré-qualificação:

- a UZGG 11 representa as cristas e morrotes esculpidos em áreas de afloramento de corpos intrusivos discordantes de rocha ígnea básica;

- a UZGG 14 representa os aluviões;

- a UZGG 15 representa as grandes erosões (boçorocas de reativação de cabeceira de drenagem) que são comuns na região de Casa Branca, em especial junto ao sítio urbano;

- a UZGG 16 representa cabeceiras de drenagem com lagoas.

b) definidas por generalização:

- as UZGGs 4 e 5 surgiram da sobreposição da Unidade de Terreno 1.2 pelo contorno do limite de $>12\%$ de declividade. As subdivisões de declividade menores e maiores que 12% foram consideradas não significativas;

- a UZGG 6 surgiu da fusão das Unidades de Terreno 2.1 e 1.3. Esta fusão pode ser justificada pelas razoáveis semelhanças entre as características das formas de relevo;

- a UZGG 12 surgiu da fusão das Unidades de Terreno 3.1 e 1.4. Esta fusão pode ser justificada devido às semelhanças entre as características das formas de relevo. Sugere-se inclusive, que a Unidade de Terreno 1.4 representa uma superfície de relevo residual da Unidade 3.1;

- a UZGG 13 representa a Unidade de Terreno 3.2.

c) definidas por cruzamento:

- as UZGGs 1, 2 e 3 foram definidas pela sobreposição da Unidade de Terreno 1.1 com os contornos da Carta de Declividade;

- as UZGGs 7, 8, 9 e 10 foram definidas pela sobreposição da Unidade de Terreno 2.2 com os contornos da Carta de Declividade.

BIBLIOGRAFIA

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6508 (ABNT MB - 28) *Grãos de solos que passam na # de 4,8mm - Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7181 (ABNT MB - 32) *Solo - análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7182 (ABNT MB - 33) *Solo - ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1948) A "roche moutonnée" de Salto, Estado de São Paulo. *Geologia e Metalurgia*, São Paulo (5):112-118.
- ALMEIDA, F. F. M de (1964) *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, (41): 169-263.
- ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A, S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S. & BISTRICHI, C. A. (1981) *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000*. São Paulo, IPT, 2 volumes. (IPT, Monografia , 6).
- ALMEIDA, L. E. G. (1997) *Mapeamento Geotécnico: uma ferramenta no estudos dos processos erosivos pluviais*. Revisão Bibliográfica apresentada para a Disciplina Seminários Gerais em Geotecnia do Curso de Pós-Graduação em Geotecnia da EESSC/USP. pp. São Carlos.
- AMARAL, S. E. do (1965) Nova ocorrência de "roche moutonnée" em Salto, São Paulo, *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, 14(1-2):71-82.

- BACHION, M.L. (1997) Mapeamento geotécnico das áreas urbanas e de expansão da região sudeste do Município de Campinas - SP, escala 1:25.000. São Carlos : EESC/USP. 1997. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BRASIL. Leis, etc. (1979) Lei Federal 6.766 de dezembro de 1979. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, DF.
- BRASIL. Leis, etc (1965) *Código Florestal*, Lei Federal 4.711 de setembro de 1965. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, DF.
- CAETANO-CHANG, M.R.; OLIVEIRA, J.P. de; BRIGHETTI, J.M.P. (1990) Pavimento estriado em rochas do Rio Piritubinha, sul do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 20(1-4)333-335. SBG, São Paulo.
- CERRI, L. E. S. (1990) Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. VI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia / IX Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia de Fundações. ABGE/ABMS. *Anais* (309-316).
- CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A; AUGUSTO FILHO, O; ZAINÉ, J. E. (1996) Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método do detalhamento progressivo. VIII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Volume 2, pp. 537-547. ABGE. Rio de Janeiro.
- COZZOLINO & NOGAMI (1993) COZZOLINO V M N & NOGAMI J S (1983) Classificação geotécnica MCT para solos tropicais. *Solos e Rochas / Revista Brasileira de Geotecnia*. ABMS/ABGE, agosto, Vol. 16, (2): 77-91.
- FIGUEIREDO FILHO, P.M. de; FRAKES, L.A (1968) Itararé Subgrup (Tubarão Group) in the Mococa - Casa Branca region - São Paulo State. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*. 17(1)59-70.

