Campus de São Carlos

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DA PORÇÃO
MÉDIA DA BACIA DO RIO CAPIVARI/SP,
ESCALA 1:50.000: ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO
DOS ASPECTOS FÍSICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS
VOL. I

AUTOR: ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA

ORIENTADOR: PROF. DR. NILSON GANDOLFI

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DA PORÇÃO
MÉDIA DA BACIA DO RIO CAPIVARI/SP, ESCALA 1:50.000:
ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICOS DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS

VOLUME I

Aline Maria Meiguins de Lima

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

ORIENTADOR: Nilson Gandolfi

São Carlos – 2000

Class.	TESE-EESC
Cutt.	L3046
	v. 1
Tombo	0074/00

1084048

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

L732m Lima, Aline Maria Meiguins de
Mapeamento geotécnico da porção média da bacia do
Rio Capivari/SP, escala 1:50.000 : estudo e
caracterização dos aspectos físicos de bacias
hidrográficas / Aline Maria Meiguins de Lima. -- São
Carlos, 2000.

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

Área: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Gandolfi.

1. Mapeamento geotécnico. 2. Bacia hidrográfica.
3. Atributos do meio físico. I. Título.

*“À Deus que sempre iluminou
meus pais, Luís e Sonia, que
foram minha luz durante esta
caminhada.”*

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Nilson Gandolfi, pela orientação, apoio e dedicação à este trabalho.

Aos professores Osni Pejon, Lázaro V. Zuquette e José Eduardo Rodrigues, pelos conhecimentos transmitidos, ajuda nos momentos de dúvida e amizade.

Aos técnicos do Departamento de Geotecnia pelo auxílio prestado no decorrer deste trabalho.

Ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) de São Paulo e Araraquara pela cessão de dados de poços de água subterrânea.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida.

E a todos os colegas e amigos que incentivaram, direta ou indiretamente, o êxito deste trabalho.

VOLUME I**SUMÁRIO**

AGRADECIMENTOS	III
SUMÁRIO	IV
RESUMO	XIX
ABSTRACT	XX
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS	1
1.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	3
1.3. CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DO MÉDIO CAPIVARI	8
1.3.1. IMPORTÂNCIA DO ESTUDO	8
1.3.2. SISTEMAS DE AQUÍFEROS DA REGIÃO.	10
1.4. ASPECTOS DA GEOLOGIA REGIONAL DA BACIA DO PARANÁ	15
1.4.1. FORMAÇÃO ITARARÉ, COM ÊNFASE NA REGIÃO ESTUDADA	16
1.5. CONTEXTO REGIONAL DA GEOMORFOLOGIA DA BACIA DO RIO CAPIVARI	20

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	viii
2.1. INTRODUÇÃO	viii
2.2. CICLO HIDROLÓGICO	ix
2.3. FATORES FÍSICOS CARACTERÍSTICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	12
2.3.1. FATORES GEOMORFOLÓGICOS	13
2.3.2. FATORES GEOLÓGICOS	18
2.3.2.1. <i>Influência do substrato rochoso</i>	18
2.3.2.2. <i>Processos superficiais e tectônicos.</i>	19
2.3.3. FATORES TÉRMICOS	28
2.4. METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	28
2.4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	28
2.4.2. EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS	30
2.4.2.1. <i>Escalas utilizadas</i>	34
2.4.2.2. <i>Atributos levantados</i>	34
2.4.2.3. <i>Tipos de documentos produzidos</i>	36
2.4.3. PROPOSTAS E SISTEMÁTICAS BRASILEIRAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	40
2.4.3.1. <i>Proposta metodológica empregada em mapeamento geotécnico no Rio Grande do Sul, segundo MACIEL FILHO & GASPARETTO (1987)</i>	40
2.4.3.2. <i>Proposta metodológica para as condições brasileiras, segundo ZUQUETTE (1987) – Escola de Engenharia de São Carlos/USP</i>	41
2.4.3.3. <i>Sistemática de definição de cartas geotécnicas básicas no Recife/ PE segundo COUTINHO et al. (1990)</i>	47
2.4.3.4. <i>Proposta metodológica desenvolvida pelo Instituto Geológico (São Paulo), segundo BROLLO et al. (1995, 1996)</i>	48
2.4.3.5. <i>Proposta de metodologia de definição de cartas geotécnicas básicas em regiões tropicais e subtropicais, segundo DIAS (1995) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.</i>	49
2.4.3.6. <i>Análise comparativa das metodologias</i>	51

	vi
CAPÍTULO III - METODOS DE TRABALHO	VII
3.1. ASPECTOS GERAIS	VII
3.2. ATIVIDADES PRELIMINARES (PRÉ-CAMPO)	XIII
3.3. ATIVIDADES DE CAMPO	XIV
3.3.1. AMOSTRAGEM	XIV
3.4. ENSAIOS DE LABORATÓRIO	XV
3.4.1. ENSAIOS REALIZADOS	XV
3.5. ATIVIDADES CONCLUSIVAS	XVII
3.6. PROCEDIMENTOS ADOTADOS UTILIZANDO O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	XVII
3.6.1. PROGRAMA UTILIZADO E SISTEMÁTICA ADOTADA NA GERAÇÃO DE CARTAS DERIVADAS E INTERPRETATIVAS	XVII
3.6.2. PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA GERAÇÃO DE CARTAS DERIVADAS E INTERPRETATIVAS	XVIII
3.6.2.1. <i>Tratamentos matemáticos</i>	xviii
3.6.2.2. <i>Procedimento de GUERRA (1998)</i>	xviii

CAPÍTULO IV - ANÁLISE MORFOMÉTRICA _____ **IX****4.1. APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS** _____ **IX**4.1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS _____ **IX**4.1.2. RELAÇÃO ENTRE O ESTUDO MORFOMÉTRICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E AS PROPRIEDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE UMA REGIÃO _____ **X****4.2. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE GEOPROCESSAMENTO EM SIG – IDRISI** _____ **XII****4.3. ANÁLISE MORFOMÉTRICA** _____ **XIV**4.3.1. PROCEDIMENTOS UTILIZANDO O SIG – IDRISI _____ **XIV**4.3.1.1 *Aquisição dos documentos básicos* _____ *xiv*4.3.1.2 *Definição dos elementos básicos* _____ *xiv*4.3.1.4 *Resultados da primeira etapa* _____ *xix*4.3.1.5 *Cálculo dos parâmetros morfométricos* _____ *xix*4.3.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS _____ **XXVI**

CAPÍTULO V - PRODUTOS CARTOGRÁFICOS - MAPAS BÁSICOS	XI
5.1. INTRODUÇÃO	XI
5.2. MAPA DA BACIA HIDROGRÁFICA (ANEXO II)	XI
5.3. MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO (ANEXO III)	XIV
5.3.1. ITARARÉ SUPERIOR.	XIV
5.3.2. ITARARÉ MÉDIO	XIV
5.3.3. FORMAÇÃO SERRA GERAL	XVII
5.4. MAPA DE LANDFORMS (ANEXO IV)	XIX
5.4.1. Unidade 1	xix
5.4.2. Unidade 2	xxi
5.4.3. Unidade 3	xxi
5.4.4. Unidade 4	xxii
5.5. MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (ANEXO V)	127
5.5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	127
5.5.2. ENSAIOS REALIZADOS	128
5.5.2.1. <i>Massa específica dos sólidos (ρ_s), massa específica seca de campo ($\rho_{d_{campo}}$), índice de vazios natural (e_n), umidade natural ($w_n\%$) e permeabilidade (K)</i>	128
5.5.2.2. <i>Análise granulométrica</i>	129
5.5.2.3. <i>Azul de metileno</i>	129
5.5.3. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES	130
5.5.3.1. <i>Unidades R/D/(I-IV) e R/Sag/D/(IV-VII)</i>	133
5.5.3.2. <i>Unidades R/S/(I-III), R/Sa/SL/(III-V), R/St-Af/SL/(III-V) e R/St-Af/SL/(V-VII)</i>	133
5.5.3.3. <i>Unidades R/Af/AS/(I-IV), R/Sag/SA/(IV-VI), e R/St-Af/M/(II-VI).</i>	140
5.5.3.4. <i>Unidade T/Sa-Sag</i>	145

CAPÍTULO VI- PRODUTOS CARTOGRÁFICOS: CARTAS INTERPRETATIVAS

_____	XII
6.1. INTRODUÇÃO _____	XII
6.2. CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO VI) _____	XII
6.3. CARTA DE POTENCIAL AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL (ANEXO VII) E CARTA DE POTENCIAL A INFILTRAÇÃO (ANEXO VIII) _____	XIX
6.3.1. SELEÇÃO DAS CARTAS BÁSICAS E INTERPRETATIVAS _____	XIX
6.3.2. PESOS ADOTADOS E MATRIZES DEFINIDAS PARA A CARTA DE POTENCIAL AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL. _____	XXI
6.3.3. PESOS E MATRIZES ADOTADAS PARA A CARTA DE POTENCIAL A INFILTRAÇÃO. _____	XXII
6.4. CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO (IX) _____	XXIII
6.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS _____	XXIII
6.4.2. AVALIAÇÃO DAS INFORMAÇÕES COLETADAS EM CAMPO E LABORATORIAIS. _____	XXVI
6.4.2.1. <i>Ensaios</i> _____	xxvi
6.4.2.2. <i>Resultados</i> _____	xxvii
6.4.3. PROCESSO DE CONFEÇÃO DOS DOCUMENTOS _____	XXIX
6.4.3.1. <i>Seleção das cartas básicas e interpretativas</i> _____	xxix
6.4.3.2. <i>Pesos e matrizes adotadas</i> _____	xxx
6.5. AVALIAÇÃO DAS CARTAS DE POTENCIAL AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL, POTENCIAL A INFILTRAÇÃO E POTENCIAL À EROSÃO	XXXI
6.5.1. ASPECTOS FUNCIONAIS DO PROGRAMA _____	XXXI
6.5.2. CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS DE CADA DOCUMENTO _____	XXXI
6.5.3. RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA. _____	XXXIII
6.6. CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL (ANEXO X e XI) _____	177
6.7. AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO _____	189
6.7.1. CONSIDERAÇÕES INICIAS _____	190
6.7.2. METODOLOGIA EMPREGADA _____	191
6.7.3. COMPORTAMENTO GERAL DO NÍVEL D'ÁGUA NA REGIÃO _____	197

CAPÍTULO VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	199
7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	199
7.1.1. QUANTO À METODOLOGIAS E SISTEMÁTICAS APLICADAS	199
7.1.2. QUANTO A CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	200
7.1.3. QUANTO AO MATERIAL CARTOGRÁFICO PRODUZIDO	200
7.2. CONCLUSÕES	204
 CAPÍTULO VIII - <i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	 206

VOLUME II

ANEXO I – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO
ANEXO II – MAPA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS
ANEXO III – MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO
ANEXO IV – MAPA DE <i>LANDFORMS</i>
ANEXO V – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS
ANEXO VI – CARTA DE DECLIVIDADE
ANEXO VII – CARTA DE POTENCIAL AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
ANEXO VIII – CARTA DE POTENCIAL À INFILTRAÇÃO
ANEXO IX – CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO
ANEXO X – CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL I
ANEXO XI – CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL II
ANEXO XII – Resultados gerais dos ensaios realizados
ANEXO XIII – Cadastro dos poços da região

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

<i>Figura 1. Mapa de localização da área de trabalho</i>	5
<i>Figura 2. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, simplificado a partir de IPT (1980a).</i>	6
<i>Figura 3. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, simplificado, com a localização da área estudada, simplificado a partir de IPT (1980b)</i>	7
<i>Figura 4. Aspectos sócio-econômicos da região das bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, no estado de São Paulo.</i>	8
<i>Figura 5. Estimativa de volume de captação e lançamento de efluentes no rio Capivari para os próximos 10 anos, baseado nas informações contidas em MONTICELI & MARTINS (1993).</i>	9
<i>Figura 6. Carga orgânica presente e efluentes despejados, na bacia do rio Capivari; (a) por indústrias da região; (b) e pelas principais cidades.</i>	11
<i>Figura 7. Sistemas de aquíferos da região NE do estado de São Paulo.</i>	13
<i>Figura 8. Características dos aquíferos da bacia do rio Capivari, simplificado a partir de MANIAKAS (1986).</i>	15
<i>Figura 9. Localização e aspectos tectônicos gerais da Bacia do Paraná, simplificado a partir de IPT (1980b).</i>	17
<i>Figura 10. Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná, modificada de IPT (1980b) e MILANI et al. (1994).</i>	18
<i>Figura 11. Seções estratigráficas observadas por SOUZA FILHO (1986).</i>	19
<i>Figura 12. Aspectos da geomorfologia da região do médio Capivari.</i>	22

CAPÍTULO II

<i>Figura 13. A) Principais bacias hidrográficas do Brasil</i>	25
<i>B) Divisão de bacias hidrográficas realizada no estado de São Paulo (modificada de DAEE, 1999).</i>	25
<i>Figura 14. Ciclo Hidrológico (BLACK, 1991).</i>	26
<i>Figura 15. Fluxograma com os componentes do ciclo hidrológico (RAMOS et al., 1989).</i>	26
<i>Figura 16. Ciclo Geológico x Hidrológico.</i>	28
<i>Figura 17. Exemplo de ordenação de canais de uma bacia de quarta ordem.</i>	32
<i>Figura 18. Modelos de drenagem, segundo PONCE (1989).</i>	35
<i>Figura 19. Modelos de drenagem, segundo MORISAWA (1964).</i>	36
<i>Figura 20. Comportamento do modelo dentrítico sobre rochas de origens diferentes, modificado de PONCE (1989).</i>	36
<i>Figura 21. Evolução dos conceitos na Europa Ocidental, Oriental, EUA e Austrália.</i>	47
<i>Figura 22. Fundamentos básicos de cada proposta metodológica.</i>	48
<i>Figura 23. Ordem das informações necessárias para elaboração da cartografia geotécnica, segundo a proposta de MACIEL FILHO & GASPARETTO (1987).</i>	56
<i>Figura 24. Análise seqüencial básica de informações, segundo ZUQUETTE (1987).</i>	59
<i>Figura 25. Sistema de análise das informações, modificado de ZUQUETTE (1993).</i>	61
<i>Figura 26. Análise seqüencial de informações, para geração de cartografia geotécnica, segundo a proposta de COUTINHO et al. (1990)</i>	63
<i>Figura 27. Metodologia utilizada pelo Instituto Geológico (SP), segundo BROLLO et al. (1996).</i>	65
<i>Figura 28. Fluxogramas de atividades, para a proposta de DIAS (1996).</i>	66
<i>Figura 29. Fluxograma ilustrando a seqüência básica de qualquer atividade de mapeamento geotécnico.</i>	68

CAPÍTULO III

<i>Figura 30. Fluxograma com os procedimentos adotados e das atividades desenvolvidas.</i>	71
<i>Figura 30 (continuação). Fluxograma com os procedimentos adotados e das atividades desenvolvidas.</i>	72
<i>Figura 31. Ficha de campo utilizada nos trabalhos.</i>	77
<i>Figura 32. Escala de valores adotada pelo IDRISI.</i>	82

CAPÍTULO IV

<i>Figura 33. Modelos de estruturas (a) raster e (b) vetorial .</i>	88
<i>Figura 34. Rede de drenagem formato raster.</i>	91
<i>Figura 35. Sub-bacias definidas na área.</i>	92
<i>Figura 36. Tela do programa IDRISI, com os comandos utilizados.</i>	95
<i>Figura 37. Comparação entre os parâmetros: 1 - densidade de drenagem (Dd), 2 - densidade hidrográfica (Dh); 3 - textura topográfica (Tt), 4 - índice de rugosidade (Ir); e 5 - declividade máxima da vertente (Dm), das 23 sub-bacias (sb).</i>	100
<i>Figura 38. Comparação entre os parâmetros: 1 - Índice de forma (K), 2 - índice de circularidade (Ic); 3 - coeficiente de manutenção (Cm); 4 - extensão do percurso superficial (Eps); 5- gradiente (G%); e 6 -relação de relevo (Rr), das 23 sub-bacias (sb).</i>	102
<i>Figura 39. Distribuição espacial das faixas de valores de (a) Textura topográfica; (b) Densidade hidrográfica.</i>	103
<i>Figura 39 (continuação). Distribuição espacial das faixas de valores de (c) Declividade máxima da vertente; (d) Gradiente dos canais.</i>	104
<i>Figura 40. Gráficos comparando o comportamento da Dd, segundo duas formas de cálculos, diferentes.</i>	111
<i>Figura 41. (a) Gráfico de barras com a contribuição individual de cada elemento; (b) faixas de valores definidas para cada parâmetro, (c) unidades de relevo definidas a partir da densidade de drenagem, densidade hidrográfica, gradiente dos canais e declividade máxima da vertente.</i>	113

CAPÍTULO V

<i>Figura 42. a) Valores de SDR (Estimation of Sediment Delivery Ratio), entre canais de 1º e 2º ordens e; b) S (Sediment Yield), nas sub-bacias delimitadas; ambos em função da área de cada sub-bacia.</i>	115
<i>Figura 43. (a) Aspecto comum de siltitos encontrados nesta unidade; (b) detalhe do contato entre os dois grupos litológicos principais do Itararé Superior: 1 – siltitos; 2 – arenitos.</i>	117
<i>Figura 44. Em detalhe: (a) siltitos da Fácies I; (b) diamictito da Fácies II; (c) lente de arenito, componente da Fácies III.</i>	118
<i>Figura 45. Perfil proposto para o Itararé Médio, na área de estudo.</i>	119
<i>Figura 46. a) Fraturamento subvertical observado; b) Detalhe do maciço.</i>	120
<i>Figura 47. Distribuição das unidades de landforms em mapa.</i>	124
<i>Figura 48. Unidade 1: (a) colinas com topos arredondados, baixas declividades, vales estreitos e rasos; Unidade 2: (b) colina com topo bem definido, associada a vertentes côncava/convexa; (c) vale amplo, com desenvolvimento de diversos canais de drenagem; (c) vale aberto, com drenagem permanente e desenvolvimento de planícies de sedimentação.</i>	125
<i>Figura 49. Unidade 3 - relevo de topos bem definidos, vertentes convexas e vales rasos e abertos.</i>	126
<i>Figura 50. Unidade 4 - relevo de vertentes convexas, extensas e vales estreitos.</i>	126
<i>Figura 51. Esquema para perfil de alteração modificado de PRICE (1983).</i>	127
<i>Figura 52 (a) Classificação da permeabilidade; (b) da CTC (capacidade de troca catiônica); (c) da composição mineralógica da fração fina dos materiais; e (d) da atividade das argilas adotadas (ZUQUETTE, 1987; PEJON, 1992).</i>	132
<i>Figura 53. Perfil completo da sequência de rochas básicas</i>	134
	136
<i>Figura 54. Perfis da unidade R/Sa/SL/(III-V).</i>	136
<i>Figura 55. Perfis da unidade R/St-Af/SL/(III-V).</i>	138
<i>Figura 56. Perfis da unidade R/St-Af/SL/(V-VII).</i>	139
<i>Figura 57. Perfis da Unidade R/Af/AS/(I-IV).</i>	141
<i>Figura 58. Perfis da unidade R/Sag/SA/(IV-VI).</i>	143
<i>Figura 59. Perfil da unidade R/St-Af/M/(II-VI).</i>	144
<i>Figura 60. Perfis da unidade T/Sa-Sag.</i>	146

CAPÍTULO VI

<i>Figura 61. (a) Declividade pela metodologia DE BIASI; (b) utilizado o IDRISI.</i>	155
<i>Figura 62. Região localizada na porção NW da área, a aproximadamente 10 km de Capivarí</i>	157
<i>Figura 63. Direção de maior declividade da vertente, gerada pelo programa IDRISI.</i>	158
<i>Figura 64. Comprimento máximo das vertentes.</i>	159
<i>Figura 65. Atributos considerados</i>	160
<i>Figura 66. Sistemática utilizada para elaboração da carta no IDRISI.</i>	161
<i>Figura 67. (a) Carta de extensão do percurso d'água superficial.</i>	161
<i>Figura 67. (b) Distribuição espacial do Eps.</i>	162
<i>Figura 68. Matriz de correlação e taxa de consistência.</i>	164
<i>Figura 69. (a) Atributos na avaliação da erodibilidade; (b) descrição do processo erosivo</i>	166
<i>Figura 70. Mecanismos utilizados: (a) absorção; (b) perda de massa por imersão.</i>	169
<i>Figura 71. Gráfico S versus P.</i>	169
<i>Figura 72. Atributos considerados</i>	170
<i>Figura 73. Matriz de correlação e taxa de consistência.</i>	172
<i>Figura 74. (a) Potencial ao escoamento superficial; Potencial a infiltração e Susceptibilidade a erosão; (b) Índice de rugosidade; Densidade de drenagem; Densidade hidrográfica; Relação de relevo; Textura topográfica; e Susceptibilidade a erosão.</i>	176
<i>Figura 74 (continuação). Bacias de terceira ordem</i>	177
<i>Figura 74 (continuação). Bacias de terceira ordem</i>	178
<i>Figura 74 (continuação). Bacias de quarta ordem</i>	179
<i>Figura 74 (continuação). Bacias de quinta ordem:</i>	180
<i>Figura 74 (continuação). Bacias de quinta ordem</i>	181
<i>Figura 74 (continuação). Bacias de sexta</i>	182
<i>Figura 75. Sistemática adotada na delimitação das unidades.</i>	186
<i>Figura 76. Carta de zoneamento geotécnico geral II: (a) em bacias de terceira ordem; (b) em bacias de quarta ordem.</i>	187
<i>Figura 76 (continuação). (c) em bacias de quinta ordem; (d) em bacias de sexta ordem.</i>	188
<i>Figura 77. Perfis topográficos realizados na área de estudo</i>	194
<i>Figura 77 (continuação). Perfis topográficos realizados na área de estudo</i>	195
<i>Figura 77 (continuação). Perfis topográficos realizados na área de estudo, associados aos dados de poços existentes na região.</i>	196
<i>Figura 78. Perfil de terreno admitido</i>	197
<i>Figura 79. (A) NA seguindo o contorno da topografia; (B) NA concordante com a topografia, associado a fontes; (C) O poço 3 registra a profundidade da zona mais próxima a superfície e o poço 4 registra uma profundidade maior</i>	198