- FURLANI, G. M. (1980) *Estudo geomorfológico das boçorocas de Casa Branca*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física apresentada na FFLCH - USP. Departamento de Geografia. (379pp).
- GAMA Jr., E.G.; PERINOTTO, J.A J.; RIBEIRO, H.J.P.S.; PADULA, E.K. (1992 a) Contribuição ao estudo da ressedimentação no Subgrupo Itararé: tratos de fácies e hidrodinâmica deposicional. *Revista Brasileira de Geociências*. SBG. 22(2):228-236.
- GAMA Jr., E.G.; PERINOTTO, J.A J.; RIBEIRO, H.J.P.S.; PADULA, E.K. (1992 b) Contribuição ao estudo da ressedimentação no Subgrupo Itararé: um guia temático de campo. *Revista Brasileira de Geociências*. SBG. 22(2):237-247.
- GOMES, R.L. (1997) Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana da região sudeste do Município de Campinas - SP, escala 1:25.000. São Carlos : EESC/USP. 1997. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GRANT & FINLAYSON (1978) The Application of Terrain Analysis to Urban and Regional Planning. In : 3rd International Congress of the International Association of Engineering Geology, 3, 1978, Madrid, Proceedings..., Madrid : 1978, v. 1. (79 - 91).
- HONORATO, S.; MACKENNA, J. (1975) Influencia de la granulometria de un medio poroso en su permeabilidad. In: V Congresso Panamericano de Mecânica de Solos e Engenharia de Fundações. *Anais* V.3 pp135-148. Buenos Aires.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1971 a) Folha topográfica Casa Branca na escala 1:50.000.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1971 a) Folha Topográfica Tambaú na escala 1:50.000.

- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1983) Formações geológicas de superfície, folha geológica de Casa Branca (Folha SF-23-V-C-V-4), escala 1:50.000. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais. Instituto Geológico.
- IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (1965) Folha geológica provisória de Casa Branca, escala 1:100.000. Serviço de Geologia Geral. Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo.
- IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (1985) Carta de utilização das terras do Estado de São Paulo, Folha Ribeirão Preto, escala 1:250.000. Secretaria de Economia e Planejamento de Ação Regional, Instituto Geográfico e Cartográfico.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1990) Planejamento de irrigação do Município de Casa Branca - SP. Relatório 28.540 / 90.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1997) Planejamento de áreas irrigadas e transferência de tecnologia do sistema de controle da irrigação por pivô central, através do uso de tensiômetros de faixas, para os agricultores do Município de Casa Branca, SP. Relatório 35.432 / 97.
- LOLLO, J.A de (1996) O uso da técnica para avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula Campinas. São Carlos : EESC/USP. 1996. 2v. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LOLLO, J.A de; ZUQUETTE, L.V. (1996) Utilização da técnica de avaliação do terreno em cartografia geotécnica: sistemática proposta e resultados obtidos para a Quadrícula de Campinas. In: Segundo Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 24 a 27 de novembro de 1996, *Publicação*, 3-12p São Carlos, ABGE, 1996.

NAKAZAWA, V.A; PRANDINI, F.L.; SANTOS, A R. dos; FREITAS, C.G.L. de (1991) Cartografia Geotécnica: a aplicação como pressuposto. II Simpósio de Geologia do Sudeste. SBG/SP-RJ, São Paulo. *Atas.* (329-336).

NISHIYAMA, L. (1998) *Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia - MG.* EESC/USP, São Carlos, 1998. 372p (2v). Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

NOGAMI & VILLIBOR (1979) Nogami, J. S. & Villibor, D. F. (1979) Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. N. 19, 196-199, Krefeld, 1979.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. (1981) Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. *Anais.*(30-38).

PEJON, O.J. (1992) *Mapeamento geotécnico regional da folha Piracicaba - SP (Escala 1:100.000) : estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos.* São Carlos : EESC/USP. 1992. 2v. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PETRI, S.(1964) Grupo Tūbarão. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, São Paulo, (41):56-63.

PETRI, S.; PIRES, F.A (1992) O Subgrupo Itararé (Permocarbonífero) na Região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*. SBG. 22(3):301-310.

PIRES NETO, A G. (1992) As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica, uma proposição metodológica para a geomorfologia. São Paulo :

FFLCH/USP. 1992. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C.D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. de & PRANDINI, F. L. (1981) Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, Escala 1:1.000.000. São Paulo, IPT, 2 volumes. (IPT, Monografia 5).

PRANDINI, F.L.; SEOANE, J.C.S. de; SALOMÃO, F.X.T.; GOUVEIA, M.I.F.; FURLANI, G.M. (1990) Suscetibilidade à erosão por boçorocas como condicionante ao uso planejado do território: plano diretor do Município de Casa Branca - SP. VI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia / IX Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia de Fundações. *Anais*. 269-278.

ROCHA-CAMPOS, A C., FARJALLAT, J.E.S.; YOSHIDA, R. (1968) New glacial features of the Upper Paleozoic Itararé Subgroup in the State of São Paulo, Brazil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, V. 17(1)47-57.

ROCHA-CAMPOS, A C.; SAAD, A R.; SANTOS, P.R. dos; OLIVEIRA, M.E.C.B. de (1977) Algumas feições periglaciais do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico), no Estado de São Paulo. *Boletim IG*, Instituto de Geociências, USP, V8:55-66

SOARES, P.C. (1972) O limite glacial - pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. V. 44 (Suplemento) (333-341).

SOARES, P.C. & FIORI, A P. (1976) Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, 16 (32): 71-104.

SOARES, P.C.; SINELLI, O; PENALVA, F.; WERNICK, E. SOUZA, A; CASTRO, P.R.M. (1973) Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. XXVII Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. *Anais*. 209-228.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; SINELLI, O; WERNICK, E.; WU, FU-TAI; FIORI, A P. (1977) Associações litológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental. *Revista Brasileira de Geociências*. SBG. V. 7 (131-149).

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (1982) Mapa Geológico do Estado de São Paulo, folha Ribeirão Preto, na escala 1:250.000 (Folha SF-23-V-C). Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente, Departamento de Água e Energia Elétrica, Universidade Estadual Paulista.

ZUQUETTE, L.V. (1987) *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. São Carlos : EESC/USP. 1987. 3v. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ZUQUETTE, L.V. (1993) *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração*. EESC/USP, São Carlos, 1993. 368p (2v). Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ZUQUETTE, L.V. & PEJON, O J. (1996) Carta de zoneamento geotécnico geral da região de Franca-SP utilizando os critérios de landforms. In: Segundo Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 24 a 27 de novembro de 1996. *Publicação*. 165-174p. São Carlos, ABGE, 1996.

ANEXO I - FOTOS

Foto 01: Ponto de observação 18 (extração de argila da Cerâmica Casa Nova). Vista da melhor exposição da associação litológica folhelho - siltito do Subgrupo Itararé. Na foto pode ser observada, ainda, o perfil típico de material inconsolidado do tipo 7, ou seja, uma camada de material siltoso residual capeada por uma camada de material arenoso retrabalhado.

Foto 02: Ponto de observação 18 (extração de argila da Cerâmica Casa Nova). Dique de rocha básica subvertical com cerca de 0,4m de largura.

Foto 03: Ponto de observação 29 (Rodovia SP-340, entre Casa Branca e Mococa). Exposição da associação litológica folhelho - siltito do Subgrupo Itararé.

Foto 04: Ponto de observação 29 (Rodovia SP-340, entre Casa Branca e Mococa). Detalhe da foto anterior. Notar dique de rocha básica subvertical com cerca de 1m de largura.

Foto 05: Ponto de observação 30 (Afluente do Ribeirão das Congonhas, a norte do sítio urbano de Casa Branca). Colinas em terrenos sedimentares (Unidade de Terreno 2.2). Boçoroca que entalha as rochas da associação litológica arenito - diamictito do Subgrupo Itararé e a cobertura arenosa retrabalhada. Exposição do perfil típico de material inconsolidado do tipo 7, ou seja, camada de material arenoso retrabalhado por sobre a rocha sedimentar alterada.