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

<i>Tabela 1. Informações sobre o consumo e os gastos com o sistema de recursos hídricos (abastecimento) das cidades participantes da bacia do rio Capivari.</i>	2
<i>Tabela 2. Vazões naturais na bacia do rio Capivari.</i>	9
<i>Tabela 3. Poços existentes e disponibilidade hídrica do Aquífero Itararé, nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari.</i>	14
<i>Tabela 4. Unidades estratigráficas definidas por SOUZA FILHO (1986) para o Subgrupo Itararé.</i>	19
<i>Tabela 5. Unidades estratigráficas definidas por SOARES et al. (1977) para o Subgrupo Itararé.</i>	20

CAPÍTULO II

<i>Tabela 6. Elementos morfométricos considerados.</i>	29
<i>Tabela 7. Faixas de valores e suas atribuições para os canais de drenagem</i>	30
<i>Tabela 8. Intervalos de classe de textura topográfica</i>	31
<i>Tabela 9. Descrição de níveis de alteração proposta por PRICE (1993).</i>	40
<i>Tabela 10. Resumo das principais metodologias internacionais</i>	46
<i>Tabela 11. Exemplos de aplicações de metodologias internacionais.</i>	46
<i>Tabela 12. Escalas e produtos cartográficos gerados por cada metodologia.</i>	50
<i>Tabela 13. Principais atributos analisados em cada metodologia.</i>	50
<i>Tabela 14. Esquema relacionando o nível de cada documento e as cartas e mapas correspondentes (ZUQUETTE et al. 1998).</i>	58
<i>Tabela 15. Atributos relacionados ao substrato rochoso e aos materiais inconsolidados, modificado de ZUQUETTE et al. (1998).</i>	60
<i>Tabela 16. Escalas de trabalhos, em mapeamento geotécnico</i>	62

CAPÍTULO III

<i>Tabela 17. Condições para elaboração de cartas de declividade a partir de mapas topográficos (ZUQUETTE et al. 1998).</i>	70
---	----

CAPÍTULO IV

<i>Tabela 18. Relação entre os elementos de uma bacia hidrográfica e as propriedades geológico – geotécnicas da área da bacia.</i>	86
<i>Tabela 19. Valores de área, perímetro, amplitudes máxima e mínima da topografia e somatória total dos canais, de cada sub-bacia individualizada.</i>	95
<i>Tabela 20. Parâmetros morfométricos calculados para cada sub-bacia (sb).</i>	99

CAPÍTULO V

<i>Tabela 21. Contribuição percentual de material produzido pela rede de drenagem (SDR), de acordo com a relação entre canais.</i>	115
<i>Tabela 22. Termos descritivos adotados, modificado de LOLLO (1997) e SCHMIDT (1987).</i>	122
<i>Tabela 23. Caracterização das unidades identificadas.</i>	131
<i>Tabela 24. Classificação e avaliação de terrenos: Unidade 1.</i>	147
<i>Tabela 25. Classificação e avaliação de terrenos: Unidade 2.</i>	148
<i>Tabela 26. Classificação e avaliação de terrenos: Unidade 3.</i>	149
<i>Tabela 27. Classificação e avaliação de terrenos: Unidade 4.</i>	150
<i>Tabela 28. Nomenclatura utilizada na identificação das unidades de material inconsolidado.</i>	151
<i>Tabela 29. Comparação entre a análise numérica e descritiva das unidades de terreno.</i>	151

CAPÍTULO VI

<i>Tabela 30. Intervalos adotados.</i>	153
<i>Tabela 31. Pesos adotados para a Carta de Potencial ao Escoamento Superficial.</i>	163
<i>Tabela 32. Pesos adotados para a Carta de Potencial a Infiltração.</i>	165
<i>Tabela 33. Definição das classes de susceptibilidade à erosão (ZUQUETTE, 1987).</i>	167
<i>Tabela 34. Relação entre o índice de erodibilidade (E) com: massa específica do solo (ρ_s), massa específica dos sólidos (ρ_s), massa específica seca ($\rho_{d,s}$), índice de vazios natural (e_n), percentual de argila (%arg), porosidade natural (n_p), percentual de perda de peso por imersão (P) e comportamento laterítico (Cl).</i>	170
<i>Tabela 35. Pesos adotados para a Carta de Susceptibilidade à Erosão.</i>	171
<i>Tabela 36. Classificação das unidades de material inconsolidado, segundo o potencial ao escoamento superficial (PTE), o potencial a infiltração (PTI) e a susceptibilidade a erosão (SER).</i>	175
<i>Tabela 37. Área de cada classe para cada grupo de sub-bacias, segundo sua ordem.</i>	183
<i>Tabela 38. (a) Características das unidades da CZGG II, com relação ao potencial ao escoamento superficial (PTE), ao potencial à infiltração (PTI) e à susceptibilidade à erosão (SER); (b) sua representatividade em termos de área, considerando a divisão em sub-bacias hidrográficas.</i>	189

RESUMO

LIMA, A.M.M..(2000). *Mapeamento geotécnico da porção média da Bacia do Rio Capivari/SP, escala 1:50.000: estudo e caracterização dos aspectos físicos de bacias hidrográficas*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho apresenta a pesquisa realizada e os resultados obtidos durante o mapeamento geotécnico da porção média da Bacia do Rio Capivari, na escala 1:50.000, seguindo a metodologia adotada pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Foi elaborada uma sistemática de estudo, onde buscou-se extrair informações pela definição dos atributos do meio físico relativos ao substrato rochoso, ao material inconsolidado e aos *landforms*, que foram classificados de acordo com sua ordem de importância para a definição do potencial ao escoamento superficial, do potencial à infiltração, da susceptibilidade à erosão e na elaboração zoneamento geotécnico geral da região. No auxílio à manipulação das informações e à combinação de mapas, foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas – IDRISI. O resultado mostrou-se satisfatório, mesmo considerando-se as dificuldades e problemas decorrentes deste tipo de tratamento.

Os produtos cartográficos gerados permitiram concluir que: a Bacia do Médio Capivari assenta-se sobre as litologias das formações Itararé e Serra Geral; o relevo é marcado pelo predomínio de baixas declividades; apresenta uma baixa densidade de drenagem; o material inconsolidado caracteriza-se pela textura siltosa com teores variáveis de areia e argila e espessuras máximas observadas em campo, na ordem de 7m. Estas características condicionam os níveis de potencial ao escoamento superficial, do potencial à infiltração e da susceptibilidade à erosão, com zonas que variam desde muito baixas à altas; condiciona também o zoneamento geotécnico geral, delimitando regiões homogêneas quanto às suas características geotécnicas. Desta forma, este trabalho reúne uma quantidade de informações que podem auxiliar nas atividades de manejo, planejamento e ocupação da porção média da Bacia do Rio Capivari.

Palavras-chaves: mapeamento geotécnico, bacia hidrográfica, atributos do meio físico.

ABSTRACT

LIMA, A.M.M..(2000). *Geotechnical mapping of the medium Capivari Basin, 1:50.000 scale: study and physical aspects characterization of drainage basins*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This research consists of the geotechnical mapping of the medium Capivari Basin. It was developed according to the adopted methodology at EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos) compatible with the 1:50.000 scale requirements.

This work realized a study about the geotechnical characteristics of the medium Capivari basin and summarizes the physical drainage network studies and the principals geotechnical mapping methodologies.

The geographical information systems (IDRISI program) was used in the treatment of cartographic products and physical attributes analysis.

In this work was produced eleven cartographic products classified in two groups: basic documents and interpretative documents.

In general the medium Capivari basin is represented for the Itararé Formation and Serra Geral Formation. The relief, the drainage network and the characteristics of the weathering profiles are the main responsible for the behavior of the superficial flow, of the infiltration potential and of the erosion susceptibility, observed in the area.

Keywords: geotechnical mapping, drainage network, physical attributes

Capítulo I

Introdução e Considerações Gerais

1.1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

O estudo e planejamento para melhor aproveitamento dos recursos hídricos é de grande importância para projetos de ocupação territorial urbana e industrial. O crescimento demográfico exponencial, nos países em desenvolvimento, contrasta com a capacidade do meio físico absorver a quantidade de agressões a que está sujeito e que se reflete na maior necessidade de produção de alimentos e de espaço para ocupar.

Para o meio ambiente, esta ação desenvolvida pelo homem tem-se traduzido numa ruptura do equilíbrio ecológico (BENETTI & BIDONE, 1993), refletida também na degradação e poluição dos recursos hídricos.

A água é um bem mineral fundamental como recurso natural para o abastecimento público, consumo industrial, matéria prima para a indústria, irrigação, recreação, geração de energia elétrica, transporte e fonte de alimentos.

A partir disto, reconheceu-se a necessidade do desenvolvimento de trabalhos a nível regional, que enfoquem em primeiro plano as áreas metropolitanas, onde o impacto da degradação ambiental nos recursos hídricos é mais pronunciado. Alguns dos fatores que influenciam no processo de modificação do meio físico podem ser resumidos sob dois pontos de vista (BROCHI et al., 1998):

- 1. a utilização dos recursos hídricos por parte não somente da população municipal mas também envolvendo empresas particulares, sem seguirem as normas de uma legislação própria ou apoiadas por atividades de pesquisa;*
- 2. a falta de apoio econômico e político para investir em projetos de planejamento da exploração desses recursos, assim como os problemas relacionados aos limites municipais e regionais das áreas geograficamente delimitadas por uma bacia*

hidrográfica, que necessitam de planos de gerenciamento mais abrangentes e que atuem graças a organizações amplas englobando tanto estados como municípios.

A Tabela 1 ilustra o consumo e as despesas das companhias municipais com a rede de abastecimento público, mostrando as diferenças de consumo entre cada cidade, conforme seu grau de desenvolvimento e os gastos só com a manutenção dos sistemas sem a participação dos efetuados com gerenciamento e pesquisa.

Tabela 1. Informações sobre o consumo e os gastos com o sistema de recursos hídricos (abastecimento) das cidades participantes da bacia do rio Capivari (BROCHI et al., 1998).

Municípios	Consumo	consumo/dia	consumo/mês	gastos/mês	gastos/ano
	(l/s)	m ³	m ³	R\$0.01/m ³	R\$0.01/m ³
Americana	462	39,917	1197,504	11975,04	143700,48
Campinas	2114	182,650	5479,488	54794,88	657538,56
Capivari	71	6,134	184,032	1840,32	22083,84
Elias Fausto (*)	12	1,037	31,104	311,04	3732,48
Monte Mor (*)	45	3,888	116,640	1166,40	13996,80
Piracicaba	696	60,134	1804,032	18040,32	216483,84
Rafard	17	1,469	44,064	440,64	5287,68
Rio Das Pedras	53	4,579	137,376	1373,76	16485,12
Valinhos	133	11,491	344,736	3447,36	41368,32
Vinhedo	80	6,912	207,360	2073,60	24883,20
(*) fonte: SABESP e COPASA					

Neste contexto, o mapeamento geotécnico atua como importante instrumento no levantamento, avaliação e análise dos atributos que compõem o meio físico de uma bacia hidrográfica. Tal estudo fornece um conjunto de informações básicas e interpretativas de uso no planejamento e gestão dos recursos hídricos, assim como no controle da erosão e proteção dos mananciais de água e na indicação das áreas de maior vulnerabilidade na bacia.

A Bacia Hidrográfica do Médio Rio Capivari pertence às folhas topográficas de Americana/SP e Salto/SP (IBGE, 1:50.000), localizada mais especificamente entre os municípios de Monte-Mor/SP e Elias Fausto/SP. Segundo BORGES FILHO & NOGUEIRA (1993), esta região tem sido uma importante área de concentração do desenvolvimento industrial do Estado de São Paulo, necessitando cada vez mais da utilização de recursos hídricos para o atendimento de sua demanda.

Os objetivos principais, contidos neste trabalho, consistem em:

- ↳ retratar as características geológico-geotécnicas da Bacia do Médio Rio Capivari, localizada na porção centro-leste do Estado de São Paulo, abrangendo uma área de 477 km²;
- ↳ aplicar a metodologia de ZUQUETTE (1987) e procedimentos adotados por PEJON (1992), GUERRA (1998) e NISHIYAMA (1998), com a geração de cartografia geotécnica (mapas e cartas temáticas) na escala 1:50.000;
- ↳ fornecer subsídios para o planejamento do processo de ocupação urbana e industrial, principalmente em relação à manutenção e preservação dos recursos hídricos.

Os capítulos seguintes tratam, pois, da contribuição dos estudos geotécnicos integrados aos estudos geológicos, para conhecimento das características do meio físico da região do Médio Capivari, no Estado de São Paulo.

1.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de trabalho encontra-se inserida nas folhas topográficas de Salto/SP (SF-23-Y-C-II-1, Carta do Brasil IBGE, 1:50.000) e de Americana/SP (SF-23-M-IV-3, Carta do Brasil IBGE, 1:50.000), na porção centro-leste do Estado de São Paulo, totalizando uma área de 477 km², entre os meridianos 47°30'00" e 47°15'00" O e os paralelos 23°03'35" e 22°53'50" S (Figura 1).

Constitui a porção média da Bacia do Rio Capivari, que tem início na margem esquerda do rio Piracicaba, bacia esta que ocupa uma área de aproximadamente 1560 km².

O acesso à região pode ser feito pelas rodovias SP-348 a partir de São Paulo e SP-101 a partir de Campinas. As principais cidades da região são Monte-Mor, Elias Fausto, Capivari e Cardeal.

Segundo a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo (IPT, 1981a), a região compreende duas formas básicas de relevo: colinas de degradação amplas com topos aplainados e morrotes alongados associados a espigões (Figura 2).

O principal rio da região é o Rio Capivari, destacando-se como afluentes o Rio Capivari Mirim e uma série de outros canais de drenagem de menor porte.

Geologicamente é representada:

- pela Formação Itararé: pertencente ao Grupo Tubarão, constituída por uma associação composta por arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios, conglomerados, diamictitos e siltitos;

- e localizadamente, por intrusivas básicas tabulares da Formação Serra Geral formadas por soleiras de diabásio (Figura 3).

O clima predominante na região da Bacia do Rio Piracicaba é o tropical úmido, com períodos de estiagem. A pluviosidade média anual pode atingir máximos de 2000 mm, na região nordeste da área e mínimos de 1200 mm/anuais na região centro-sul (MONTICELI & MARTINS, 1993).

A região é marcada por diversos fatores de ordem sócio-econômica, que estão influenciando sua forma de ocupação e a velocidade com que o meio-físico da bacia está se transformando. Os principais estão ilustrados na Figura 4, embora alguns não sejam diretamente relacionados ao domínio da bacia. Como o sistema de bacias hidrográficas é interligado, faz-se necessário avaliar também a influência das suas vizinhanças. Neste ponto, destaca-se a franca ocupação urbano-industrial, geradora de uma quantidade de efluentes muito grande que, de maneira geral, são lançados nos canais fluviais sem controle. Destaca-se também a crescente demanda de água para o abastecimento e irrigação. Em trabalhos como os de MONTICELI & MARTINS (1993) e ASSIS (1996), encontram-se dados importantes sobre as taxas de poluição na Bacia do Rio Capivari, assim como evidências da total ausência de infra-estrutura básica para o tratamento de resíduos nos municípios dessa região.

Figura 1. Mapa de localização da área de trabalho.

Figura 2. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, simplificado a partir de IPT (1980a).

Figura 3. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, simplificado, com a localização da área estudada, simplificado a partir de IPT (1980b)

Figura 4. Aspectos sócio-econômicos da região das bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, no estado de São Paulo (modificado de LOPES, 1994).

1.3. CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DO MÉDIO CAPIVARI

1.3.1. Importância do estudo

A bacia do rio Capivari tem no total 1560 km² de superfície, forma alongada, com largura de cerca de 20 km e com seu leito principal de aproximadamente 80 km, paralelo a bacia do rio Piracicaba. Seus afluentes principais são, o rio Capivari Mirim e o Ribeirão Piçarrão.

A Tabela 2 apresenta as características em termos de vazões superficiais e precipitação na região da bacia do rio Capivari, a partir de uma revisão de LOPES (1994) dos dados de regionalização hidrológica do Estado de São Paulo desenvolvida pelo DAEE em 1988.

Tabela 2. Vazões naturais na bacia do rio Capivari (modificada de LOPES, 1994).

Bacia	Área de drenagem (km ²)	Precipitação (mm)	Deflúvio médio anual		Vazão mínima		
			(10 ⁶ m ³ /ano)	(mm)	(10 ⁶ m ³ /ano)	(mm)	(m ³ /s)
Capivari (até M. Mor)	752	1250	202.05	268	42.42	56	1.3
Capivari (total)	1655	1201	373.43	226	78.37	47	2.5

De acordo com MONTICELI & MARTINS (1993), os terrenos das bacias dos rios Piracicaba e Capivari são pouco explorados em termos de águas subterrâneas, apenas pequenos municípios e algumas indústrias conseguem ser beneficiados. A vazão média constatada por poços é de 5000 l/h, sendo que esse consumo representa apenas 3,5% do consumo total de água pelos municípios.

Algumas constatações, em estudos realizados nas bacias destes rios, denotam a importância de um melhor aproveitamento dos mananciais de água subterrânea:

- 1) as indústrias da região são supridas majoritariamente, cerca de 93%, por captação direta de mananciais superficiais; apenas 3% são abastecidas pela rede pública e uma parcela de cerca de 2%, utiliza mananciais subterrâneos;
- 2) a captação de água pelas indústrias é de 14.328 l/s (51.580 m³/h); deste total, retornam ao sistema 11.925 l/s (42.930 m³/h), na forma de efluentes; o gráfico da Figura 5 ilustra a projeção das vazões industriais no rio Capivari, para os próximos anos;

Figura 5. Estimativa de volume de captação e lançamento de efluentes no rio Capivari para os próximos 10 anos, baseado nas informações contidas em MONTICELI & MARTINS (1993).

3) a maior prioridade da região é a despoluição (ASSIS, 1996) pois mesmo com a remoção de 70% (328,3 tDBO/dia) da carga potencial das indústrias e de 1004,9 tDBO/dia geradas pelas usinas de açúcar e álcool, o problema dos esgotos domésticos ainda se mantém, uma vez que menos de 4% da carga poluidora potencial nos municípios (203.9 tDBO/dia) é tratada. Os cursos d'água localizados na proximidades dos centros urbanos são, segundo a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo), de qualidade imprópria ao consumo na maior parte do ano, como atestado pelos índices da Figura 6. Como pode ser observado, apenas uma das cidades até 1990 (Mombuca), que registra a menor população e menor produção de efluentes, possui sistemas de tratamento capaz de remover 78% dos dejetos produzidos, enquanto as demais não apresentam nenhuma forma de tratá-los;

Dado o exposto, surge a necessidade de se utilizar melhor os mananciais de água subterrânea de forma a reduzir o percentual de captação das águas superficiais e facilitar a implantação de sistemas de despoluição do sistema.

1.3.2. Sistemas de aquíferos da região.

O principal sistema de aquífero da região é o Itararé, aparecendo restritamente o aquífero Diabásio (Figura 7)

Os dados dos dois sistemas de aquíferos, a seguir mostrados, foram retirados de LOPES (1994), que resumiu e avaliou as informações fornecidas pelo Comitê de Bacias Hidrográficas, na forma do Relatório da Situação dos Recursos Hídricos (1993).

A. Aquífero Itararé

A.1. Características físicas:

- em área: 3250 km² (sendo que 22,5% deste valor faz parte da área da bacia do Rio Capivari)
- espessura: 350 m (coluna de 1100 m de sedimentos)
- propriedades do meio: extensão regional, porosidade granular, livre à semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico.

Figura 6. Carga orgânica presente e efluentes despejados, na bacia do rio Capivari; (a) por indústrias da região; (b) e pelas principais cidades (Fonte: MONTICELI & MARTINS, 1993 e ASSIS, 1996).

A.2. Características geológicas

- é constituído por depósitos glaciais e retrabalhamentos fluviais e lacustres onde predominam sedimentos siliciclásticos, que se interdigitam lateralmente;
- as litologias predominantes são: arenitos lamíticos, diamictitos e siltitos.

A.3. Características dinâmicas

- permeabilidade aparente: 0,002 à 0,7 m/dia
- transmissividade: 0,3 à 40 m²/dia;
- coeficiente de armazenamento/porosidade efetiva: 10⁻⁴ à 0,05

Figura 7. Sistemas de aquíferos da região NE do estado de São Paulo (modificado de LOPES, 1994)

A.4. Potencialidade

- capacidade específica: 0,03 à 6 m³/h/ano
- vazões verificadas nos poços: 2 à 80 m³/h
- profundidade verificada em poços: 100 à 400 m

B. Aquífero Diabásio

B.1. Características físicas:

- em área: 890 km² (6,5% da área da bacia do rio Capivari)
- espessura: até 180 m
- propriedades do meio: extensão limitada, porosidade de fissuras, livre à semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico.

B.2. Características geológicas

- constituído pelas rochas intrusivas básicas associadas à Formação Serra Geral na forma de diques, lacólitos, *sills* e corpos irregulares;
- a litologia predominante é o diabásio.

B.3. Características dinâmicas

- transmissividade: 0,2 à 50 m²/dia;

B.4. Potencialidade

- capacidade específica: < 0,01 à 4 m³/h/ano
- vazões verificadas nos poços: 2 à 30 m³/h
- profundidade verificada em poços: 50 à 150 m

O Aquífero Itararé apresenta tendência em aumentar a espessura da zona saturada para oeste, onde pode atingir até 1300m, com um valor médio de 400m. O armazenamento e a circulação da água subterrânea ocorre na zona de clásticos (arenitos, conglomerados e diamictitos), intercalados com camadas sedimentares finas (lamitos, siltitos) que dificultam a entrada de água pela vertical, caracterizando uma permeabilidade horizontal maior que a vertical (anisotropia). A grande alternância entre as camadas de sedimentos finos e grosseiros, com espessura variável condicionam a heterogeneidade do armazenamento e a circulação da água subterrânea neste aquífero (DAEE, 1981).

A Tabela 3 traz o número de poços existentes na bacia do rio Capivari em 1980 e 1993, assim como as disponibilidades hídricas dos aquíferos Itararé e diabásio nesta bacia.

Avaliando as informações contidas na Tabela 3, conclui-se que apesar da área da bacia do rio Capivari equivaler a cerca de 11,5% da região definida pela bacia do rio Piracicaba, apenas menos que 7% do total das reservas de água subterrânea, encontram-se nesta região, o que explica a quantidade relativamente pequena de poços perfurados. A vocação hidrogeológica da bacia do rio Capivari está ligada a sua história geológica, que possibilitou a formação de três unidades, sendo uma superior, outra média e uma inferior, como ilustra a Figura 8.

Conforme mostra a Figura 8, o Aquífero II é o predominante na região do médio Capivari, sendo representado por lentes métricas de arenitos grosseiros à finos intercalados a siltitos, folhelhos e diamictitos, correspondentes a unidade média da Formação Itararé. Sua potencialidade é classificada como de média a alta, com gradiente de leste para oeste e tendo como principal exutório o rio Capivari. O caracter lenticular dos lóbulos arenosos (deltaicos) e sua variabilidade lateral o tornam difícil de ser prospectado.

Tabela 3. Poços existentes e disponibilidade hídrica do Aquífero Itararé, nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari (DAEE, 1981).

⇒ Número de poços.

<i>Cidades</i>	<i>1980</i>	<i>1990</i>
Capivari	14	54
Monte Mor	40	316
Elias Fausto	11	37

⇒ Disponibilidade hídrica (*reserva explotável em m³/s*) dos sistemas de aquíferos nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari.

<i>Sistema de Aquíferos</i>	<i>Bac. do Piracicaba</i>	<i>Bc. do Capivari</i>	<i>Total</i>
Cenozóico	0.5		0.5
Bauru	0.29		0.29
Serra Geral	0.42		0.42
Botucatu	4.64		4.64
Diabásio	0.7	0.05	0.75
Passa Dois	1.7		1.7
Itararé	2.4	0.95	3.35
Cristalino	9.25	0.43	9.68
Total	19.37	1.43	20.8

Figura 8. Características dos aquíferos da bacia do rio Capivari, simplificado a partir de MANIAKAS (1986).

1.4. ASPECTOS DA GEOLOGIA REGIONAL DA BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná corresponde a uma vasta bacia intracratônica sul-americana, desenvolvida completamente sobre a crosta continental e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam entre o Siluriano e o Cretáceo. Abrange uma área de cerca de 1.400.000 km², estendendo-se pelo Brasil (1.100.000 km²), Paraguai (100.000 km²), Uruguai (100.000 km²) e Argentina (100.000 km²), conforme ilustra a Figura 9 (ZALAN et al., 1990).

No Brasil, ocupa sua porção meridional, com um formato alongado de direção NNE-SSO. Cerca de dois terços da porção brasileira são representados por derrames de lava basáltica, de até 2.000 m de espessura.

A estratigrafia da Bacia do Paraná consiste basicamente de cinco seqüências deposicionais principais, onde o preenchimento sedimentar predominante é siliciclástico, sendo capeado por um volumoso derrame de lavas basálticas.

Os ciclos mais antigos de sedimentação datam do siluro-ordoviciano (Grupo Rio Ivaí), Devoniano (Grupo Paraná) e do início do permo-carbonífero (Grupo Tubarão). A transição permo-triássica é marcada por condições climáticas semi-áridas e áridas que

resultam nos sedimentos da Formação Pirambóia e da Formação Botucatu (Figura 10) Durante o jurô-cretáceo, um intenso vulcanismo afetou toda esta região gerando, um grande derrame de lavas e o surgimento de enxames de diques de diabásio na bacia (Formação Serra Geral). O Cretáceo Superior é marcado pela sedimentação do Grupo Bauru.

O desenvolvimento estrutural da bacia no Brasil foi influenciado por duas direções predominantes NNE-NE e NW. O Estado de São Paulo ocupa a porção nordeste da bacia, disposto entre duas estruturas de caráter ascensional, a Flexura Goiânia e o Arco de Ponta Grossa. A oeste do Estado situa-se a Depressão Central onde encontra-se o Rio Paraná drenando águas brasileiras.

1.4.1. Formação Itararé, com ênfase na região estudada

O termo Itararé surgiu a partir de OLIVEIRA (1916, apud MANIAKAS, 1986) para denominar os sedimentos glaciais da Série Tubarão proposta inicialmente por WHITE (1903, apud MANIAKAS, 1986).

Esta formação é descrita em função de três membros principais, segundo ALMEIDA & MELO (1981): Inferior, Médio e Superior. A unidade Inferior é constituída por arenitos maciços e estratificados, mal selecionados, grosseiros, conglomeráticos, lenticulares, associados a ritmitos, que sugerem ambiente marinho com influência glacial. A unidade Média, é representada principalmente por arenitos muito finos, argilosos intercalados com siltitos, diamictitos e lamitos, que indicam ambiente marinho de águas rasas com influência glacial. E a unidade Superior, finaliza a seqüência com um pacote de arenitos grosseiros, conglomeráticos, mal selecionados, diamictitos polimíticos, siltitos arcoseanos e arenitos finos, indicando ambiente flúvio-glacial em planície litorânea.

Trabalhos como os de SOARES et al. (1977), PIRES & PETRI (1991), PETRI & PIRES (1992) e PETRI (1992) a elevam a categoria de Subgrupo Itararé, onde distingue-se três formações: Itu, Capivari e Tietê. A Formação Itu equivaleria a unidade Inferior, à Formação Capivari a unidade Média e à Formação Tietê a unidade Superior, descritas por ALMEIDA & MELO (1981).

Esta discussão é devida ao fato da divisão do Grupo Tubarão nas formações Itararé, Rio Bonito e Palermo, ser bastante difícil de ser realizada nos outros estados componentes da Bacia do Paraná, como em Santa Catarina e no Paraná. Neste último, essa dificuldade é devida ao maior conteúdo em areia em toda a unidade, o que a torna homogeneamente arenosa e à ausência parcial do intervalo médio por erosão ou não deposição (SOARES et al., 1977).

SOUZA FILHO (1986), em seu trabalho de mapeamento faciológico da quadrícula Campinas, identificou sete associações faciológicas descritas na Tabela 4. O mesmo autor observou ainda perfis estratigráficos básicos nas proximidades de Monte-Mor e Capivari (Figura 11), que mostram um sistema composto por diamictitos maciços e arenitos, representativos da parte superior da unidade V (Tabela 4).

Figura 9. Localização e aspectos tectônicos gerais da Bacia do Paraná, simplificado a partir de IPT (1980b).

		GR.	FORMAÇÃO	LITOLOGIAS
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	Quaternário		<i>Coberturas de origem fluvial e aluvial</i>
		Terciário		
	MESOZÓICO	Cretáceo	Marília	<i>Arenitos de granulação fina à grossa. com lentes de siltitos, argilitos e arenitos muito finos</i>
			Adamantina	<i>Arenitos finos e muito finos</i>
			Sto. Anastácio	<i>Arenitos muito finos à médios, mal selecionados, geralmente maciços</i>
			Caiuá	<i>Arenitos finos à médios com grãos bem arredondados, coloração arroxeada típica</i>
		Jurássico	Serra Geral	<i>Derrames de rochas vulcânicas toleíticas</i>
			Botucatu	<i>Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina à média</i>
			Pirambóia	<i>Depósitos fluviais de arenitos finos à médios, siltico-argilosos</i>
		Triássico		
		Permiano	Rio do Rastro	<i>Depósitos de planícies costeiras, de arenitos inos à médios, siltitos e argilitos</i>
			Teresina	<i>Níveis de folhelhos e argilitos intercalados com siltitos e arenitos muito finos</i>
			Serra Alta	<i>Depósitos de siltitos, folhelhos e argilitos, essencialmente marinhos</i>
			Iratí	<i>Siltitos, argilitos e folhelhos silticos</i>
	PALEOZÓICO	Carbonífero	Palermo	<i>Depósitos marinhos de siltitos, arenitos finos e conglomerados</i>
			Rio Bonito	<i>Depósitos marinhos de siltitos, folhelhos com níveis carbonáticos e arenitos muito finos</i>
			Itararé	<i>Depósitos glaciais de arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos, tilitos</i>
			Aquidauana	<i>Depósitos continentais de arenitos feldspáticos médios à grossos</i>
		Mississipiense		
		Persilvânico		
		Devoniano	Ponta Grossa	<i>Depósitos marinhos de folhelhos, siltitos e arenitos</i>
			Furnas	<i>Depósitos marinhos de arenitos grossos feldspáticos e conglomerados</i>
		Siluriano	Vila Maria	<i>Pacote arenoso inferior, arcoseano na base e quartizítico no topo</i>
		Ordoviciano	Iapó	<i>Depósitos de diamictitos</i>
			Alto Garças	<i>Depósitos de pelitos fossilíferos</i>

Figura 10. Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná, modificada de IPT (1980b) e MILANI et al. (1994).

Tabela 4. Unidades estratigráficas definidas por SOUZA FILHO (1986) para o Subgrupo Itararé.

UNIDADES	DESCRIÇÃO
I	<i>Arenitos gradados ou estratificados, diamictitos, conglomerados e lentes lamíticas, correspondentes à base do subgrupo itararé.</i>
II	<i>Lamitos maciços e acamados, ritmitos e siltitos, localizados na parte inferior do subgrupo itararé. encontra-se assentada sobre o embasamento cristalino, interdigitando-se em sua parte inferior com a unidade i</i>
III	<i>Folhelhos, siltitos, arenitos muito finos, diamictitos e calcáreos, que se estendem desde a porção inferior até o topo do subgrupo itararé.</i>
IV	<i>Arenitos, conglomerados e lamitos, que ocorrem na forma de vários corpos dentro da unidade iii.</i>
V	<i>Diamictitos e arenitos estratificados, que ocorrem na forma de corpos lenticulares.</i>
VI	<i>Arenitos, conglomerados, diamictitos, calcáreos e lamitos, correspondentes ao pacote superior do subgrupo itararé.</i>
VII	<i>Conglomerados, diamictitos, lamitos e calcáreos, de coloração avermelhada e distribuição esparsa.</i>

Seção observada em Monte - Mor

Seção observada em Capivarí

Figura 11. Seções estratigráficas observadas por SOUZA FILHO (1986).

SOARES et al. (1977) identificaram quatro associações para a mesma região, nas proximidades do município de Capivari, estas associações são descritas na Tabela 5, caracterizando-se por constituírem unidades de contatos interdigitados, cuja evolução foi marcada por uma sedimentação clástica de origem fluvial, associada a eventos glaciais.

Tabela 5. Unidades estratigráficas definidas por SOARES et al. (1977) para o Subgrupo Itararé.

UNIDADES	DESCRIÇÃO
I	<i>Arenitos finos a conglomerados, com espessuras variando de 2 à 15 m. Representa a porção superior do Subgrupo Itararé</i>
II	<i>Diamictitos e arenitos constituindo um pacote de espessura variável (1 à 15 m), com a presença de níveis lamíticos e silteosos. Juntamente com a unidade I, faz parte da porção superior do Subgrupo Itararé.</i>
III	<i>Siltitos e arenitos de granulação fina à muito fina, que ocorrem em pacotes pouco espessos. Representa a porção mediana do Subgrupo Itararé</i>
IV	<i>Arenitos, ritmitos e lamitos interdigitados, com espessuras de até 5 m. Corresponde a base do Subgrupo Itararé.</i>

Analisando-se as diversas subdivisões propostas, tanto a nível de formação Itararé quanto do Subgrupo Itararé, conclui-se que ainda não existe uma uniformidade quanto às propostas de classificação e principalmente as divisões estabelecidas, seja a nível de membro ou unidade. O principal fator, neste caso, é a heterogeneidade de fácies existentes dentro do pacote de sedimentos Itararé e a dificuldade de realizar correlações estratigráficas, a nível estadual e inter-estadual. Por este motivo, será adotada a proposta de ALMEIDA & MELO (1981), por ser a mais simplificada e apropriada aos estudos geotécnicos.

1.5. CONTEXTO REGIONAL DA GEOMORFOLOGIA DA BACIA DO RIO CAPIVARI

A geomorfologia da Bacia do Paraná pode ser esquematizada da seguinte forma: do litoral em direção ao interior tem-se uma faixa marcada por escarpas abruptas e quase lineares, condicionadas por falhamentos, onde destacam-se principalmente espigões, que constituem as serras do Mar e Paranapiacaba. Sobrepondo-se a estas feições encontra-se um extenso planalto, denominado de Planalto Atlântico, caracterizado por um conjunto de rochas cristalinas de idade pré-cambriana e cambro-ordovicianas. A sudeste, limita-se com a Depressão Periférica paulista que representa um conjunto de relevos colinosos ligados tanto as rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas quanto as rochas graníticas, metamórficas e migmatíticas do embasamento. Entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental, existe

um relevo marcado por *cuestas* sustentadas por rochas basálticas, que formam um relevo escarpado inclinado em direção à a porção central da Bacia. Finalizando com o Planalto Ocidental que recobre praticamente toda porção oeste da bacia, constituído pelas rochas areníticas do Grupo Bauru e formado por uma sucessão de formas onduladas representadas principalmente por colinas e morrotes (IPT, 1981a).

A geomorfologia da região correspondente as bacias dos rios Piracicaba e Capivari refere-se a um grupo de regiões morfoestruturais que variam desde o Planalto Atlântico, com cotas de 1800m, até as colinas e morrotes do Planalto Ocidental. Mais especificamente, a bacia do rio Capivari encontra-se totalmente localizada nos domínios da Depressão Periférica, com cotas variando entre 500 à 700 m. As cabeceiras do rio Capivari apresentam um relevo marcado pela presença de colinas de topos arredondados e topos angulosos, aproximadamente paralelos, vales fechados rasos e nas porções mais próximas ao rio principal, mais largos e profundos com planícies de sedimentação bem desenvolvidas.

Estas características podem ser observadas, comparando-se as Figuras 13 (a) e (b), onde através do programa SURFER foram elaboradas duas superfícies, uma em planta e a outra na forma de modelo digital do terreno, nestas, as formas de relevo são ressaltadas, mostrando as relações entre vales e topos na bacia.

- 1 – vale principal, largo e profundo;
 2 – colinas aproximadamente paralelas;
 3 – morros com topos angulosos, associados a vales fechados.

Figura 12. Aspectos da geomorfologia da região do médio Capivari.

Capítulo II

Revisão Bibliográfica

2.1. INTRODUÇÃO

O termo bacia hidrográfica é definido na literatura, considerando-se principalmente sua área de abrangência e suas relações com o meio físico, abaixo estão citadas algumas destas conceituações:

- CHRISTOFOLETTI (1970) menciona em seu trabalho, o que seria a raiz do conceito de bacias hidrográficas por meio das palavras de LEONARDO Da VINCI e de PLAYFAIR: *“Cada vale foi escavado pelo seu rio e a relação entre vales é a mesma que entre rios”; “Cada rio consiste em um tronco principal, alimentado por um certo número de tributários, sendo que cada um deles corre em um vale proporcional ao seu tamanho e o conjunto forma um sistema de vales comunicantes com declividades tão perfeitamente ajustadas, que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior, circunstância que seria infinitamente provável se cada vale não fosse obra do rio que ocupa”*
- VIESSMAN et al. (1972) consideram a bacia hidrográfica como uma área definida topograficamente, drenada por um curso d’água ou um sistema conectado de cursos d’água, tal que toda a vazão efluente, seja descarregada através de uma simples saída.

Nos últimos anos, os autores tem tido preferência por definir bacias, em função de um número de variáveis cada vez maior, de modo a aumentar sua área de influência. Destes, cita-se:

- GARCEZ & ALVAREZ (1988) apresentam dois conceitos: bacia hidrográfica e bacia hidrogeológica, a saber:

- Bacia Hidrográfica: conjunto de áreas com caimento superficial para determinada seção transversal de um curso d'água, medidas as áreas em projeção horizontal.
- Bacia Hidrogeológica: conjunto de áreas cujo escoamento superficial ou subterrâneo alimenta o deflúvio em determinada seção transversal do curso d'água, medidas as áreas em projeção horizontal. A bacia hidrográfica pode eventualmente identificar-se com a bacia hidrogeológica.
- RAMOS et al. (1989) a definem como uma área onde a precipitação é coletada e conduzida para seu sistema de drenagem natural, isto é, uma área composta de um inter-relacionado sistema de drenagem natural, onde o movimento de água superficial inclui todos os cursos da água e do solo existentes na localidade.
- PONCE (1989) explica o termo bacia hidrográfica como uma porção da superfície de coleta e concentração do escoamento superficial.
- BLACK (1991) a descreve como a porção natural da superfície da Terra na qual a água, produto da precipitação, é coletada em um canal que flui em direção a um coletor comum, que está conectado a outro curso d'água como rio, lago ou oceano.
- SILVEIRA (1993) a define como uma área de captação natural de água de precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída.

A Figura 13 ilustra os limites das principais bacias hidrográficas do País: Amazonas, Tocantins, São Francisco, Paraná e as Marginais Atlânticas e, em detalhe, a divisão de bacias hidrográficas realizada no Estado de São Paulo.

2.2. CICLO HIDROLÓGICO

A bacia hidrográfica configura a fase terrestre do ciclo hidrológico, sendo considerada um sistema físico, onde a entrada é o volume de água precipitada e de contribuição subterrânea; e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, tendo como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e infiltrados profundamente (SILVEIRA, 1993).

O ciclo hidrológico constitui um sistema fechado de movimentação de água entre a superfície da Terra (incluindo os meios bióticos e abióticos) e a atmosfera, sendo formado por uma gama de parcelas que envolvem precipitação, evaporação, transpiração, evapotranspiração, infiltração e o escoamento superficial (Figura 14).

Participam do ciclo hidrológico tanto o meio biótico quanto o abiótico que tornam complexo o estudo do balanço hídrico de uma região, pois cada componente do meio físico contribui ou participa com uma parcela, o fluxograma da Figura 15 exemplifica alguns componentes desse ciclo.

Figura 13. A) Principais bacias hidrográficas do Brasil (modificada de RAMOS et al, 1989); B) Divisão de bacias hidrográficas realizada no estado de São Paulo (modificada de DAEE, 1999).

Figura 14. Ciclo Hidrológico (BLACK, 1991).

Figura 15. Fluxograma com os componentes do ciclo hidrológico (RAMOS et al., 1989).

A equação do balanço volumétrico, conhecida como *Balanço Hídrico*, para porção representada pela superfície do solo da bacia, pode ser escrita da seguinte maneira, conforme propõe VIESSMAN et al. (1972):

$$P = S + Es + Ts + \Delta Vs + I$$

P = Precipitação

S = Escoamento superficial

Es = Evaporação superficial

Ts = Transpiração

ΔVs = Variação do volume armazenado

I = Infiltração

Considerando-se os fenômenos abaixo da superfície do solo, tem-se que:

$$I = B + Eb + Tb + \Delta Vb, \text{ onde:}$$

B = Escoamento no subsolo

Eb = Evaporação no subsolo

Tb = Transpiração no subsolo

ΔVb = Variação do volume armazenado no subsolo

I = Infiltração

Somando-se as parcelas da superfície + subsuperfície:

$$P = S + B + (Es + Eb) + (Ts + Tb) + (\Delta Vs + \Delta Vb)$$

$$P = S + B + E + T + \Delta V$$

$$P = D + ETV + \Delta V, \text{ onde:}$$

P = Precipitação ; $D = S+B$ = Deflúvio ; $ETV = E+T$ = Evapotranspiração

Portanto, uma bacia hidrográfica, no ciclo hidrológico, configura um sistema onde a quantidade de água envolvida é controlada pelo clima, vegetação e secundariamente pelo solo, que absorve uma parte desse volume (WAGLE, 1971), sendo este o produto da ação do clima sobre o substrato rochoso da região. Neste ponto, o ciclo hidrológico e o ciclo geológico apresentam um elo em comum (Figura 16).

2.3. FATORES FÍSICOS CARACTERÍSTICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Dentre os principais fatores físicos influentes na estruturação das bacias hidrográficas foram adotados neste trabalho: os fatores morfométricos, os fatores geológicos e os fatores térmicos.

Figura 16. Ciclo Geológico x Hidrológico.

2.3.1. Fatores Morfométricos

Os cursos d'água constituem o processo morfogenético mais atuante na escultura da paisagem terrestre. São capazes de modificar, grandes extensões da superfície. Dentre a grande quantidade de variáveis geomorfológicas que podem ser analisadas escolheu-se, para este estudo, a avaliação morfométrica de bacias hidrográficas, com o objetivo de encontrar ligações entre parâmetros tradicionalmente descritivos de uma bacia e seus possíveis condicionantes. Desta forma, procura-se encontrar fatores que auxiliem a qualificar e quantificar as características geotécnicas de uma região.

O esquema a ser seguido é o proposto por CHRISTOFOLETTI (1970, 1987), restringindo-se aos elementos que são de interesse neste estudo, conforme ilustra a Tabela abaixo.

Tabela. 6. Elementos morfométricos considerados.