Foto 06: Ponto de observação 30 (Afluente do Ribeirão das Congonhas, a norte do sítio urbano de Casa Branca). Notar que a drenagem local já apresenta perfil de equilíbrio (de baixa energia). A evolução da feição erosiva acontece por meio de rompimentos dos taludes laterais devido à instabilidade de base ou queda pelo próprio peso.

Foto 07: Ponto de observação 30 (Afluente do Ribeirão das Congonhas, a norte do sítio urbano de Casa Branca). A escala aponta a base da camada de material arenoso retrabalhado.

Foto 08: Ponto de observação 30 (Afluente do Ribeirão das Congonhas, a norte do sítio urbano de Casa Branca). Detalhe da foto anterior. Notar que a base da camada de material arenoso retrabalhado é marcada por uma linha de seixos composta, neste local, por seixos e grânulos de quartzo. Notar que a baixo da linha de seixos aflora um arenito marrom claro do Subgrupo Itararé. É importante assinalar que este arenito não é a variedade mais típica desta unidade. É mais comum encontrar uma rocha esbranquiçada com variações para o marrom, rosa e amarela, composta por areia média a grossa com grânulos angulosos e friável.

Foto 09: Ponto de observação 11 (Cruzamento da ferrovia com a Rodovia SP-215, entre Casa Branca e Santa Cruz das Palmeiras, a sudeste do sítio urbano de Casa Branca). O afloramento mostra a melhor exposição da associação litológica arenito - diamictito do Subgrupo Itararé. Notar também que neste local a camada de material arenoso retrabalhado possui cerca de 12m de espessura.

Foto 10: Ponto de observação 11 (Cruzamento da ferrovia com a Rodovia SP-215, entre Casa Branca e Santa Cruz das Palmeiras, a sudeste do sítio urbano de Casa Branca). Detalhe da foto anterior. Diamictitos do Subgrupo Itararé.

Foto 11: Morro das Tabaranas (a oeste do Ribeirão das Cachoeiras). Colinas com vertentes côncavas (Unidade de Terreno 1.2) onde normalmente afloram rochas básicas (Formação Serra Geral 1 - corpos intrusivos concordantes).

Foto 12: Ponto de observação 66 (vista voltada para o sul). Morro com encosta suavizada (Unidade de Terreno 3.2), relevo entalhado em substrato de rochas Formação Serra Geral 1 (corpos intrusivos concordantes). Nestas áreas, da mesma forma que na Unidade de Terreno 1.1, os afloramentos são raros devido a continuidade da cobertura de material inconsolidado, no caso arenoso retrabalhado (próximo aos topos das formas de relevo) e argiloso residual (nos trechos mais inclinados das vertentes).

Foto 13: Ponto de observação 66 (Ribeirão Lambari). Pequena cascalheira explorada para a manutenção de estradas rurais. Morro com encosta suavizada (Unidade de Terreno 3.2), em terreno de rochas básicas da Formação Serra Geral 1 (corpos intrusivos concordantes). Exposição do perfil de material inconsolidado do tipo 1; notar que a rocha encontra-se a menos de 0,5m de profundidade.

Foto 14: Ponto de observação 25 (nascentes do Ribeirão Lambari). Dique de rocha básica da Formação Serra Geral 2 (corpos intrusivos discordantes) ressaltando na topografia como uma crista (Unidade de Terreno 2.3) em morrotes com vertentes convexas (Unidades de Terreno 2.1).

Foto 15: Ponto de observação 65 (Ribeirão Lambari). Dique de rocha básica da Formação Serra Geral 2 (corpos intrusivos discordantes) ressaltando como um Morrote com vertentes retilíneas (Unidade de Terreno 2.3).

Foto 16: Ponto de observação 65 (Ribeirão Lambari). Detalhe da foto anterior. Aspecto da vertente que exemplifica o perfil de material inconsolidado do tipo 1.

Foto 17: Ponto de observação 91 (Ribeirão das Congonhas, a noroeste do sítio urbano de Casa Branca). Pequena área de empréstimo de material arenoso e/ou granular (canga limonítica) com cerca de 2m de altura. Exposição de perfil de material inconsolidado do tipo 3. Notar coloração avermelhada do piso da estrada rural devido a existência de material argiloso residual a jusante desta exposição .