<i>Análise areal</i>	1. Índice de forma – K 2. Índice de circularidade – Ic 3. Relação de alongação – Re 4. Densidade de drenagem – Dd 5. Densidade hidrográfica – Dh 6. Textura topográfica – Tt 7. Coeficiente de manutenção – Cm 8. Relação de relevo – Rr 9. Índice de rugosidade – Ir Declividade máxima da vertente – Dmax
<i>Análise Linear</i>	10. Ordem dos canais e das bacias – 1º, 2º, 3º... 11. Extensão do percurso superficial – Eps Gradiente dos canais – G

▪ Análise Areal

a. Índice de forma (K) e Índice de circularidade (Ic)

Fornece uma tendência da forma da bacia, tendo como referência $K=1$, que traduz a forma circular.

$$K = P \frac{1}{2\sqrt{\pi A}}$$

onde: P = Perímetro da bacia; A = Área da bacia

Proposto inicialmente por MILLER (1953, *apud* CHRISTOFOLETTI, 1970), o Índice de circularidade (Ic) expressa a relação entre a área da bacia e a área de um círculo de igual perímetro ao da bacia considerada, representa um indicativo da maior ou menor tendência de uma bacia para enchentes, assumindo valores de 0 a 1. Sendo definido como:

$$Ic = \frac{A}{Ac}$$

onde A = área da bacia; e Ac = a área do círculo cujo perímetro é igual ao da bacia considerada

b. Relação de alongação (Re)

Correlaciona o diâmetro de um círculo de área igual à da bacia e o maior comprimento da mesma medido paralelamente a linha principal de drenagem.

$$Re = \frac{Dc}{l} \quad (\text{SCHUMM, 1956})$$

Dc = Diâmetro do círculo de área igual a da bacia; l = Maior comprimento da bacia

Quando $Re=1$, a bacia é circular.

c. Densidade de drenagem (Dd) e densidade hidrográfica (Dh)

A Dd fornece uma relação entre o comprimento total dos canais de uma bacia e a área total da bacia. A Dh fornece a frequência dos cursos d'água existentes na bacia.

STRAHLER (1960) propôs uma faixa de valores para descrever a densidade de drenagem de uma bacia, como mostra a Tabela 7.

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (\text{HORTON, 1945})$$

$$Dh = \frac{n}{A} \quad (\text{HORTON, 1945})$$

onde: n = Número de canais da bacia; A = Área da bacia; $\sum L$ = Comprimento total dos canais da bacia

Tabela 7. Faixas de valores e suas atribuições para os canais de drenagem (STRAHLER, 1960) e de frequência de canais ou densidade hidrográfica segundo LOLLO (1998).

$Dd \text{ (Km/km}^2\text{)}$	Denominações	$Dh \text{ (N/km}^2\text{)}$	Denominações
< 7,5	Baixa	< 3	Baixa
7,5 – 10	Média	3 – 7	Média
> 10	Alta	7 – 15	Alta
		> 15	Muito alta

d. Textura topográfica (Tt)

Representa o grau de dissecação ou entalhamento de uma superfície do terreno.

$$\text{LogTt} = 0,219649 + 1,115 \log Dd \quad (\text{SMITH, 1959})$$

ou

$$Tt = 10^{0,219649 + 1,115 \log Dd}$$

CHRISTOFOLETTI (1970) apresenta uma tabela simples (Tabela 8), atribuindo especificações para intervalos de classe de textura topográfica.

Tabela 8. Intervalos de classe de textura topográfica (CHRISTOFOLETTI, 1970)

Classe	Tt
Grosseira	< 2,5
Média	2,5 – 6,2
Fina	> 6,2

e. Coeficiente de manutenção (Cm)

Corresponde a área mínima para manutenção de um canal com escoamento permanente.

$$Cm = \frac{1}{Dd} \times 100; (m^2/m) \text{ (SCHUMM, 1956)}$$

f. Relação de relevo (Rr)

Trata-se da relação entre a diferença máxima de altitude da bacia com o maior comprimento medido paralelamente a linha principal de drenagem (SCHUMM, 1956; GANDOLFI, 1968).

$$Rr = \frac{\Delta a}{L}$$

onde : Δa = Diferença máxima de altitude; L = Maior comprimento medido paralelamente ao curso principal

g. Índice de rugosidade (Ir)

Expressa um dos aspectos da análise dimensional da topografia, combinando as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, resultando do produto da amplitude altimétrica (H) com a densidade de drenagem (Dd).

$$Ir = H \cdot Dd \text{ (CHRISTOFOLETTI, 1987)}$$

h Declividade máxima da vertente (Dmax)

Representa a declividade máxima, medida em espaços regulares ao longo das escarpas dos vales. Pode ser expressa através de uma relação entre o comprimento total dos canais existentes na bacia (P), a amplitude topográfica (H) e a área da bacia (A).

$$D_{\max}(\%) = \frac{(\sum L)^{0.25} \cdot (H^{0.5})}{(A)^{0.375}} \text{ (CHRISTOFOLETTI, 1987)}$$

▪ Análise Linear

a. Ordem dos canais e das bacias

Segundo proposto por STRAHLER (1952): “Os menores canais sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se da nascente até a confluência, os canais de segunda ordem surgem da confluência de canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem, os canais de terceira ordem surgem da confluência de canais de segunda ordem e recebem afluentes de primeira e segunda ordem, os canais de quarta ordem”, e assim sucessivamente. SHREVE (1966) complementa o proposto por STRAHLER (1952), colocando que: “A ordem da bacia corresponde à maior ordem atribuída a um de seus segmentos”. A Figura 17 exemplifica os conceitos propostos.

Figura 17. Exemplo de ordenação de canais de uma bacia de quarta ordem.

b. Extensão do percurso superficial (Eps)

Representa a distância média percorrida pelo escoamento concentrado até encontrar um canal permanente (HORTON, 1945; GANDOLFI, 1968; CHRISTOFOLETTI, 1970).

$$Eps = \frac{1}{2Dd}$$

c. Gradiente dos canais (G)

Corresponde a relação da diferença máxima de altitude entre a nascente e a foz e a extensão máxima do canal principal expressa em % (HORTON, 1945; STRALER, 1952; CHRISTOFOLETTI, 1970).

$$G = \frac{\Delta d}{L}$$

onde: Δd = Diferença máxima de altitude; L = Maior comprimento medido paralelamente ao principal curso

2.3.2. Fatores Geológicos

Os fatores geológicos são representados, pelo tipo de substrato rochoso e pelos processos superficiais e tectônicos. Estes definem perfis de alteração, as características físicas das bacias e o estabelecimento de superfícies de fluxo na superfície e em subsuperfície.

Os processos tectônicos não serão abordados detalhadamente neste trabalho, mas estes podem ser observados através dos padrões de drenagem, onde controle estrutural exerce uma grande influência no traçado dos canais, que pode variar entre muito baixo (modelo dentrítico) a muito alto (modelo angular, treliça) (Figura 18). Em geral, são produtos da história geológica da região podendo estar associados a grandes falhamentos, famílias de juntas ou lineamentos estruturais.

2.3.2.1. Influência do substrato rochoso

É possível identificar, por fotografias aéreas, a influência do substrato rochoso sobre os canais de drenagem, como pode ser observado em vários exemplos citados na literatura (HOWE, 1960; MORISAWA, 1964; RICCI & PETRI, 1965; HOWARD, 1965; SOARES & FIORI, 1976). Esse controle pode ser visualizado através dos *padrões ou modelos de drenagem*. Em RICCI & PETRI (1965), modelo ou padrão de drenagem é definido como: “*um arranjo planimétrico dos cursos d’água de modo a sugerir ou revelar um desenho*”. A Figura 18 traz diversos modelos de drenagem que exemplificam o conceito acima proposto.

MORISAWA (1964) fez algumas observações a cerca deste controle caracterizando cursos que estivessem associados a superfícies arenosas ou silto/argilosas. Segundo esta autora, os cursos que apresentam contornos alongados, com canais de seção transversal em forma de “V” estão geralmente associados a superfícies arenosas, enquanto que cursos com arranjo mais intrincado e angular, podem indicar um material granular mais fino como siltes e argilas (Figura 19). Comparativamente, pode ser feita uma análise de como um mesmo padrão (dentrítico) se comporta sobre diferentes tipos litológicos, como observado na Figura 20. Nas rochas sedimentares (argilosas), verifica-se uma maior irregularidade e um maior número de canais tributários, enquanto que em

rochas cristalinas, o número de canais é menor e ocorre um maior controle da rede de drenagem.

CHRISTOFOLETTI (1970) enfatiza que o comportamento hidrológico das rochas e do regolito, em um mesmo ambiente climático, vai repercutir na densidade de drenagem. Desta forma, as texturas mais grossas (espaçamento maior entre as feições) estariam relacionadas a rochas permeáveis, onde a infiltração é facilitada. As texturas mais finas (menor espaçamento entre as feições) permitem um maior escoamento superficial e assim uma densidade maior de canais de drenagem.

2.3.2.2. Processos superficiais e tectônicos.

2.3.2.2.1 Superficiais

Os processos superficiais mais influentes no desenvolvimento de canais de drenagem são aqueles ligados à evolução e ao desenvolvimento da morfologia da superfície terrestre: intemperismo, erosão, transporte e deposição.

a. Intemperismo

O intemperismo é um processo de alteração e quebra da rocha, por fenômenos físicos, químicos e biológicos. O tipo de intemperismo e as características de seus produtos são fortemente influenciadas pelo clima e tipo litológico (ROBINSON & WILLIAMS, 1994; GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUPE WORKING PARTY, 1990, 1995).

Pela ação do intemperismo observa-se que:

- *diferentes litologias podem ou não intemperizar de diferentes formas sob o mesmo regime climático;*
- *heterogeneidades litológicas ou juntas penetrativas são caminhos preferenciais para percolação de soluções e assim propiciam o ataque às rochas;*
- *rochas alteradas são difíceis de classificar sem que esteja em algum ponto preservada a rocha original, principalmente em rochas brandas;*
- *as classificações, em geral, utilizam critérios simples e que descrevam o melhor possível as variações do perfil.*

1. Lagunar	9. Radial	17. Anostomosada	25. Contorcida
2. Yazoo	10. Paralela	18. carst	26. Subdentritica
3. Multi basinal	11. Anelar	19. Colinear	27. Anostomótica
4. Bacias alongadas	12. Retangular	20. Centripeta	28. Pinada
5. Reticular	13. Angular	21. Dicotômica	29. Desordenado
6. Phanton	14. Assimétrica	22. Retilínea	30. Subparalela
7. Dentritica	15. Pontagudo	23. Swallow hole	
8. Treliça	16. Entrelaçado	24. Ilusória	

Figura 18. Modelos de drenagem, segundo PONCE (1989).

Figura 19. Modelos de drenagem, segundo MORISAWA (1964).

Figura 20. Comportamento do modelo dentrítico sobre rochas de origens diferentes, modificado de PONCE (1989).

Tradicionalmente, faz-se uma separação entre intemperismo químico e físico, porém, comumente eles agem juntos. O progresso do intemperismo químico se deve em grande parte as fraturas geradas no intemperismo físico e ao mesmo tempo o fraturamento pode ocorrer em virtude das variações de volume produzidas pelo intemperismo químico.

Os perfis de alteração representam a progressão do processo de intemperismo ao longo do maciço rochoso, desde a rocha sã até solo residual.

▪ Intemperismo químico

A susceptibilidade das rochas ao ataque químico está em função da composição mineralógica, da textura e da presença de fraturas.

O principal agente do intemperismo químico é a água, onde tanto importa o suprimento apropriado quanto o quimismo da rocha (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUPE WORKING PARTY, 1990, 1995).

Em geral, a quebra dos minerais ocorre em climas quentes, associada à ciclicidade (estações úmidas/secas) produzindo a remoção de cátions. Minerais silicatados podem se alterar para minerais de argila, com conseqüente redução da densidade e da resistência da rocha. A remoção de cátions pode gerar também a formação, em alguns níveis de crostas rígidas: lateríticas (concentração do ferro) e bauxíticas (concentração do alumínio).

PEDRO (1969) faz duas correlações entre intemperismo químico e clima, descrevendo os principais produtos dessa interação:

- nas zonas frias, onde dominam os podzols, a relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ki) é sempre superior à da rocha mãe, conduzindo a um enriquecimento em sílica;
- nas outras zonas, a relação Ki do solo é inferior ao valor da mesma relação na rocha mãe, ocorrendo um empobrecimento em SiO_2 , que se torna mais pronunciado quanto mais se aproxima da zona tropical onde em certos casos leva a geração de crostas bauxíticas e na maioria das vezes, de silicatos argilosos e hidróxidos.

▪ Intemperismo físico

É relacionado principalmente ao intenso fraturamento da rocha, produto de mudanças de temperatura, variações de volume pela decomposição química da rocha, neoformação de cristais, congelamento, crescimento de raízes, atividade animal e impactos com blocos rochosos.

Todos esses fatores geram uma diferença entre as tensões externas e internas ao maciço, o que ocasiona a ruptura. Fraturas formadas pelo intemperismo físico podem apresentar uma orientação preferencial associada ou não às orientações originais de minerais ou de descontinuidades preexistentes.

A desagregação física das rochas é mais comum em climas secos sujeitos a variações térmicas de grande amplitude. Nos climas úmidos, ele é ou produto do intemperismo químico ou ocorre em percentual inferior ao mesmo.

▪ Perfis de alteração

Os principais fatores determinantes e controladores do desenvolvimento dos perfis de alteração são: tempo de residência, clima, mineralogia e topografia.

⇒ *tempo de residência está relacionado aos processos de erosão e transporte (remoção) do material inconsolidado.* Quanto mais intensos eles forem, menor será o tempo de residência desse material e menor será a espessura do perfil resultante. A partir do tempo de residência, assim é possível identificar o estágio evolutivo da rede

de drenagem, se jovem (erosão e transporte atuantes) ou maduro à senil (deposição e sedimentação).

- ⇒ *clima é sem dúvida um dos fatores mais influentes; a ele estão relacionadas as condições pluviométricas, a temperatura e a sazonalidade, que podem possibilitar a formação tanto de perfis espessos, como no caso das regiões tropicais e equatoriais, quanto de finas camadas em regiões de clima frio.* O clima influi nos processos de intemperismo: em regiões de alta pluviosidade, o grande aporte de água (rede hidrográfica bastante desenvolvida) possibilita a ação mais efetiva do intemperismo químico, enquanto que nas regiões secas (canais temporários), com altas variações de temperatura, o intemperismo físico é mais atuante. Sobre uma grande parte dos trópicos, a precipitação varia de estação à estação e de ano à ano e as dificuldades causadas por essa variação temporal são ampliadas pela intensidade das chuvas, que tende a ser alta nos trópicos. (BARROW, 1987).
- ⇒ *a mineralogia serve principalmente como indicadora da rocha original, quando são identificados minerais resistentes, os processos e a neoformação de minerais pelo intemperismo químico.*
- ⇒ *a topografia, como o tempo de residência, atua principalmente na espessura dos PA (conforme a topografia o tempo de residência pode ser maior ou menor).* Superfícies planas permitem o desenvolvimento de espessos pacotes, pois constituem locais preferenciais de aporte de sedimentos. As superfícies com altas declividades não desenvolvem perfis espessos, pois o material formado é facilmente removido pela ação da gravidade e das águas. Em geral, nas regiões sujeitas a deslocamentos de massas, a quantidade de material retrabalhado que se deposita em fundos de vales, encostas ou planícies próximas é muito grande, vindo a constituir espessos pacotes heterogêneos de material inconsolidado, onde a camada de material residual foi por vezes completamente removida ou está soterrada.

Podem ainda ser citados fatores mais abrangentes que influenciam na espessura dos solos residuais: localização determinada, em termos do clima regional associada à província estrutural, história tectônica da região, província geomorfológica, histórico dos processos intempéricos e de erosão.

Independentemente dos processos geológicos, ocorre adição, perda, transformação e transporte de material por processos pedogenéticos (VAZ, 1996).

Os principais processos são eluviação (perdas), iluviação (adição), lixiviação (remoção de sais solúveis), podzolização (concentração de sílica) e a lateritização (concentração de ferro).

A determinação do tipo de solo derivado deve ser feita com base em critérios de origem e das condições geomorfológicas. Os solos de alteração são facilmente identificáveis pelas heterogeneidades e anisotropias impostas pelas estruturas reliquias (VAZ, 1996). Em geral, se desenvolvem em superfícies aplainadas, onde os processos de erosão e transporte não interferem de forma significativa na sua evolução. Os solos retrabalhados são mais difíceis de serem caracterizados, pois constituem uma mistura complexa de diversos tipos litológicos, de várias áreas fontes. Neste caso, é mais importante observar o perfil e separar as diversas parcelas de origens diferentes. São associados a regiões de escarpas e fundos de vales, ou seja, locais onde ocorre movimento de massa e deposição.

O agente principal dos processos pedogenéticos é a movimentação da água no solo, basicamente controlada pela competência da rede de drenagem superficial e por seu estado evolutivo. Essa ação é cíclica, compreendendo períodos de infiltração durante as chuvas e evaporação nas secas. Por isso, climas tropicais apresentam perfis espessos, pois o aporte de água nessas regiões é muito elevado. Em geral, tem-se dois horizontes distintos, um superior homogêneo e isotrópico, sede dos processos pedogênicos e outro inferior, heterogêneo e anisotrópico, onde tais processos são limitados, predominando os processos de alteração intempérica (VAZ, 1996). Neste ponto, entra também a contribuição da vegetação que possui um papel fundamental na evolução de uma bacia hidrográfica. A cobertura vegetal afeta significativamente o escoamento superficial da bacia. A sua presença possibilita uma maior infiltração de água, além do consumo por evapotranspiração. A retirada da cobertura vegetal facilita a saturação do solo e conseqüentemente o escoamento superficial concentrado (WARD & ELLIOT, 1995).

Para fins de obras civis, os solos devem ser identificados pela sua origem geológica e por um sistema de classificação geotécnica apropriado ao tipo de obra (VAZ, 1996). A classificação tátil-visual é o sistema mais empregado, segundo NISHIYAMA (1998), a separação dos materiais líticos que compõem o substrato rochoso dos materiais inconsolidados, resultantes da alteração de materiais rochosos *in situ* ou retrabalhados, pode ser feita em parte utilizando como critério a resistência mecânica ao impacto do

martelo de geólogo, à pressão das mãos e dos dedos, a coloração e a outros aspectos observáveis nas rochas.

PRICE (1993) determina sete graus de alteração conforme ilustra a Tabela 9. Segundo os critérios propostos pelo autor, observa-se que as classes V e VI são as mais próximas aos materiais inconsolidados, enquanto que as classes IV e menores são mais características dos materiais líticos do substrato rochoso.

Tabela 9. Descrição de níveis de alteração proposta por PRICE (1993).

<i>Descrição dos níveis de alteração</i>	<i>Classe</i>	<i>Amostra de mão</i>	<i>Maciço rochoso</i>
<i>Rocha Fresca</i>	<i>I^A</i>	Nenhum sinal de alteração visível	<i>Nenhum sinal de alteração visível</i>
<i>Fracamente alterada</i>	<i>I^B</i>	Alteração limitada à superfície das descontinuidades maiores	<i>Alteração limitada à superfície das descontinuidades maiores</i>
<i>Levemente alterada</i>	<i>II</i>	A alteração progride ao longo da maioria das descontinuidades, porém internamente mostra-se incipiente	<i>A alteração progride ao longo da maioria das descontinuidades, com leve alteração do maciço rochoso como um todo</i>
<i>Moderadamente alterada</i>	<i>III</i>	Alteração ao longo das descontinuidades e dos materiais líticos, porém sem se apresentar friável	<i>Menos da metade do maciço encontra-se totalmente decomposto e descolorido. Possivelmente a rocha fresca constitui uma malha contínua.</i>
<i>Altamente decomposta</i>	<i>IV</i>	Alteração ao longo das descontinuidades e dos materiais líticos, com porções friáveis	<i>Mais da metade da rocha está decomposta para solo (saprolito) e descolorida. Possibilidade da presença de alguma rocha fresca formando uma malha descontínua.</i>
<i>Completamente alterada</i>	<i>V</i>	Todo material encontra-se decomposto e friável, porém a textura é preservada	<i>Todo maciço acha-se alterado para solo (saprolito) Estruturas e texturas intactas</i>
<i>Solo residual</i>	<i>VI</i>	Solo com todos os traços da estrutura e textura destruídos	<i>Toda a rocha é alterada para solo. Estruturas e texturas destruídas.</i>

b. Erosão

Na literatura, são diversas as citações a fenômenos erosivos das mais diversas naturezas. Neste trabalho, buscou-se uma análise mais conceitual, baseada nos trabalhos de: WISLER & BRATER (1964); PONCE (1989); BARROW (1987); OLIVEIRA et al. (1987); WARD & ELLIOT (1995).

A erosão pode ser definida em função de dois principais agentes: os fenômenos naturais (ação das águas, vento, gelo) e o homem (acelerada ou induzida),

Em se tratando de processos naturais, a erosão pode ser classificada de três formas:

- (1) Erosão laminar (*sheet erosion*) – corresponde a ação do escoamento sobre as camadas mais superficiais, sendo a principal responsável pela degradação desses horizontes.

- (2) Erosão linear (*rill erosion*) – representa a remoção de material pela ação do escoamento superficial concentrado. Depende do escoamento superficial, da intensidade da chuva, da capacidade de infiltração do solo e do comprimento do declive.
- (3) *Gully erosion* – remoção de volumes significativos de material, produzindo depressões, caracterizadas como sulcos, ravinas ou boçorocas. Entenda-se que o processo cresce de sulcos para ravinas até atingir o nível de boçorocas, onde são observados processos erosivos resultantes de águas superficiais e subsuperficiais.

Estes processos dependem das características do escoamento superficial da bacia, da área drenada, das características do solo, da declividade do canal e do tamanho e forma do local onde o processo está ocorrendo.

O volume de material erodido pode ser calculado a partir da *VSLE - Equação Universal de Perda do Solo*, que apesar de ter sido desenvolvida para fins agrícolas, é de grande aplicabilidade no controle da erosão:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

A= perda de solo em t/ha

R= *fator chuva* – índice de erosão pela ação das chuvas

$$R = \sum E \cdot I$$

E= a energia cinética das chuvas;

I= a intensidade de chuva em 30 min.

K= *fator de erodibilidade do solo* – corresponde a resistencia do solo à erosão

L= *fator comprimento do declive*

S= *fator grau de declive*

L e S equívalem juntos ao *fator topográfico*, que corresponde à quantidade de solo removida de um declive de 9% e comprimento de 25m.

C= *fator uso e manejo* – relaciona as perdas de solo de um terreno cultivado e as perdas correspondentes a um terreno descoberto, nas mesmas condições.

P= *fator de prática do controle de erosão* – corresponde a relação entre as perdas de solo de um terreno em níveis topográficos distintos (um solo cultivado e o equivalente morro abaixo).

Os principais fatores que afetam a erosão do solo pela ação das águas fluviais são: o clima, tipo de solo (velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade de absorção de água, textura do perfil), a cobertura vegetal, e a

topografia. Destes, apenas o clima não pode ser controlado pelo homem (WARD & ELLIOT, 1995).

c. Transporte

Refere-se ao mecanismo de movimentação da carga de sedimento, se por gravidade, rolamento, em canais por suspensão ou carga de fundo.

A carga de material produzida por um canal de drenagem, pode ser representada pelo índice conhecido como SDR (*Estimation of Sediment Delivery Ratio*), que depende basicamente da área drenada pela rede de canais (PONCE, 1989). Onde:

$$SDR = 31,623 \cdot (10 \cdot A)^{-0,23} \cdot \left(\frac{L}{R}\right)^{-0,51} \cdot B^{-2,79}$$

A = área drenada (mi²)

L = comprimento medido paralelamente a principal drenagem (mi)

R = gradiente dos canais

B = relação de bifurcação

$$B = \frac{N_w}{(N_w + 1)}$$

N_w = número de canais de determinada ordem

$N_w + 1$ = número total de canais de ordem superior

A carga de material produzida e transportada pela rede de drenagem, é representada pelo o índice S (*Sediment Yield*) (PONCE, 1989). Onde:

$$S = 1645 \cdot (A)^{-0,16}$$

S – sedimentos produzidos (ton/ano)

A – área da bacia (mi²)

d) Deposição

A deposição de sedimentos, ocorre pela súbita perda de energia do canal ou quando no estado evolutivo do mesmo sua capacidade de transporte é superada e predomina a deposição.

Os principais fatores influentes são: o volume de material transportado; forma de transporte do material; as características físicas (texturais) e de alteração desse material. A capacidade do canal reter este material pode ser determinada a partir da capacidade total do reservatório e do *runoff* anual (PONCE, 1989).

2.3.3. Fatores Térmicos

O estudo de uma bacia hidrográfica compreende ainda a análise de seu balanço térmico, no qual intervêm não apenas o calor recebido pela radiação solar como também as trocas de calor entre o solo, a atmosfera, os lençóis de água subterrânea etc...(GARCEZ, 1988). A base do estudo dos fatores térmicos de uma bacia hidrográfica está no comportamento do ciclo hidrológico, que foi discutido no início deste trabalho.

2.4. METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

2.4.1. Considerações Gerais

A técnica de mapeamento geotécnico é utilizada desde 1902 quando, em Nova York (EUA), foi feita a caracterização geotécnica do substrato geológico, a partir dos dados de aproximadamente 1400 sondagens, com a finalidade de resolver problemas de engenharia. Em 1913, na Alemanha, durante a Exposição de *Leipzig*, diversos profissionais apresentaram propostas para o plano de construção de cidades alemães e uma delas foi a utilização do mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento urbano. Até o início da década de 50, os trabalhos caracterizaram-se por apresentar escalas grandes (maiores que 1:15.000), serem voltados para problemas específicos e estar ligados a obras de engenharia.

A partir da metade da década de 50 e principalmente durante os anos 60 e 70, houve um franco desenvolvimento das cidades, com o crescimento do setor industrial e conseqüentemente da necessidade de planificação e ordenação territorial, o que propiciou o amadurecimento da técnica, com a formulação de metodologias, sistemáticas e o desenvolvimento de novas tecnologias de investigação do solo e subsolo.

Segundo o guia da UNESCO (1976), o mapa geotécnico tem por objetivos:

1. *retratar informações necessárias para avaliar as feições geotécnicas envolvidas no planejamento regional;*
2. *prever possíveis variações do meio – físico e suas conseqüências;*
3. *apresentar informações de maneira tal que facilite o entendimento por profissionais usuários.*

E por finalidade principal: *fornecer a engenheiros e planejadores informações que os ajudem a projetar obras, de forma a manter a melhor harmonia possível com o meio físico.*

Após quase cem anos a finalidade e os objetivos do mapeamento geotécnico continuam os mesmos, tendo evoluído a maneira de empregar a técnica assim como os métodos de investigação utilizados.

Este desenvolvimento aconteceu gradativamente, tendo obtido maior expressão inicialmente nos países do leste europeu e em seguida na Europa Ocidental, Austrália e nos Estados Unidos da América.

Países como a Alemanha e as antigas Checoslováquia e URSS destacaram-se na produção cartográfica, voltada a resolução de problemas de engenharia e ao planejamento urbano. Na Europa, destacam-se os trabalhos realizados na França e Inglaterra, voltados principalmente a ordenação territorial tendo, a partir destes países, surgido importantes propostas metodológicas.

A formulação de metodologias que objetivassem sistematizar os trabalhos de mapeamento geotécnico, a fim do mesmo ser reconhecido em qualquer país, foi um passo extremamente importante, pois desta forma a técnica foi difundida com maior facilidade e empregada em diversos países, que procuraram adaptá-las às suas realidades. As que mais se destacaram no cenário internacional foram: a Metodologia Checa (MATULA, 1971), a Metodologia Francesa (SANEJOUAND, 1972), a Metodologia Espanhola (ABAD FEHNANDES et al., 1979), a Metodologia PUCE (GRANT, 1975) e a Metodologia IAEG (UNESCO, 1976) que, por apresentarem uma orientação ampla, serviram como ponto inicial para a elaboração de diversas outras metodologias e sistemáticas (Tabela 10).

O início do desenvolvimento do mapeamento geotécnico no Brasil data da metade da década de 50. Os principais objetivos, neste início foram sanar problemas relacionados principalmente a movimentos de massa e erosões, em estados como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O seu desenvolvimento deu-se através de institutos de pesquisa sediados em universidades (Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e do governo (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT).

Os trabalhos apresentados pelas universidades desenvolveram metodologias e sistemáticas de mapeamento, assim como empregaram as conhecidas internacionalmente (adaptadas às condições do nosso país), apresentadas na forma de teses, dissertações e artigos (Tabela 11).

Os institutos de pesquisa procuraram resolver os problemas mais imediatos, ligados à defesa civil, onde as sistemáticas de trabalho são estabelecidas através da experiência em situações críticas.

As metodologias Francesa e PUCE foram as mais trabalhadas no Brasil, devido à fácil manipulação da primeira e o forte cunho geomorfológico da segunda, aplicada principalmente nas regiões sul e sudeste.

A maior parte dos trabalhos conjugaram duas ou mais propostas, sempre filtrando aquilo que seria mais facilmente empregado em nosso país.

O surgimento de propostas aplicadas especificamente às condições brasileiras, iniciou-se com o desenvolvimento de sistemáticas para resolução de problemas locais: HABERLEHNER (1966), COULON (1974), PRANDINI (1974), são alguns exemplos de trabalhos que ensaiaram como utilizar o mapeamento geotécnico aplicado ao zoneamento de risco e ambiental.

Pode-se citar alguns autores que desenvolveram propostas metodológicas para as condições brasileiras, a nível regional ou de zonas climáticas: MACIEL FILHO & GASPARETTO (1987); ZUQUETTE (1987); COUTINHO et al. (1990); BROLLO et al. (1995, 1996); YOSHINAGA et al. (1995); DIAS (1995); BASTOS & SOUZA (1996).

2.4.2. Evolução dos Conceitos

Ao se avaliar como os conceitos evoluíram com o tempo, pode-se fazer uma análise comparativa entre as diversas propostas metodológicas, conhecidas internacionalmente, que surgiram nas décadas de 60 e 80 (Figura 21).

Analisando os conceitos de mapeamento geotécnico, observa-se que estes demonstram ter por finalidade principal o planejamento da ocupação do meio-físico, principalmente de centros urbanos em expansão, onde existe uma quantidade de obras de médio e grande porte, que necessitam de uma investigação do solo e sub-solo mais detalhada e ao mesmo tempo problemas relacionados à poluição de mananciais d'água e ao despejo de resíduos. O que as difere são: *os atributos levantados, os métodos de investigação, os tipos de documentos produzidos e as escalas de trabalho utilizadas.*

Atributos, zonas homogêneas, zoneamento, meio-físico, hierarquização e planejamento constituem as palavras chaves principais de todas as propostas analisadas, reforçando o fundamento básico do mapeamento geotécnico que é auxiliar os projetos de ocupação territorial através do maior e melhor conhecimento do meio onde se vive (Figura 22).

Tabela 10. Resumo das principais metodologias internacionais de mapeamento geotécnico.

Propostas	Histórico	Trabalhos
RUSSA	<i>Corresponde a uma coletânea dos trabalhos realizados pelo Serviço Geotécnico Soviético</i>	GOLODKOVSKAYA et al. (1968).
CHECA	<i>Representa o conjunto de conhecimentos acumulados no Leste Europeu, reconhecida tanto pelo COMECON (Conselho de Assistência Econômica Mútua) e quanto pela IAEG (International Association of Engineering Geology).</i>	MATULA (1971); MATULA & LETKO (1980)
KEIFER	<i>Seu objetivo era de orientar a instalação de centros industriais, residenciais e comerciais, produtos do desenvolvimento acelerado que os EUA sofreu durante a década de 60.</i>	KEIFER (1967)
ESPAÑHOLA	<i>Suruiu durante o pós-guerra, impulsionada pelo desenvolvimento urbano ocorrido nas décadas de 50 e 60</i>	ABAD FEHNANDES et al. (1979); ECHEVARRIA & PENA PINTO (1978).
PUCE	<i>Esta metodologia é bastante difundida em diversos países, tendo sido criada para resolver o problema de mapeamento geotécnico no continente australiano, onde as diferenciações naturais, dadas pelo relevo, topografia e tipo de vegetação e clima são marcantes, permitindo a franca utilização destas características no processo de delineação das unidades geotécnicas. Seu nome deriva das iniciais dos 4 quesitos básicos que a regem: PATTERNS (Padrão), UNITS (Unidade), COMPONENTS (Componente) e EVALUATIONS (Avaliação), do terreno.</i>	GRANT (1970, 1975)
FRANCESA	<i>Foi elaborada a partir de uma avaliação criteriosa de todos os trabalhos de mapeamento geotécnico realizados na França.</i>	SANEJOUAND (1972)
BRITÂNICA	<i>É considerada uma das metodologias mais completas, tendo sido produzida a partir de um conjunto de trabalhos reunidos por diversos profissionais, tendo como principal objetivo auxiliar as obras de engenharia civil.</i>	ANON (1972)
IAEG	<i>Conjunto de critérios publicados em boletins, que juntos fornecem todas as orientações necessárias para a realização e confecção de mapas e cartas, produtos de mapeamento geotécnico.</i>	UNESCO, 1976; MATULA et al., 1979; MATULA, 1981; PRICE, 1981
BOTTINO & CIVITTA	<i>Teve como principal objetivo orientar e auxiliar os trabalhos de planejamento urbano e construção de obras civis, na cidade de Turim (Itália).</i>	BOTTINO & CIVITTA (1976)

Tabela 11. Exemplos de aplicações de metodologias internacionais.

Metodologias		Referência autoral
EUROPA OCIDENTAL	Francesa	SIEGNMARTIN (1979); MACIEL (1977); ZUQUETTE (1981)
AUSTRÁLIA	PUCE	GANDOLFI & ZUQUETTE (1986); SOUZA (1992); MERICO (1989), MIO (1992)
IAEG		TAVEIRA (1986); VECCHIATO (1987)

	<i>O mapeamento geotécnico tem por finalidade...</i>
Russa	▪ <i>produzir documentos básicos para investigação geotécnica de uma região, através da análise, descrição e classificação de todos os fatores influentes para o meio – físico em estudo.</i>
Checa	▪ <i>representar os materiais através de sistemas hierárquicos (em função de uma ordem), que indiquem o seu grau de influencia no meio físico.</i>
Keifer	▪ <i>classificar os atributos do meio - físico em função do seu uso, definindo graus de ocupação e limitações.</i>
Espanhola	▪ <i>auxiliar e assessorar os estudos que visem o planejamento urbano e a orientação às obras de engenharia civil.</i>
PUCE	▪ <i>classificar e gerar uma hierarquização do relevo, com a definição de intervalos característicos que identifiquem e representem as unidades geotécnicas.</i>
Francesa	▪ <i>produzir documentos cartográficos que indiquem as melhores condições de uso e ocupação do meio físico, assim como fornecer informações específicas para obras de engenharia.</i>
Britânica	▪ <i>gerar mapas geológicos para engenharia e plantas geotécnicas, que forneçam informações descritivas, de classificação e de comportamento das unidades geotécnicas.</i>
IAEG	▪ <i>delinear zonas com base nas rochas e unidades de solo, caracterizadas a partir de um grau de homogeneidade baseado nas suas propriedades geotécnicas.</i>
Bottino & Civitta	▪ <i>orientar o processo de planejamento geral, estudar e proteger obras realizadas no sub-solo.</i>

Figura 21. Evolução dos conceitos na Europa Ocidental, Oriental, EUA e Austrália.

		<i>A metodologia ... consiste ...</i>	LESTE EUROPEU
Russa (ex. URSS)		▪ <i>em definir áreas chaves, através do estudo dos atributos do meio físico, cujos resultados possam ser extrapolados para áreas semelhantes.</i>	
Checa (ex. Rep. Checa)		▪ <i>na definição e superposição de um sistema de geofatores (atributos do meio – físico, que controlam o processo de ocupação.</i>	
EUROPA	Bottino & Civitta (Itália)	▪ <i>no ordenamento de documentos cartográficos, tendo o auxílio de programas computacionais.</i>	
	Espanhola (Espanha)	▪ <i>estudar o meio – físico através de um conjunto de documentos que vão deste o caracter mais geral ao específico, conforme a área e o objetivo do estudo.</i>	
	Francesa (França)	▪ <i>levantar os atributos do meio físico, analisá-los e classificá-los definindo zonas homogêneas ou aceitavelmente heterogêneas</i>	
	Britânica (Inglaterra)	▪ <i>na elaboração de mapas e plantas geotécnicas, para uso na engenharia.</i>	
AUSTRÁLIA	PUCE (Austrália)	▪ <i>realizar uma avaliação dos atributos do meio –físico através da classificação e hierarquização das formas de relevo, associando a informações do substrato rochoso, nível freático e tectônica.</i>	
EUA	Keifer (EUA)	▪ <i>classificar o terreno com base em seus atributos, definindo graus de ocupação (ótimo, satisfatória, marginal e insatisfatória)e suas limitações.</i>	
IAEG		▪ <i>gerar mapas geotécnicos, com base na associação de diversos outros documentos cartográficos como: mapas geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, estruturais, de material inconsolidado etc...</i>	

Figura 22. Fundamentos básicos de cada proposta metodológica.

2.4.2.1. Escalas utilizadas

A escala, utilizada em cada carta ou mapa, depende principalmente do objetivo do mapeamento, já implícito no tipo de documento gerado. Ela define o grau de informação do produto cartográfico se a nível de carta/mapa ou planta, que varia conforme a proposta adotada.

Simplificando existem basicamente três níveis de classificação:

↳ *Escala pequena;*

↳ *Escala média;*

↳ *E escala grande.*

Os limites variam, mais não diferem muito em cada proposta (Tabela 12).

Comparando-se os limites entre o que define uma escala pequena, média e grande, observa-se que estes variam principalmente conforme a finalidade do estudo e as dimensões e cultura de cada país onde a proposta foi fundamentada. Um exemplo bastante claro pode ser dado comparando-se os limites entre o que é definido como escala grande nas metodologias Russa e Britânica. O grau de desenvolvimento e as tecnologias de investigação disponíveis em cada país, também influenciam na escolha da escala.

2.4.2.2. Atributos levantados

A quantidade e a qualidade dos atributos ou características do meio físico, levantadas durante o processo de mapeamento geotécnico, são fundamentais para sua aplicação em obras de engenharia e projetos ambientais. Basicamente, existem dois grandes grupos de atributos: (1) *Gerais*; e (2) *Específicos*.

Os atributos gerais são os que devem ser levantados em qualquer estudo do meio – físico, dividindo-se em: *Geologia*; *Perfil de alteração*; *Hidrogeologia*; *Geomorfologia*. Analisando de forma mais geral, praticamente todas as metodologias estabelecidas enfocam o mesmo grupo de atributos gerais, diferindo exatamente no tipo e quantidade de atributos específicos.

Os atributos específicos são definidos a partir da finalidade de cada carta. A Tabela 13 relaciona as propostas metodológicas e os principais atributos gerais analisados.

Tabela 12. Escalas e produtos cartográficos gerados por cada metodologia.

Metodologias		Escalas e Finalidades					
		Pequena		Média		Grande	
EUROPA ORIENTAL	Russa	1:1.000.000 à 1:500.000	Mapas geotécnicos gerais	1:500.000 à 1:25.000	Mapas de zoneamento geotécnico	≥ 1:25.000	Mapas geotécnicos especiais
	Tcheca	1:100.000 à 1:50.000	Mapa de zoneamento de risco geológico	1:50.000 à 1:10.000	Mapa de zoneamento de risco geológico	≥ 1:10.000	Mapa de zoneamento de adequação e de recursos e proteção
EUROPA OCIDENTAL	Bottino & Civitta	≤ 1:50.000	Cartas de 1ª e 2ª ordem	1:50.000 à 1:25.000	Cartas de 2ª e 3ª ordem	≥ 1:25.000	Cartas de 4ª e 5ª ordem
	Espanhola	≤ 1:200.000	Mapa geotécnico geral	1:200.000 à 1:25.000	Mapa geotécnico básico	1:25.000 à 1:2.000	Mapa geotécnico seletivo
						≥ 1:2.000	Mapa geotécnico específico
	Francesa	1:100.000 à 1:50.000	Cartas de fatores normais e documentação	1:50.000 à 1:10.000	Cartas de fatores normais e documentação	1:10.000 à 1:5.000 ≥ 1:5.000	Cartas de fatores especiais e zoneamento
	Britânica	≤ 1:10.000	Mapas geológicos	1:10.000 à 1:5.000	Plantas geológicas	≥ 1:5.000	Plantas geotécnicas
AUSTRÁLIA	PUCE	1:250.000 à 1:25.000	Mapas baseados em províncias	1:25.000 à 1:2.500	Mapas baseados em padrões e unidades do terreno	≥ 1:2.500	Mapas baseados em componentes do terreno
IAEG		≤ 1:100.000	Mapas de finalidade especial e multifinalidade	1:100.000 à 1:10.000	Mapas analíticos, auxiliares e complementares	≥ 1:10.000	Mapas de condições geotécnicas e de zoneamento

Tabela 13. Principais atributos analisados em cada metodologia.

Metodologias		Natureza dos Atributos
EUROPA ORIENTAL	Russa	Geologia, material inconsolidado, hidrogeologia, hidrologia
	Tcheca	Geologia, material inconsolidado, hidrogeologia
EUROPA OCIDENTAL	Bottino & Civitta	Geologia, material inconsolidado, hidrogeologia, topografia, geomorfologia
	Espanhola	Geologia, geomorfologia, material inconsolidado, hidrogeologia
	Francesa	Geologia, material inconsolidado, hidrogeologia
	Britânica	Geologia, material inconsolidado
AUSTRÁLIA	PUCE	Geomorfologia, geologia, pedologia, material inconsolidado
EUA	Keifer	Geomorfologia, geologia, material inconsolidado
IAEG		Geologia, material inconsolidado, hidrogeologia, geomorfologia

2.4.2.3. Tipos de documentos produzidos

Representam os produtos cartográficos gerados pelo mapeamento, sua conceituação e utilização:

1. METODOLOGIA RUSSA

2. METODOLOGIA CHECA

3. METODOLOGIA KEIFER

4. METODOLOGIA ESPANHOLA

5. METODOLOGIA PUCE

6. METODOLOGIA FRANCESA

7. Metodologia Britânica

9. METODOLOGIA BOTTINO & CIVITTA

10. Metodologia IAEG

Em termos de classificação de cartas e mapas, observa-se basicamente duas divisões:

↳ *Mapas gerais;*

↳ *Mapas específicos*

Os mapas gerais traduzem os aspectos mais abrangentes do mapeamento geotécnico, enquanto que os específicos são direcionados para um determinado tipo de problema.

Em algumas propostas, os conceitos parecem confundir-se: a principal dúvida é em relação a utilização dos termos *mapa* e *carta*. O primeiro, é apresentado na literatura como “*a representação gráfica, em uma superfície plana associada a uma escala, das características naturais e artificiais, terrestres ou subterrâneas, relacionadas a um sistema de referência de coordenadas*”; o segundo como “*a representação dos aspectos naturais e artificiais da terra, destinados a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa da distância, direções e a localização geográfica de pontos, áreas e detalhes, geralmente em média ou grande escala*” (IBGE, 1987). Desta forma, um representa uma caracterização geral (mapa) e outro uma aplicação (carta). Em relação a utilização do termo *planta*, ao invés de carta ou mapa, é devida exclusivamente a escala de trabalho, que em algumas metodologias é maior que 1:10.000.