Foto 18: Ponto observação 91 (Ribeirão das Congonhas, noroeste do sítio urbano de Casa Branca). Detalhe da foto anterior. O topo do perfil é constituído por uma camada de cerca de 1m de material arenoso retrabalhado, sotoposto a cerca de 0,7m (espessura aparente) de canga limonítica.

Foto 19: Ponto de observação 93 (a jusante do ponto de observação 91). Exposição de material argiloso residual reconhecido como inferior à canga limonítica. Assim a combinação dos pontos de observação 91 e 93 exemplificam no campo o perfil de material inconsolidado do tipo 3.

Foto 20: Ponto de observação 40 (Morro da Ponte Alta). Colina com vertentes côncavas e ressaltos topográficos próximos ao topo (Unidade de Terreno 1.2). Substrato de rochas básicas da Formação Serra Geral 1 (corpos intrusivos concordantes) que, no local, afloram nos taludes escavado junto à ferrovia. Exposição de perfil de material inconsolidado do tipo 3. Aqui foi verificado a existência de uma camada de material arenoso retrabalhado (da superfície até cerca de 1m acima da escala), uma camada de cerca de 1m de canga limonítica e rocha básica alterada.

Foto 21: Ponto de observação 40 (Morro da Ponte Alta). Detalhe da foto anterior. Aspecto da rocha básica alterada.

Foto 22: Ponto de observação 90 (Ribeirão das Congonhas). Relevo de colinas com vertentes convexas (Unidade de Terreno 1.1). Área de empréstimo de material arenoso (material inconsolidado arenoso retrabalhado) no topo da forma de relevo.

Foto 23: Ponto de observação 90 (Ribeirão das Congonhas). Detalhe da foto anterior. Notar aspecto do topo do perfil de material inconsolidado do tipo 5 constituído por uma espessa camada de material arenoso retrabalhado.

Foto 24: Ponto de observação 64 (Exploração de argila desativada). Notar o aspecto das formas de relevo dos Morrotes em terrenos sedimentares (Unidade de Terreno 2.1).

Foto 25: Ponto de observação 23 (Nascentes do Ribeirão Lambari). Morrotes em terrenos sedimentares (Unidade de Terreno 2.1) como afloramento da associação litológica folhelho - siltito do Subgrupo Itararé. Exposição do perfil de material inconsolidado do tipo 9. Notar que a camada de material inconsolidado é muito delgada (~0,5m) e que a rocha sedimentar é subaflorante.

Foto 26: Ponto de observação 02 (Rodovia SP-340, entre Casa Branca e Aguaí / Córrego dos Cocais). Morrotes (Unidade de Terreno 2.1) entalhados em terrenos sedimentares do Subgrupo Itararé. Exposição de material siltsoso residual do perfil de material inconsolidado do tipo 7, camada superior. O aspecto do material sugere um grau de alteração mais avançado em relação ao material da camada inferior (Foto 27). Este aspecto foi confirmado pelos ensaios de caracterização de solos efetuados em laboratório.

Foto 27: Ponto de observação 02 (Rodovia SP-340, entre Casa Branca e Aguaí / Córrego dos Cocais). Morrotes (Unidade de Terreno 2.1) entalhados em terrenos sedimentares do Subgrupo Itararé. Exposição de material siltsoso residual do perfil de material inconsolidado do tipo 7, camada inferior. Notar que a exposição preserva a cor mais próxima à original da rocha e que lineações sugerem estratificações.

Foto 28: Ponto de observação 06 (Rodovia SP-340, entre Casa Branca e Aguai / Córrego Aterrado). As rampas (Unidade de Terreno 3.2) não apresentam boas exposições do seu perfil de material inconsolidado. Na foto temos uma exposição apenas da camada superior do perfil, material arenoso retrabalhado.

Foto 29: Ponto de observação 56 (Córrego Amaral com Ribeirão Lambari). Vista exemplifica as formas de relevo de rampas e pequenos platôs (Unidades de Terreno 3.1 e 1.4). Ao fundo podem ser vistos as áreas de colinas (Unidades de Terrenos 2.2 e 1.1) e as formas mais elevadas (topos com vegetação de mata) das colinas com vertentes côncavas (Unidade de Terreno 1.2).