Analisando-se as subdivisões feitas, observa-se que cada autor (ou autores), buscou as que melhor permitissem caracterizar o meio – físico de seu país, exceção feita a metodologia IAEG, que procurou abranger o maior número possível de características, de modo que possa ser adaptada a qualquer país. Outro fator importante a ser mencionado, é o grau de informações arquivadas (banco de dados) desses países, que é levado em consideração no momento em que se define a escala de trabalho a ser utilizada e os possíveis documentos cartográficos a serem produzidos, a partir da análise e combinação dos demais. Em países como a Grã-Bretânia e a Itália, onde o nível de informação é elevado, trabalha-se a nível de plantas e cartas temáticas, tal o grau de detalhamento possível, não somente pelo mapeamento realizado, mas também pelo número de informações adquiridas anteriormente.

A metodologia que mais se afasta conceitualmente das demais é a PUCE, que faz uma divisão baseada na forma e gênese das feições do relevo e a partir desta são avaliadas suas características geotécnicas. O mapeamento pela PUCE se deu na Austrália de forma sistemática, permitindo o recobrimento de todo país, e como base para o desenvolvimento do processo de ocupação territorial.

2.4.3. Propostas e Sistemáticas Brasileiras de Mapeamento Geotécnico

2.4.3.1. Proposta metodológica empregada em mapeamento geotécnico no Rio Grande do Sul, segundo MACIEL FILHO & GASPARETTO (1987)

Esta proposta metodológica pode ser resumida da seguinte forma:

- (1) *Documentos utilizados*: mapa geológico, de material inconsolidado (ou formações superficiais), de declividade e de aptidões.
- (2) *Escala de trabalho*: 1:50.000 para os mapas base; 1:500 para os mapas geotécnicos de detalhe.
- (3) *Objetivo principal*: elaborar mapas que possam ser utilizados em projetos (obras de engenharia) e no planejamento em geral.

Nesta proposta, as informações contidas no mapa geológico são valorizadas, a ponto de ser feita uma descrição detalhada das unidades geológicas do ponto de vista estratigráfico (a nomenclatura geológica, em geral simplificada no estudo geotécnico, é considerada normalmente). O mesmo ocorre com as unidades chamadas de *pedo-estratigráficas*, onde as formações superficiais são classificadas e estudadas em termos de: *solos residuais*, *solos transportados* (*coluvionar*, *de depósitos fluviais e areias quartzozas*) e *latossolos*. A classificação geomorfológica está diretamente associada com as unidades *pedo-estratigráficas*, baseada na premissa que um grupo de solos que apresentam classificações e morfologias diferentes, ligados entre si pelas condições da topografia, possuem a propriedade de se repetir onde as condições do meio físico são semelhantes (GERRARD, 1992).

As unidades geotécnicas são desta forma definidas em função da geologia e geomorfologia, por exemplo:

- ↳ *unidade 1: planalto de vulcânicas ácidas*
- ↳ *unidade 2: terraços fluviais pleistocênicos*
- ↳ *unidade 3: peneplanície arenosa da Formação Santa Maria*

Os mapas de detalhe (escala 1:500) são gerados para utilização na elaboração de projetos, devendo fornecer sempre as informações necessárias aos cálculos, avaliações e dimensionamento de obras, contrariando o princípio que a cartografia geotécnica não deve substituir as investigações locais.

A Figura 23 ilustra a seqüência básica de atividades para geração de mapas e cartas geotécnicas segundo esta proposta.

Figura 23. Ordem das informações necessárias para elaboração da cartografia geotécnica, segundo a proposta de MACIEL FILHO & GASPARETTO (1987).

2.4.3.2. Proposta metodológica para as condições brasileiras, segundo ZUQUETTE (1987) – Escola de Engenharia de São Carlos/USP

Segundo esta proposta, o mapeamento geotécnico tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos (geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos) que compõem o meio-físico; tais informações deverão ser manipuladas de maneira tal que possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento e outros.

As informações devem 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.

A proposta organizada por ZUQUETTE (1987), visa a elaboração de mapeamento geotécnico preventivo e em regiões que não possuem informações básicas e que exigirão a produção (obtenção) de dados, desde os fundamentais até os específicos. Baseia-se em uma série de documentos gráficos sobre o meio-físico e que, associados a outros documentos relativos aos outros componentes do meio-ambiente, permitem uma avaliação da viabilidade de ocupação e consequentemente a priorização e hierarquização as áreas quanto a adequabilidades.

Os mapas e cartas temáticas são classificados por este autor em (Tabela 14):

I – Documentos Fundamentais Básicos: são documentos que registram as características dos componentes do meio físico, por meio da variação espacial dos atributos.

II – Documentos Fundamentais de Síntese: tem por objetivo sintetizar as informações de uma região.

III – Cartas Derivadas e Interpretativas: são o resultado da análise das características de cada divisão básica do meio em questão.

IV – Cartas Analíticas Básicas: relacionadas à avaliação da probabilidade (absoluta ou relativa) de ocorrência de um ou mais processos naturais.

V – Carta de Prognóstico de Riscos: leva em consideração a interação das características dos constituintes do meio – ambiente.

VI – Carta de Procedimentos quanto à Ocupação: tem por objetivo auxiliar o controle de riscos.

VII – Cartas de Viabilidade (potencial) para os Usuários: são elaboradas com base em todas as informações do meio – ambiente, considerando as relações entre os diferentes vetores de ocupação.

VIII – Cartas de Orientações Conclusivas: através delas são tomadas as decisões administrativas.

Os documentos fundamentais, interpretativos e analíticos básicos são elaborados a partir de um grupo de atributos, analisados por mecanismos que definem e auxiliam na determinação das unidades homogêneas. Os atributos a serem mapeados e as respectivas classificações dependem da finalidade do trabalho a ser realizado e a escolha adequada influenciará diretamente na eficiência, na qualidade e na possibilidade dos usuários utilizarem as informações.

Os principais mecanismos podem ser agrupados sobre três aspectos:

- (1) Baseados na densidade de informações: este procedimento é vantajoso quando existe uma densidade significativa de informações pontuais em uma região e que sejam de interesse ao mapeamento geotécnico.*
- (2) Baseados em documentos isolados para cada componente do meio – físico: é empregado quando existem documentos que retratem os componentes do meio-físico elaborados por diferentes equipes de profissionais, porém obedecendo a um controle de precisão de apresentação e do conteúdo que são avaliados por uma equipe multidisciplinar.*

Tabela 14. Esquema relacionando o nível de cada documento e as cartas e mapas correspondentes (ZUQUETTE et al. 1998).

NÍVEL DO DOCUMENTO	EXEMPLO DE DOCUMENTOS PRODUZIDOS	
I Documentos Fundamentais Básicos	<i>Mapa de Documentação</i> <i>Carta de Declividade</i> <i>Mapa de "Landforms"</i>	<i>Mapa da Bacia Hidrográfica</i> <i>Mapa do Substrato rochoso</i> <i>Mapa de Profundidade do Nível d'Água</i> <i>Mapa de materiais inconsolidados</i>
II Documentos Fundamentais de Síntese	<i>Mapa das Condições Geológico Geotécnicas</i>	
III Cartas Derivadas e Interpretativas	<i>Carta de Potencial à Erosão</i>	<i>Carta de Potencial ao Escoamento Superficial e Infiltração</i>
IV Cartas Analíticas Básicas	<i>Carta de áreas degradadas</i>	<i>Cartas das áreas de "hazards"</i>
V Carta de Prognóstico de Riscos	<i>Carta de Vulnerabilidade das Águas</i>	
VI Carta de Procedimentos quanto à Ocupação	<i>Carta de procedimentos construtivos e cuidados na implementação de obras de engenharia</i>	
VII Cartas de Viabilidade (potencial) para os Usuários	<i>Cartas de viabilidades (portos, aeroportos, construções)</i>	
VIII Cartas de Orientações Conclusivas	<i>Cartas de orientação a ocupação</i>	

(3) *Baseados em uma obtenção seqüencial de atributos: o desenvolvimento deste processo fundamentou-se na análise dos componentes do meio – físico segundo um esquema básico:*

(a) *o meio físico deve ser analisado com base em "landforms";*

(b) *os trabalhos de fotointerpretação e de campo devem ser executados a partir dos seguintes princípios:*

- *combinação de mecanismos qualitativos e quantitativos das observações fotointerpretativas e de campo;*
- *a elaboração de seções verticais que contenham todas as informações existentes como: topografia, geologia, pedologia e sondagens.*

(c) *no decorrer dos trabalhos de campo e fotointerpretação, pode ser fundamental, para o entendimento de uma região, a utilização de modelos, principalmente em escalas maiores ou iguais a 1:50.000.*

(d) *é necessária a hierarquização dos atributos para cada componente do meio físico, obedecendo uma seqüência adequada para o detalhamento da região em estudo.*

Segundo esta proposta, o processo de mapeamento geotécnico deve ser desenvolvido a partir de um conjunto de atributos analisados pela sequência da Figura 24.

Os trabalhos de ZUQUETTE (1987, 1993) e ZUQUETTE et al. (1997), trazem diversas tabelas ilustrando os principais atributos a serem considerados no estudo geotécnico. A Tabela 15 resume alguns destes.

A Figura 25 sistematiza todos os passos a serem cumpridos na elaboração da cartografia geotécnica, considerando o tipo e a quantidade de informações disponíveis e os documentos a serem gerados.

Figura 24. Análise sequencial básica de informações, segundo ZUQUETTE (1987).

Outro fator importante a ser definido em uma proposta metodológica, é a escala de trabalho a ser empregada. ZUQUETTE (1987) propõe 6 níveis de escala de trabalho (Tabela 16), com base em zonas de amplitude do relevo, na distância horizontal das curvas de nível, na equidistância entre as curvas de nível e no número de curvas de nível que podem ser agrupadas.

Tabela 15. Atributos relacionados ao substrato rochoso e aos materiais inconsolidados, modificado de ZUQUETTE et al. (1998).

TIPO	ATRIBUTOS	
SUBSTRATO ROCHOSO	<i>Tipo rochoso</i>	litologia (s) mineralogia espessura textura extensão horizontal resistência mecânica
	<i>Estruturas</i>	primárias
		secundárias
		fraturas
		Persistência Densidade Abertura
	<i>Processos</i>	grau de intemperismo movimentos de massa erosão deposição
MATERIAL INCONSOLIDADO	<i>Origem</i>	rocha de origem mineralogia espessura extensão horizontal texturas (seleção, granulometria, porosidade)
	<i>Estruturas</i>	da rocha do intemperismo matacões níveis de lateritas fraturas níveis de seixos
	<i>Processos</i>	erosão deposição grau de intemperismo movimentos de massa
	<i>Índices físicos</i>	
	<i>Características químicas</i>	
ÁGUAS	<i>Superficiais</i>	escoamento superficial infiltração densidade de canais área de concentração
	<i>Subterrânea</i>	áreas de recarga tipos de aquíferos fontes naturais
GEOMORFOLOGIA	<i>Morfometria</i>	declividade amplitude de relevo
	<i>Morfologia</i>	landforms comprimento de encostas

* Este procedimento é vantajoso quando existe uma densidade significativa de informações pontuais na região de interesse ao mapeamento geotécnico, não sendo este o caso da área de trabalho proposta, por isso optou-se pela aplicação do procedimento seqüencial básico.

** C.Z.G.E – Carta de zoneamento geotécnico específico;

*** C.Z.G.G – Carta de zoneamento geológico-geotécnico

Figura 25. Sistema de análise das informações, modificado de ZUQUETTE (1993).

Tabela 16. Escalas de trabalhos, em mapeamento geotécnico (ZUQUETTE et al., 1998).

<i>Escalas</i>	<i>Zonas com amplitude de relevo (m)</i>	<i>Distância horizontal entre as curvas de nível (mm)</i>	<i>Eqüidistância entre as curvas de nível (m)</i>	<i>Número de curvas de nível que podem ser agrupadas</i>
1:100.000	> 500	> 0.5	20	2
	500-200		20	2
	200-100	> 1	10	2
	< 100		10	2
1:50.000	> 500	> 0.5	20	2
	500-200		20	
	200-100	> 1	10	5
	< 100		10 – 5	
1:25.000	> 500	> 0.5	20	5
	< 500	> 1	10	
1:10.000	> 200	> 0.5	10	5
	200-100		5	
	< 100	> 1	1	
1:5.000	> 100	> 1	10	5
	< 100		2	
> 1:5.000	> 100	> 2	5	2
	< 100	> 1	1	2

2.4.3.3. Sistemática de definição de cartas geotécnicas básicas no Recife/ PE segundo COUTINHO et al. (1990)

Com forte influência da metodologia francesa, esta sistemática compreende basicamente a geração de três tipos de cartas:

- ↳ *Mapas analíticos;*
- ↳ *Mapas de aptidão;*
- ↳ *E de cartas geotécnicas.*

Os mapas analíticos representam uma conjugação dos fatores mais significativos para o estudo executado.

Os mapas de aptidão procuram sintetizar dos diversos fatores em termos de sua utilização.

E as cartas geotécnicas são aquelas que resumem as informações básicas do projeto.

Em termos de escalas são considerados dois tipos:

- ↳ *1:20.000 – escala para os mapas base*
- ↳ *1:10.000 – escala para os mapas específicos*

A Figura 26 ilustra a seqüência de informações analisadas para geração de cartas geotécnicas, segundo esta sistemática.

Figura 26. Análise seqüencial de informações, para geração de cartografia geotécnica, segundo a proposta de COUTINHO et al. (1990)

2.4.3.4. Proposta metodológica desenvolvida pelo Instituto Geológico (São Paulo), segundo BROLLO et al. (1995, 1996)

Esta proposta tem por objetivo a caracterização dos componentes do meio – físico, do seu uso e ocupação, abrangendo também as legislações pertinentes e as políticas públicas para o desenvolvimento municipal e regional, por meio de diagnósticos das aptidões do meio – físico e dos conflitos existentes entre a ocupação atual e futura. Como resultado, são feitas recomendações gerais e específicas para o planejamento do meio físico, divulgadas para a orientação, o treinamento e a capacitação dos múltiplos usuários do projeto.

O mapa de diagnóstico do meio – físico gerado é composto por unidades geotécnicas que resultam da análise integrada da geologia, do relevo e das fragilidades do

terreno e predominando, na qualificação das unidades, um ou outro parâmetro ou a integração de dois ou mais parâmetros e pelas aptidões mais destacadas, tais como, potencialidade mineral, zonas com melhor potencial para exploração de água subterrânea, as áreas mais adequadas para disposição de resíduos sólidos, proteção ambiental, problemas de mineração e/ou geotécnicos.

Esta metodologia é composta por 4 etapas (Figura 27): *Inventário; Diagnóstico; Prognóstico e Divulgação.*

1. *Inventário*: corresponde à caracterização dos componentes do meio – físico com a elaboração de mapas básicos ou descritivos; nesta etapa, prefere-se a utilização de escalas pequenas à médias (1:100.000 à 1:50.000);
2. *Diagnóstico*: envolve a formulação das aptidões com a elaboração de mapas interpretativos (representam as qualidades significativas do meio – físico relativas às potencialidades e susceptibilidades) e mapas de síntese (representam a análise integrada dos diversos fatores levantados); nesta etapa, prefere-se a utilização de escalas médias à grandes (1:50.000 à maiores que 1:25.000);
3. *Prognóstico*: contém as recomendações e diretrizes gerais e específicas para orientar a interferência e a ocupação do meio – físico e resolver os conflitos existentes; nesta etapa, prefere-se a utilização de escalas grandes (>1:25.000);
4. *Divulgação*: esta etapa se inicia ao mesmo tempo que as anteriores e prossegue após a finalização destas; compreende a divulgação dos resultados junto à comunidade e a adoção de esforços para que o trabalho seja utilizado no máximo de seu potencial.

2.4.3.5. Proposta de metodologia de definição de cartas geotécnicas básicas em regiões tropicais e subtropicais, segundo DIAS (1995) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Segundo esta autora as unidades geotécnicas correspondem a zonas de ocorrência de solos com perfis de origem e características físicas e morfológicas semelhantes, estimadas considerando a superposição de três cartas principais: geológica, pedológica e topográfica.

A seqüência de atividades está esquematizada no fluxograma da Figura 28. Alguns aspectos importantes dessa metodologia devem ser ressaltados:

- (1) *As variações de relevo e da geologia servem como indicadores das unidades geotécnicas;*
- (2) *No levantamento pedológico (perfis de alteração), há uma separação entre solos hidromórficos e não-hidromórficos. Inicialmente, os solos hidromórficos podem*

ficar em um grande grupo e depois serem separados e neste caso, são separadas as unidades situadas próximas a rios ou lagoas daquelas que ocorrem entre elevações. Nas depressões, são verificados os locais presentes em cotas mais altas, formando um microrelevo na zona aparentemente mais plana;

- (3) A classificação de uma unidade geotécnica é estimada utilizando a seguinte simbologia:

ABCxyz

Onde as letras *A* e *B* correspondem à classificação pedológica do horizonte superficial e as letras *C*, *x*, *y* e *z*, identificadoras da rocha são alterada.

As escalas de trabalho dependem do objetivo do mesmo, variando de 1:100.000, nos estudos mais gerais, à 1:25.000 nos estudos de detalhe.

DIVULGAÇÃO – Divulgação e orientação técnica à comunidade					
	INVENTÁRIO	DIAGNÓSTICO		PROGNÓSTICO	
Estudo dos componentes do meio físico	SUBSTRATO ROCHOSO <i>Mapa geológico</i>	Estudo das aptidões do meio físico	<i>Disponibilidade de recursos naturais</i>	<i>Recomendações para solução de conflitos do meio físico, diretrizes de manejo de medidas mitigadoras; definição de projetos de detalhe.</i>	
	RELEVO <i>Mapa geomorfológico</i>		<i>Condições de comportamento</i>		
	SOLO <i>Mapa de materiais inconsolidados</i>		<i>Condições de susceptibilidade</i>		
	CLIMA <i>Mapa de unidades climáticas</i>	Avaliação do potencial dos terrenos e análise de conflitos	<i>Mapa de diagnóstico do meio físico</i>		
Análise espacial do uso e ocupação do solo	MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO				

Figura 27. Metodologia utilizada pelo Instituto Geológico (SP), segundo BROLLO et al. (1996).

Figura 28. Fluxogramas de atividades, para a proposta de DIAS (1996).

2.4.3.6. Análise comparativa das metodologias

Comparando-se as propostas analisadas, observa-se que elas diferem basicamente quanto ao tratamento das informações e à ordem dos atributos levantados.

A escala de trabalho, em geral obedece ao seguinte critério: pequena ($< 1:100.000$); média ($1:100.000$ a $1:50.000$); e grande ($> 1:50.000$).

Alguns autores consideram escalas extremamente grandes ($1:5000$, $1:500$) para mapas de detalhe, e até $1:20.000$ para mapas base, o que segundo ZUQUETTE et al. (1998), não é correto, pois o mapeamento geotécnico não pode substituir o processo de investigação local em uma obra de engenharia e sim orientá-lo.

As etapas de trabalhos seguem uma seqüência que pode ser resumida na Figura 29. As diferenciações ocorrem conforme a disponibilidade de informações, a morfologia da região estudada e as características de ocupação. Desta forma, o processo depende em primeiro plano das condições físicas disponíveis, exigindo que o geotécnico busque a proposta metodológica ou sistemática que melhor se adapte às suas condições de trabalho.

Os tipos de tratamento de informação mais utilizados são:

1. *Sobreposição Simples*: representa a simples conjugação de mapas, através de sobreposições sucessivas.

2. *Árvore lógica*: os atributos são definidos e postos em um sistema lógico que depende do tipo de documento que será produzido.
3. *Hierarquização*: os atributos são analisados em um sistema hierárquico em função do objetivo do mapeamento.
4. *Matrizes*: os atributos são avaliados com base em um sistema de matrizes segundo seu grau de influência para o evento. .

No geral, não é especificado um tipo de mecanismo e sua utilização varia com o tipo de documento produzido, a escala de trabalho e a quantidade/qualidade das informações disponíveis. Optando-se por maior detalhamento nas cartas mais específicas, onde um grupo atributos define o caracter do documento.

Os atributos mais considerados na geração de cartas geotécnicas podem ser avaliados por meio da seqüência de documentos estudados:

- MACIEL FILHO & GASPARETTO (1987): priorizam o mapa geológico, levando em consideração a nomenclatura geológica, considerada confusa para a maioria dos profissionais que trabalham com o meio físico.
- ZUQUETTE (1987): para este autor, o estudo dos *landforms* é fundamental no mapeamento geotécnico, pois através dele são delineadas as unidades em termos de material inconsolidado e geologia.
- COUTINHO et al. (1990): trata de forma igual todos os atributos, para geração das cartas básicas, priorizando um ou outro nas cartas específicas.
- BROLLO et al. (1995, 1996): analisa os atributos pela seguinte ordem – substrato rochoso, relevo, solo e clima, buscando a interação entre eles e os efeitos da ocupação do meio – físico.
- DIAS (1995): as unidades geotécnicas são definidas principalmente em função da geologia e do tipo de solo.

Como pode ser observado, a escolha do tipo e ordem dos atributos, assim como o principal aspecto (geologia, geomorfologia, solo) que será utilizado para definir as unidades geotécnicas, variam em cada proposta, definindo dois grupos:

☞ *as unidades geotécnicas são classificadas em função de um ou dois aspectos: geologia/solos ou solos/geomorfologia.*

☞ *as unidades geotécnicas são classificadas em função da análise conjunta de todos os atributos.*

Estes grupos dependem da escala de trabalho e das características físicas da área estudada. Portanto, a melhor forma será aquela que mais se adapta ao trabalho a ser realizado. Em áreas muito limitadas quanto à quantidade de informações coletadas

(fotografias áreas em escalas pequenas, topografia plana, ausência ou escassez de bons perfis em campo), tem-se que optar por classificar as unidades em função de um número bastante limitado de fatores. Quando a quantidade de atributos disponíveis é significativa, assim como os meios de investigação oferecem uma grande variedade de informações, não há como centralizar a investigação em função de apenas alguns aspectos, devendo ser a mais completa e aplicável possível.

O fundamental, no estudo do meio-físico, é compreender e avaliar a importância de todos os seus atributos relacionados a um tipo de aplicação, tais como, obras de engenharia, planejamento territorial, pesquisa científica ou proteção ambiental; quanto mais facilmente profissionais de outras áreas compreenderem as informações contidas nas cartas, maior será a chance do trabalho gerado ser empregado e fornecer resultados positivos.

Figura 29. Fluxograma ilustrando a sequência básica de qualquer atividade de mapeamento geotécnico.

Capítulo III

Métodos de Trabalho

3.1. ASPECTOS GERAIS

O procedimento metodológico adotado neste estudo, consiste em etapas de trabalho de escritório, de laboratório e de campo tendo como base fundamental, a adoção de critérios chaves e específicos que obedeçam uma hierarquização de atributos de modo a evitar a definição de unidades que refletirão pouco ou nada do desejado, na elaboração dos documentos cartográficos.

ZUQUETTE (1993) propõe um esquema hierárquico para a análise sequencial de informações e outro para a divisão básica da região em bacias hidrográficas. O sistema utilizado, neste trabalho, foi a união desses dois modelos, levando em consideração suas limitações quanto à escala, à área de estudo e aos fatores físicos da região tratada.

Conforme mencionado, esta pesquisa tem como parte de seus objetivos a produção de mapas e cartas temáticas, classificadas segundo ZUQUETTE (1993) em:

- I – Documentos Fundamentais Básicos: são documentos que registram as características dos componentes do meio físico, por meio da variação espacial dos atributos (Mapa de Documentação, Mapa do Substrato Rochoso, Mapa de Materiais Inconsolidados, Mapa de *Landforms*, Mapa de Bacias Hidrográficas, Carta de Declividade).
- III – Cartas Derivadas e Interpretativas: são o resultado da análise das características de cada divisão básica do meio em questão (Carta de Zoneamento Geotécnico Geral, Carta de Susceptibilidade à Erosão, Carta de Potencial ao Escoamento Superficial).

Os mapas e cartas produzidos seguiram as propostas metodológicas e procedimentos já executados por outros autores (ZUQUETTE, 1987, 1993; PEJON, 1992; NISHIYAMA, 1998; GUERRA, 1998). A escolha por esses autores deve-se ao fato de:

- ✓ *seguirem a mesma proposta metodológica (ZUQUETTE, 1987);*
- ✓ *apresentarem formas alternativas para elaboração das cartas, de fácil aplicação, de resposta imediata e de confiabilidade.*

A Figura 30 resume todos os procedimentos adotados no decorrer deste trabalho e os documentos produzidos são a seguir comentados, de forma a esclarecer quais os critérios considerados em sua elaboração.

✓ Mapa de Documentação (ANEXO I)

Este documento objetiva localizar em mapa pontos de referência, de amostragem, de observação, poços, em suma todas as informações que possibilitem visualizar de forma clara a disposição espacial das informações contidas no trabalho.

✓ Carta de Declividade

Na confecção deste documento, leva-se em consideração as informações fornecidas pelo mapa topográfico, consistindo basicamente em delimitar sobre o mesmo áreas que apresentem valores de inclinação do terreno dentro de um mesmo intervalo ou classes de declividade (NISHIYAMA, 1998). Os limites dos intervalos de declividade são previamente escolhidos em função:

- *da escala do mapeamento; neste caso, 1:50.000, obedecendo algumas condições limites referentes à escala do mapa topográfico disponível (1: 50.000); (Tabela 17)*
- *da inclinação do terreno;*
- *da finalidade da carta;*
- *e dos valores limites de declividade para o melhor aproveitamento da área em questão.*

Tabela 17. Condições para elaboração de cartas de declividade a partir de mapas topográficos (ZUQUETTE et al. 1998).

Escala dos mapas topográficos	Zonas com amplitudes de relevo (m)	Distância horizontal entre as curvas de nível (cm)	Eqüidistância entre as curvas de nível (m)	Número de curvas de nível que podem ser agrupadas
1: 50.000	> 500	> 0,5	20	2
	200 – 500		20	2
	100 – 200	> 1	10	2
	< 100		10/5	5

Figura 30. Fluxograma com os procedimentos adotados e das atividades desenvolvidas.

Figura 30 (continuação). Fluxograma com os procedimentos adotados e das atividades desenvolvidas.

✓ Mapa de Bacias Hidrográficas

A confecção deste documento baseia-se fundamentalmente:

- na interpretação de fotografias aéreas em escala 1: 60.000 e 1: 25.000;
- e na classificação e hierarquização segundo STRAHLER (1952).

✓ Mapa de *Landforms*

Segundo LOLLO & ZUQUETTE (1996), a associação entre as feições do relevo (*landforms*) e os materiais do meio físico baseia-se na avaliação do terreno (*terrain evaluation*), que consiste basicamente na delimitação das feições de relevo reconhecidas na área estudada e de sua interpretação em termos de materiais associados. Nesta análise, é utilizado o conceito de níveis hierárquicos, definidos em sistemas de terreno (*land system*), unidades de terreno (*land unit*) e elementos de terreno (*land element*) de acordo com o grau de detalhamento da análise efetuada, das dimensões dos *landforms* caracterizados e da escala considerada.

Na confecção desta carta, são utilizados trabalhos de fotointerpretação (mais importante) e de campo, para confirmação.

✓ Mapa do Substrato Rochoso e Materiais Inconsolidados

Estes mapas são confeccionados utilizando-se trabalhos de escritório, como análise de mapas e de bibliografias que possam fornecer esse tipo de informação, fotointerpretação de fotografias aéreas e atividades de campo, que utilizam critérios de classificação textural e composicional (PRICE, 1993; Tabela 9 - Capítulo II) para separar substrato rochoso de material inconsolidado.

✓ Carta de Zoneamento Geológico-Geotécnico

O princípio básico desta carta está fundamentado em três procedimentos básicos (ZUQUETTE, 1993):

- sobreposição de informações dos mapas do substrato rochoso, dos materiais inconsolidados e de *landforms* - onde por meio da definição de um grupo de atributos (*textura, espessura, gênese dos materiais inconsolidados, declividade e tipo de substrato rochoso*), são delineadas zonas ou unidades que apresentam semelhanças em suas propriedades.
- hierarquização dos fatores e atributos - neste caso, as unidades são definidas após ter ocorrido uma hierarquização dos atributos, considerando a escala, a finalidade e os componentes do meio físico.
- ou pela combinação de procedimentos - onde são combinadas duas ou mais formas de caracterização do meio físico de acordo com as possibilidades e finalidades do projeto.

✓ Carta de Potencial ao Escoamento Superficial e Potencial à Infiltração

Para carta de escoamento superficial, seguindo a proposta de PEJON (1992), são considerados os seguintes atributos na sua confecção:

- *declividade e tipo de superfície;*
- *litologias presentes;*
- *materiais inconsolidados (textura, gênese, espessura e permeabilidade);*
- *densidade de drenagem;*

São atribuídos pesos aos atributos considerados e que serão tanto maiores quanto maior for sua influência no processo de escoamento superficial. Os mesmos procedimentos e atributos são efetuados também na confecção da Carta de potencial à Infiltração.

✓ Carta de Susceptibilidade à Erosão

OLIVEIRA et al. (1987) e PEJON (1992) adotaram, para confecção desta carta como atributos do meio físico, as características dos materiais inconsolidados, do substrato rochoso e o potencial ao escoamento superficial. Com base nestes fatores, é realizado o zoneamento em função das áreas de maior à menor potencial à erosão como produto do escoamento concentrado.

3.2. ATIVIDADES PRELIMINARES (PRÉ-CAMPO)

Na metodologia aplicada, esta etapa compõe-se das seguintes fases:

1. PLANEJAMENTO: envolve o estudo aprofundado do projeto de pesquisa elaborado, detalhamento e avaliação dos objetivos e da proposta metodológica adotada.
2. ELABORAÇÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: corresponde à pesquisa em diversas fontes a cerca do tema proposto no projeto e elaboração de um texto contendo todas estas informações.
3. LEVANTAMENTO DE DADOS: envolve a obtenção de relatórios de sondagens, fotografias aéreas, perfis de poços, material cartográfico, imagens de satélite, projetos realizados em áreas próximas ou na área, etc...
4. FOTOINTERPRETAÇÃO E CARTOGRAFIA PRELIMINAR: corresponde a um trabalho de fotointerpretação de fotografias aéreas, com o objetivo de gerar a cartografia preliminar (mapa fotogeológico, de *landforms* e da drenagem), que auxiliam as atividades de campo.

3.3. ATIVIDADES DE CAMPO

Neste trabalho, foi realizada em duas etapas:

1. ATIVIDADE DE CAMPO (I): envolve trabalhos de curta duração objetivando a complementação do levantamento das características gerais da área de estudo. Na Figura 31, tem-se um modelo preliminar de ficha de campo utilizada.
2. ATIVIDADES DE CAMPO (II): envolve a realização de trabalhos sistemáticos de campo com amostragem, confirmação dos dados existentes e a coleta de informações mais direcionadas, que auxiliem na elaboração dos documentos cartográficos.

3.3.1. Amostragem

Em relação à amostragem realizada, foram utilizadas informações fornecidas pelo mapa de *landforms*, o que permitiu uma melhor seleção das áreas a serem amostradas, assim como reduzir o número de amostras por unidade de área. A mesma processou-se em duas etapas, na primeira foi feito um reconhecimento preliminar das unidades e na segunda a confirmação das mesmas.

O resultado mostrou-se aceitável para a área estudada, em virtude das seguintes características observadas:

- *Toda região compunha-se de apenas duas unidades: Formação Itararé e Formação Serra Geral; com três tipos litológicos principais, a saber siltitos, arenitos e basaltos; estando os dois primeiros em constante alternância tanto vertical quanto lateral;*
- *Para a avaliação da área em termos geotécnicos, não foi feito um estudo detalhado das litologias presentes, como em SOUZA FILHO (1986), trabalho este que trata de forma minuciosa todas as variações litológicas (e faciológicas) do Subgrupo Itararé (denominação adotada em SOARES et al., 1977; isto se justifica por optar-se em tratar a identificação das unidades presentes da forma mais simplificada e adequada ao estudo geotécnico;*
- *Foram identificadas quatro unidades de landforms, pertencentes a um único sistema representado pela bacia hidrográfica; com predomínio de baixas declividades (< 4%);*
- *grande cobertura do terreno por plantações de cana-de-açúcar (fator de dificuldade, mesmo com a realização de algumas amostragens à trado manual);*
- *como estava-se utilizando sistemáticas já empregadas e testadas em diversos trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico, não houve a preocupação de testar qualquer parâmetro ou fundamento com base em análises quantitativas, portanto procurou-se avaliar qualitativamente os materiais e comprovar através da determinação de suas características físicas;*

▪ *Caso as condições da área e a forma de avaliação fossem diferentes, a sistemática adotada teria que ser revista.*

✱ Como resultado, por unidade de *landform*, foram retiradas 7 à 8 amostras e realizadas observações em 15 à 16 pontos, números inferiores ao estabelecido por ZUQUETTE (1987), porém mantendo a representatividade.

3.4. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

3.4.1. Ensaios realizados

Baseado na metodologia de ZUQUETTE (1987), foi realizado um grupo de ensaios em laboratório com a finalidade de melhor caracterizar os materiais inconsolidados da região e auxiliar no zoneamento geotécnico da área, consistindo basicamente em:

⇒ Sedimentação;

▪ *Objetivo: classificação quanto à granulometria e determinação do percentual de argila;*

⇒ Massa específica dos sólidos (ρ_s); Massa específica seca de campo ($\rho_{d\text{campo}}$);

▪ *Objetivo: caracterização dos materiais a partir da determinação dos índices físicos;*

⇒ Azul de metileno;

▪ *Objetivo: estimar as propriedades da fração fina dos materiais;*

Os ensaios utilizados para determinar a erodibilidade dos materiais foram os já empregados por PEJON (1992), com base nos trabalhos de NOGAMI & VILLIBOR (1979). Estes são basicamente:

⇒ Absorção de água e;

⇒ Perda de água por imersão.

.DATA / /				FICHA DE CAMPO				N.			
Coord N:		Localização:		Faixa de voo:		n. de amostras:		Sondagem:			
Coord S:		Situação:		Foto aérea:		Tipo:		Poço:			
Altitude:		Tipo de afloramento:		Ponto de referência:		Posição:		Empresa:			
Substrato Rochoso											
Tipo litológico		Clas. Estratig.		Tip. Geotecn		Cor		Geometria		Extens. lat. e espess.	
Material Inconsolidado											
Origem		Cor		Ext. lat. e espes		% arg.		% areia		Estruturação	
										Ass. pedológica	
										Superfícies: espes.(cm)	
										Seixos:	
										Lateritas:	
										frag da roch:	
Intemperismo											
Estruturação		Cor		Desagregação		Espessura		Tipo		Agente: eol.	
presente		da rocha		com a mão		A - C -		Quim		Antrop.	
parcialm. present		descolorido		com o martelo		B - D -		Fis		Aluv.	
ausente								Ambos		Eluv.	
% de alteração rocha		Mineralogia		Porosidade		Permeabilidade		Resistência		Perfil típico	
toda										ST	
± ¼										SR	
± ½										CA	
± ¾										AA	
0										MA	
										LA	
										FA	
										RS	
Juntas em rochas ígneas		LANDFORM ASSOCIADO									
Proporção											
toda											
± ¼											
± ½											
± ¾											
0											
Juntas em rochas sedimentares		ESBOÇO									
toda											
± ¼											
± ½											
± ¾											
0											
PERFIL TÍPICO DA ENCOSTA											
Traços Estruturais											
Tipo		Orientação		Persistência (m)		Exsudação de água		Frequência/m²			
juntas		Junt		<1		>5		Aus.			
falhas		Falh		1-3				Pres.			
Folia.		folia		3-5							
Processos geodinâmicos associados											
Erosão:		Assoreamento:		Escorregamentos:		Inundação		Outros:			
laminar		Tip. relev.		Bc. Influyente		Decliv.		Bc. Influyente			
voçoroca		Tip. Solo.		Decliv.		Esp. e Extens.		Altura med.			
linear		Decliv.		Ação antrop.		Rochs. Fonts.		Tip. canal			
outros		Ação antrop.		Espess.		Agentes		Período			
Local.		Esp. erod.		Local.		Local.		Local.			
Geomorfologia											
Formas de relevo		Form. encostas		Form. Vale		Contr. estrutural		Área		Estágio	
Morros		conc-ret-conv		U		ausente				Jov	
colinas		convexa		V		presente				Mad.	
planas		côncava		Plan		Tipo				Senil.	
encostas		conc-conv		Depres.		Litol.				100-300	
vales				encosta		Orient.				>300	
Drenagem superficial											
Ordem		Traçado		Feições associadas		Tipo de Fluxo		Obras associadas		Nascentes	
Can.		retilíneo		assoramento		permanente		canais		presente	
Bac.		anostom.		erosão		temporário		barragens		ausente	
		sinuoso		Plan. inund				irrigação		Local.	
		misto		delta				cordões de nível		Esboço	
subsuperficial											
Poços n.		Prof. do NA		Tip. Litol. do perf.		Tip. Poço		Local.		Feição do rel assoc.	
Feições do tectógeno											
Área de aterro ou entulho:				Áreas ocupadas:				Área industrial: tipo:			
Área de exploração de material para construção civil:				município _____ vilarejo _____				Estradas:			
Área de exploração mineral:				Rural _____ urbana _____				Mata reflorestada			
Depósitos de detritos junto a canais de drenagem:				industrial _____				Mata virgem:			
								Zonas de plantio: Tipo:			

Figura 31. Ficha de campo utilizada nos trabalhos.

3.5. ATIVIDADES CONCLUSIVAS

Representam a finalização dos trabalhos, constando de:

1. CARTOGRAFIA E FOTOINTERPRETAÇÃO FINAL: envolvem a determinação e delimitação final das unidades para a elaboração dos documentos cartográficos.
2. ANÁLISE E AVALIAÇÃO DAS INFORMAÇÕES PRODUZIDAS E DOS DOCUMENTOS ELABORADOS
3. ELABORAÇÃO DA DISSERTAÇÃO: corresponde à preparação do texto final, contendo os objetivos, a metodologia aplicada, os resultados obtidos, uma avaliação crítica da proposta metodológica aplicada e dos documentos produzidos e as conclusões.

3.6. PROCEDIMENTOS ADOTADOS UTILIZANDO O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

3.6.1. Programa utilizado e sistemática adotada na geração de cartas derivadas e interpretativas

O sistema utilizado foi o IDRISI, desenvolvido pela *Clark University/EUA*, que é um aplicativo projetado para ser fácil de usar, voltado ao processamento de imagens, com capacidade analítica em computadores pessoais. Abrange banco de dados para modelamento de espaço, de imagem e classificação. São incluídas instalações especiais para monitoramento ambiental e administração de recursos naturais, inclusive mudança e análise de série de tempo (*multi-criterial*) e apoio de decisão (*multi-objetivo*), análise de incerteza e modelamento de simulações. Não é um único programa, mas uma coleção de módulos de programas, onde cada módulo lê dados tipicamente de disco, executa e manipula os dados.

Na geração das cartas derivadas e interpretativas, foram utilizados dois procedimentos principais: tratamentos matemáticos por equacionamentos realizados no IDRISI e a sistemática de GUERRA (1998). Esta última refere-se à manipulação de documentos básicos, com atribuição de pesos que irão representar a influência de cada atributo considerado no processo.

O modelamento dos dados constou basicamente da utilização de matrizes, onde foram atribuídos pesos aos atributos e pela conjugação destes pesos, chegou-se ao produto final.

3.6.2. Procedimentos adotados na geração de cartas derivadas e interpretativas

3.6.2.1. Tratamentos matemáticos

Os tratamentos matemáticos consistem na utilização de módulos e comandos no ambiente IDRISI que realizam automaticamente cálculos e relações, antes efetuados manualmente. Estes foram usados principalmente na geração das cartas de declividade, de extensão do percurso d'água superficial e no tratamento morfométrico de bacias hidrográficas, onde serão detalhados.

3.6.2.2. Procedimento de GUERRA (1998)

O procedimento adotado por GUERRA (1998) apresenta as seguintes etapas:

a) *Seleção das cartas básicas e interpretativas* - realizada com base no objetivo do estudo, ou seja elas devem conter os principais atributos que irão influenciar no evento avaliado:

- ⇒ Cartas básicas - Ex: Mapa da rede de drenagem, mapa topográfico
- ⇒ Cartas interpretativas - Ex: Carta de declividade.

b) *Ponderação das unidades*

As cartas básicas e interpretativas ao serem introduzidas no sistema já apresentam suas unidades discriminadas por identificadores:

- ⇒ Mapa do substrato rochoso: Unidade 1 – identificador 1; Unidade 2 – identificador 2

A seguir são estabelecidos pesos em função da importância de cada unidade para o dado evento. Segue-se a lógica de quanto maior for a influência maior será o peso.

Foram definidas seis classes:

Pesos	Categorias
0	nula
1	muito baixa
2	baixa
3	moderada
4	alta
5	muito alta

No caso do exemplo anterior:

- ⇒ Mapa do substrato rochoso:

Unidades de substrato rochoso	Identificador	Categorias	Peso segundo sua influência para o evento
Unidade 1	1	muito baixa	1
Unidade 2	2	baixa	2
Unidade 3	3	moderada	3
Unidade 4	4	moderada	3
Unidade 5	5	alta	4

Para atribuir cada peso são efetuados os seguintes comandos:

Como no ambiente IDRISI são gerados sempre valores de 0 à 255, é necessário padronizar os pesos definidos, por meio de outro recurso que permite a redistribuição dos valores correspondentes às cartas básicas e interpretativas (comando STRECH do módulo *Analysis/Decision Support*).

c) *Elaboração da matriz de correlação*

Com isso, são avaliados os grupos de documentos a serem combinados. Neste momento, para visualização do contexto analisado, pode-se utilizar outra forma de combinação de atributos, como a árvore lógica, hierarquização...

Para citar um exemplo pode-se analisar os atributos mais significativos para elaboração da carta de vulnerabilidade da zona saturada por resíduos industriais:

<i>Carta de vulnerabilidade da zona saturada por resíduos industriais</i>	
Grau de influência para o evento ↑ + peso ↓ - peso	<i>Material inconsolidado</i>
	<i>Profundidade da zona saturada</i>
	<i>Localização das fontes poluentes</i>
	<i>Potencial à Infiltração</i>
	<i>Substrato rochoso</i>

d) *Determinação dos pesos das características básicas e interpretativas*

Nesta etapa são atribuídos pesos a partir de uma escala de valores relativos, que variam desde os extremamente menos aos extremamente mais importantes. Para isso recorre-se ao seguinte procedimento:

O comando WEIGHT é utilizado para estabelecer uma relação entre os parâmetros por meio de uma matriz de correlação. O resultado apresenta valores variando de 0 a 1. Para verificar se a matriz estabelecida é possível, é calculado pelo programa uma taxa de consistência, que quanto mais próxima de zero melhor será a matriz definida, porém deve-se considerar principalmente a distribuição dos valores segundo a situação estudada.

A escala relativa de valores utilizada na matriz de correlação está melhor representada na Figura 32.

Figura 32. Escala de valores adotada pelo IDRISI.

e) Realização da avaliação por critérios múltiplos

No ambiente IDRISI utilizando o comando MCE (módulo *Analysis/Decision Support*), são equacionados os valores pré-determinados na matriz elaborada. O termo MCE significa *multi-criterial evaluation* ou **avaliação por critérios múltiplos**, neste os pesos relativos estabelecidos pelo comando WEIGHT são avaliados conjuntamente para geração do produto final:

⇒ É aberta uma janela onde são solicitados os mapas (e/ou cartas) analisados e seus respectivos graus de influência

⇒ Caso aja algum fator restritivo, este deve entrar como **constraints**, o que o deixará fora da análise conjunta das informações.

f) Elaboração do produto final

O mapa final gerado é primeiramente reclassificado (comando RECLASS do módulo *Analysis/Database Query*) e em seguida exportado (formato arquivo BMP) para tratamento gráfico em ambiente COREW DRAW (versão 9), onde é editado na sua forma final.

Com o objetivo de auxiliar o processo de reclassificação pode ser utilizado um histograma de valores fornecido pelo programa, seja em intervalos por ele definidos ou pelo usuário. Este encontra-se no módulo *Display* comando HISTO.

O processo de reclassificação deve obedecer principalmente a representatividade das unidades em área e estar coerente com as observações de campo.

Capítulo IV

Análise Morfométrica

4.1. APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

4.1.1. Considerações Gerais

O geoprocessamento pode ser definido, segundo RODRIGUES (1990), como um conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais, de desenvolvimento e uso de sistemas que as utilizam.

CÂMARA & SIMÕES (1996) o descrevem como um ramo do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais no tratamento de informações geográficas, sendo suas ferramentas computacionais denominadas de Sistemas de Informação Geográfica – SIG, correlacionando o geoprocessamento diretamente com o conceito de SIG's.

Basicamente, o geoprocessamento consiste no armazenamento de dados, com possibilidade de consulta, atualização e manuseio. Essas características são intimamente ligadas ao seu caráter georeferenciado.

RODRIGUES (1990) classifica os sistemas de geoprocessamento em dois tipos:

- ❑ sistemas aplicativos: são sistemas computacionais voltados para a representação de entes de expressão espacial, que tem por objetivo a realização de tarefas (projetos, mapeamentos).
- ❑ sistemas de informações: são voltados para a coleta, armazenamento, recuperação, manipulação e apresentação de informações sobre entes de expressão espacial e sobre o contínuo espacial. Tipicamente, tais sistemas suportam atividades de gerenciamento, manutenção, operação, análise e planejamento, sendo conhecidos em geoprocessamento como Sistemas de Informação Geográfica.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são os responsáveis pelo georeferenciamento dos bancos de dados em geoprocessamento, apresentados na literatura como:

- ☐ reconhecimento das relações espaciais entre os objetos do mapa e um sistema de coordenadas (RAPER, 1989);
- ☐ sistemas destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente; esses sistemas manipulam dados de diversas fontes, como mapas, imagens de satélite, cadastros e outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análise sobre os dados (ALVES, 1990);
- ☐ sistema automático para armazenamento, análise e apresentação de um modelo geográfico, sendo composto por quatro segmentos: (1) *input – entrada de dados*; (2) *gerenciamento – armazenamento e recuperação de dados*; (3) *processamento – manipulação, realce e classificação*; (4) *output – mapas temáticos* (GUPTA, 1991);
- ☐ agrupamento de equipamentos e programas de computadores, os quais permitem entrada, edição, armazenamento, questionamento, acesso de informações, transformações, análise, demonstração e impressão de informações espaciais (JIMENES, 1995) e;
- ☐ coleção organizada de *software*, *hardware*, bancos de dados geográficos e treinamento de pessoal especializado, para capturar, armazenar, manipular, analisar, e produzir diversas formas de informação geográfica referenciada (VITEK et al. 1996).

Os SIG's tem por objetivos principais:

- ☐ melhorar a qualidade dos serviços;
- ☐ minimizar os custos dos serviços;
- ☐ diminuir o tempo de execução e;
- ☐ realizar serviços de forma integrada e desta forma, facilitar e agilizar a compreensão do homem sobre o meio físico.

4.1.2. Relação entre o estudo morfométrico de bacias hidrográficas e as propriedades geológico-geotécnicas de uma região

A relação entre os elementos obtidos a partir da análise areal e linear de uma bacia hidrográfica e as propriedades geológico – geotécnicas pode ser esquematizada conforme ilustra a Tabela 18. As correlações estabelecidas foram feitas com base nos trabalhos de: FRANÇA (1968), CHRISTOFOLETTI (1970), ABRAHAMS (1984), BEVEN & KIRKBY (1993), TERAMOTO (1995), FLÜGEL (1995) e VITEK et al. (1996).

As relações estabelecidas na Tabela 18 baseiam-se nas seguintes premissas:

- ❑ a topografia e os tipos de solos estão fortemente associados entre si, devido aos processos intempéricos e a erosão; essa interdependência nos "landforms" é observada pelas diferentes associações de solos (catenas);
- ❑ os solos e a topografia podem ser agrupados na forma de seqüências pedo-topográfica; a associação dos perfis pedo-topográficos com o substrato rochoso pode ou não ser concordante;
- ❑ pela análise da distribuição da rede de drenagem, é possível estimar as regiões onde ocorrem diferenciações dos processos de intemperismo e erosão, considerando-se a ação das águas fluviais e pluviais como principais agentes;
- ❑ ao relacionar os "landforms" com o arranjo e forma da rede de drenagem associada, facilita a identificação de onde ocorrem perfis de alteração correlatos na bacia, assim como a previsão do comportamento de algumas propriedades geotécnicas como capacidade de infiltração, permeabilidade, porosidade, estruturação e grupos litológicos principais.

Tabela 18. Relação entre os elementos de uma bacia hidrográfica e as propriedades geológico – geotécnicas da área da bacia.

<u>Análise Areal</u>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Índice de forma ▪ Índice de circularidade 	Definidor da geometria da bacia; informação sobre o potencial de escoamento da bacia
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Densidade de drenagem ▪ Densidade hidrográfica 	Fornecem informação sobre: o substrato rochoso e natureza dos materiais inconsolidados; o entalhamento da bacia (diferenciação dos processos erosivos); e a variação lateral (catenas) dos perfis de alteração e landforms;
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Textura topográfica ▪ Índice de Rugosidade ▪ Coeficiente de manutenção 	
<u>Análise Linear</u>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extensão do percurso superficial ▪ Gradiente dos canais ▪ Relação de relevo 	

Todavia, algumas considerações devem ser feitas:

- ↳ o principal objetivo é mostrar possíveis correlações e não afirmar uma relação de causa e efeito;
- ↳ no estudo dos *landforms*, busca-se agilizar o processo de mapeamento pela associação de feições típicas de uma dada porção da bacia com os perfis de alteração;

↳ em relação a susceptibilidade à erosão, outros critérios devem ser avaliados, principalmente a separação entre erosão natural e induzida.

4.2. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE GEOPROCESSAMENTO EM SIG – IDRISI

Segundo FERREIRA (1996a), a modelagem cartográfica envolve o uso de representações que são expressas na forma de combinações de mapas e um modelo cartográfico adaptado a um SIG pode ser entendido como um conjunto de mapas temáticos que caracteriza um determinado setor da superfície terrestre.

A utilização destes sistemas objetiva viabilizar e agilizar o processo de confecção das cartas e aplicar métodos analíticos mais diretos que possibilitem uma maior precisão na interpretação e análise dos dados.

Este tipo de aplicação foi utilizada de acordo com HUTCHINSON (1989), inicialmente em modelamentos hidrológicos, particularmente no estudo de erosão, classificação de *landforms* e de solos.

Atualmente, a utilização dos sistemas de informação geográfica tem sido altamente difundida em todos os setores da sociedade, sendo empregados nas mais diversas funções: empresas, sistemas viários, pesquisa etc...

Um *raster-SIG* armazena dados de espaço em um *grid* de estrutura, com características de ponto, representadas como uma única cela de *grid*, características de linha representadas como fios conectados em celas e características da região representando aglomerações de celas.

As características de *raster* são *estruturas preenchidas* em toda a cela na qual a característica acontece (Figura 33a). Em contraste, características de *vector* são representadas por *estruturas não preenchidas* definidoras de sua forma. (Figura 33b). Pelo menos teoricamente, qualquer determinado nível de resolução de espaço terá uma representação de *vector* de uma determinada característica e uma representação de *raster* equivalente.

No estudo morfométrico de bacias hidrográficas, a sistemática adotada consiste em:

- ☐ entrada de dados através da utilização de programas que permitem o georeferenciamento das informações como o AUTO CAD e o SURFER;

Figura 33. Modelos de estruturas (a) *raster* e (b) *vetorial*.

- ☐ definir no ambiente IDRISI, os elementos (área, perímetro, altitude máxima, altitude mínima de cada sub-bacia) que serão equacionados e que possibilitarão a geração das informações desejadas, por operações matemáticas realizadas com os mesmos;
- ☐ o produto final pode ser expresso tanto na forma de cartas como de lista de valores.

As principais críticas, quanto a esta forma de tratamento dos dados, referem-se principalmente:

- ☒ à relação entre o que é proposto conceitualmente e como isso pode ser tratado no programa; o usuário deve ter uma noção prévia da resposta esperada e se possível acompanhar os principais passos manualmente;
- ☐ o processo de classificação das informações deve ser conduzido com critério;
- ☐ o programa tem limitações e não é toda forma de cálculo possível de ser realizada nele; podem ser feitas adaptações, com a geração de produtos intermediários que permitam chegar ao resultado desejado.

4.3. ANÁLISE MORFOMÉTRICA

4.3.1. Procedimentos utilizando o SIG – IDRISI

A sistemática utilizada é a seguir tratada, sendo cada etapa individualmente descrita, na seqüência utilizada durante o trabalho.

4.3.1.1 Aquisição dos documentos básicos

- Mapa topográfico, escala 1:50.000 (IBGE), digitalizado e referenciado geograficamente, neste trabalho utilizando o AUTO CAD 14.
- Rede de drenagem da área, a partir da interpretação de fotografias aéreas, escala 1:60.000, digitalizada e referenciada geograficamente no AUTO CAD 14.

4.3.1.2. Definição dos elementos básicos

- O mapa topográfico digitalizado (no formato DXF) é convertido para arquivo texto (TXT ou DAT).
- O arquivo texto, com a leitura das coordenadas x , y , e z , é processado no programa SURFER (versão 6.01), seguindo os seguintes comandos:

- É aberta uma janela onde são especificadas as disposições das coordenadas x, y e z, com seus respectivos valores de máximo e mínimo. Neste momento, também são discriminados: o tipo de operador (interpolador) que lerá as coordenadas do arquivo texto (TXT) e novamente o converterá para forma gráfica; o tamanho do pixel (o utilizado foi de 30x30) e o número de linhas e colunas do mapa. Para este trabalho, foram testados todos os interpoladores do programa e o que apresentou resultado mais próximo ao da carta topográfica foi o de Mínima Curvatura o qual, para efeito de utilização no IDRISI, deve ser salvo no formato **GS ASCII (.GRD)**. Este é exportado para o IDRISI, onde é produzido um arquivo imagem (extensão **.img**).
- A drenagem digitalizada (formato **.DXF**) é exportada para o IDRISI, onde inicialmente produz um arquivo *vector* (**.vec**), para em seguida ser convertido para o formato *raster* (Figura 34). Desta forma, os dois elementos principais (topografia e drenagem), são configurados no IDRISI.

Figura 34. Rede de drenagem formato raster.

4.3.1.3. Tratamento matemático

- Tendo como imagem o arquivo com os dados planialtimétricos e adicionado a ele o arquivo vetor da drenagem, podem ser definidos, tanto pelo AUTO CAD, quanto pelo IDRISI, os limites de cada sub-bacia, respeitando os divisores topográficos e o contorno da rede de drenagem.
- Para a bacia em estudo, teve-se o total de 24 sub-bacias, sendo: 14 de terceira ordem, 6 de quarta ordem, 3 de quinta ordem e 1 de sexta ordem (segundo STRAHLER). As bacias de segunda ordem não foram individualizadas por se configurarem muito especiais, pelas suas dimensões reduzidas (Figura 35). Algumas bacias de terceira ordem também apresentaram um comportamento diferenciado devido às pequenas dimensões, mas foram consideradas, embora, com reservas.

Figura 35. Sub-bacias definidas na área.

▪ Definindo-se as sub-bacias, parte-se para a elaboração dos elementos básicos de operação, **ÁREA** e **PERÍMETRO** (módulo *Analysis/Database Query*; comandos *AREA* e *PERIM*). Outro parâmetro importante nos cálculos é amplitude (máxima e mínima) de cada sub-bacia; para isto, seguiu-se o seguinte procedimento:

A seguir para que cada sub-bacia seja representada por estes valores, procedeu-se da seguinte forma:

- O comprimento total dos canais (ΣL) também é obtido pelo comando *PERIM*, sendo necessário antes individualizar somente a rede de cada sub-bacia. Para tanto o arquivo com a rede de drenagem digitalizada e manipulado de forma que a rede seja identificada pelo número 1 (um) e o restante por zero (arquivo denominado de REDE1). O procedimento seguinte foi:

onde: **sb** = arquivo com as sub-bacias delimitadas e identificadas por: 1,2,3,4... .

Para determinar o comprimento total dos canais foi utilizado o módulo *Analysis/Database Query*; comandos *PERIM*, onde é calculado um valor equivalente ao perímetro (arquivo PREDE2).

A somatória total dos canais existentes na bacia foi obtida por:

Este cálculo é realizado para corrigir o valor obtido pelo perímetro, que corresponde a uma somatória de lados e não a uma extensão linear.

- O último parâmetro utilizado nos cálculos, a ser determinado, é o comprimento do curso principal de cada sub-bacia (L) e para tanto é criado um arquivo *vector*, com retas paralelas ao maior comprimento do curso principal de cada sub-bacia; a seguir, este é convertido para o formato *raster* onde os comprimentos aproximados são calculados (módulo *Analysis/Database Query*; comando *PERIM* – arquivo L_1). A mesma correção realizada para ΣL deve ser feita também, portando repete-se o mesmo procedimento anterior:

Para que cada sub-bacia fosse representada por este valor, procedeu-se da seguinte forma:

4.3.1.4. Resultados da primeira etapa

a. Elementos definidos

- ⇒ Área (A)
- ⇒ Perímetro (P)
- ⇒ Altitude Máxima (Hmax)
- ⇒ Altitude Mínima (Hmin)
- ⇒ Comprimento do maior curso (L)
- ⇒ Somatória total dos canais ($\sum L$)

b. Valores obtidos

Os valores de área, perímetro, amplitudes máxima e mínima da topografia e somatória total dos canais, estão ilustrados na Tabela 19.

4.3.1.5. Cálculo dos parâmetros morfométricos

Foram calculados 10 parâmetros, utilizando os elementos ÁREA, PERÍMETRO, Hmax, Hmin, L e $\sum L$ e as formulações expostas no Capítulo II deste trabalho. Os procedimentos básicos (módulos e comandos) para o cálculo de cada parâmetro são explicados a seguir onde basicamente, todos os elementos calculados utilizaram os operadores de análise (*analysis*) do programa IDRISI, ilustrados na Figura 36.

Tabela 19. Valores de área, perímetro, amplitudes máxima e mínima da topografia e somatória total dos canais, de cada sub-bacia individualizada.

Sub-bacias	A (Km ²)	P (Km)	Hmax (m)	Hmin (m)	L (Km)	ΣL (km)
1	104.12	48.58	688.57	492.53	16.54	281.565
2	3.32	14.86	590.30	516.31	0.395	6.475
3	4.20	11.86	590.78	522.70	1.295	8.87
4	4.88	12.34	605.22	534.74	2.345	12.615
5	4.77	13.78	615.50	534.13	2.64	13.81
6	3.44	11.26	609.55	531.78	2.195	10.875
7	21.15	25.52	660.43	530.10	5.31	82.4
8	14.77	19.83	631.92	532.91	4.95	58.375
9	11.89	19.35	645.03	529.89	3.81	38.79
10	2.74	8.33	584.12	528.37	0.755	8.15
11	35.24	32.23	628.06	527.27	9.44	93.57
12	47.52	36.00	651.75	532.96	13.065	134
13	1.40	6.23	625.63	537.04	0.035	2.67
14	2.00	8.45	622.33	538.60	0.785	5.215
15	1.47	6.23	606.54	541.88	-0.145	2.82
16	11.31	17.73	627.34	532.02	6.415	38.55
17	15.87	26.00	641.83	532.78	10.01	30.675
18	37.27	41.57	652.24	529.08	15.04	68.26
19	17.54	26.95	636.32	531.27	7.555	40.11
20	4.96	11.44	622.58	533.55	2.49	10.905
21	13.63	20.01	650.03	527.52	6.445	24.325
22	23.49	25.94	677.06	511.98	9.44	23.545
23	25.58	26.30	674.80	507.71	5.19	53.555
24	1.33	5.81	588.35	504.91	0.155	3.39

Figura 36. Tela do programa IDRISI, com os comandos utilizados.

☐ *Índice de forma (K), Equivalente circular (Kc) e Índice de circularidade (Ic)*

$$K = P \frac{1}{2\sqrt{\pi A}}; Ic = \frac{A}{Ac}$$

onde : P = Perímetro da bacia, A = Área da bacia; Ac = área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada

Onde Ac foi determinada pela seguinte formulação:

☐ *Densidade de drenagem (Dd)*

$$Dd = \frac{\sum L}{A}; (km/km^2)$$

onde: A = Área da bacia
Σ L = Comprimento total dos canais

❑ *Densidade hidrográfica (Dh)*

Onde N pode ser obtido pela contagem manual ou por meio do programa AUTO CAD MAP, no Idrisi não foi possível determiná-lo.

❑ *Textura topográfica (Tt)*

❑ *Coefficiente de manutenção (Cm)*

❑ *Índice de rugosidade (Ir)*

❑ *Declividade máxima da vertente (D_{max}°)*

$$D_{max}^{\circ} = \frac{\sum L^{0,25} \cdot H^{0,5}}{A^{0,375}}$$

onde: $\sum L$ = comprimento total dos canais da bacia
 H = maior amplitude altimétrica da bacia
 A = área da bacia

❑ *Extensão do percurso superficial (Eps)*

$$Eps = \frac{1}{2Dd} ; (km)$$

onde: Dd = Densidade de drenagem

❑ *Gradiente dos canais (G)*

$$G = \frac{\Delta d}{L} \cdot 100\%$$

onde: Δd = Diferença máxima de altitude;
 L = Maior comprimento medido paralelamente ao principal curso

❑ *Relação de relevo (Rr)*

$$Rr = \frac{\Delta d}{L} ;$$

onde: Δd = Diferença máxima de altitude;
 L = Maior comprimento medido paralelamente ao principal curso

4.3.1.6. Resultados da segunda etapa

Na análise dos resultados obtidos, não foram consideradas todas as bacias de terceira ordem. Segundo PONCE (1989), as bacias com área inferior a 1 mi^2 (2.59 km^2) não devem ser utilizadas devido suas dimensões não serem suficientemente representativas e influenciarem nos resultados. Neste contexto, foram excluídas as sub-bacias 13, 14, 15 e 24.

Os resultados foram analisados graficamente (Figuras 37 e 38) e na forma de Tabela (Tabela 20). Os parâmetros que melhor individualizaram as sub-bacias (por meio do desvio padrão) estão ilustrados na Figura 39.

Tabela 20. Parâmetros morfométricos calculados para cada sub-bacia (sb).

Sb	Ordens	K	Ic	Dd (Km/Km ²)	Dh (n/km ²)	Tt	Ir	Dmax (°)	G%	Rr	Eps (Km)	Cm (Km)
1	6	1.34	0.55	2.70	3.39	5.03	1.86	16.39	1.19	0.0119	0.18	0.37
2	3	2.30	0.19	1.95	3.31	3.49	1.15	21.52	18.69	0.1869	0.26	0.51
3	3	1.63	0.37	2.11	3.57	3.82	1.25	21.32	5.26	0.0526	0.24	0.47
4	3	1.58	0.40	2.58	4.91	4.78	1.56	22.27	3.01	0.0301	0.19	0.39
5	3	1.78	0.32	2.90	6.50	5.43	1.78	23.18	3.08	0.0308	0.17	0.35
6	3	1.71	0.34	3.17	9.02	5.99	1.93	24.57	3.55	0.0355	0.16	0.32
7	5	1.57	0.41	3.90	7.24	7.56	2.57	21.47	2.46	0.0246	0.13	0.26
8	4	1.46	0.47	3.95	8.53	7.68	2.50	22.04	2.00	0.0200	0.13	0.25
9	4	1.58	0.40	3.26	5.72	6.20	2.11	21.81	3.02	0.0302	0.15	0.31
10	3	1.42	0.50	2.97	4.74	5.59	1.74	24.36	7.38	0.0738	0.17	0.34
11	5	1.53	0.43	2.66	3.92	4.93	1.67	17.84	1.07	0.0107	0.19	0.38
12	5	1.47	0.46	2.82	4.27	5.27	1.84	17.77	0.91	0.0091	0.18	0.35
16	4	1.49	0.45	3.41	6.01	6.51	2.14	21.88	1.49	0.0149	0.15	0.29
17	3	1.84	0.29	1.93	2.02	3.46	1.24	18.41	1.09	0.0109	0.26	0.52
18	4	1.92	0.27	1.83	1.85	3.26	1.19	16.45	0.82	0.0082	0.27	0.55
19	4	1.82	0.30	2.29	1.88	4.17	1.46	18.88	1.39	0.0139	0.22	0.44
20	3	1.45	0.48	2.20	3.43	4.00	1.37	21.66	3.57	0.0357	0.23	0.45
21	3	1.53	0.43	1.78	2.20	3.16	1.16	18.51	1.90	0.0190	0.28	0.56
22	3	1.51	0.44	1.00	0.68	1.66	0.68	15.28	1.75	0.0175	0.50	1.00
23	4	1.47	0.46	2.09	1.84	3.78	1.41	18.14	3.22	0.0322	0.24	0.48
Desvio padrão		0.22	0.22	0.75	2.33	1.54	0.48	2.73	3.96	0.04	0.08	0.16

1)

(2)

(3)

(4)

(5)

Figura 37. Comparação entre os parâmetros: 1 - densidade de drenagem (D_d), 2 - densidade hidrográfica (D_h); 3 - textura topográfica (T_t), 4 - índice de rugosidade (I_r); e 5 - declividade máxima da vertente (D_m), das 23 sub-bacias (sb).

Figura 38. Comparação entre os parâmetros: 1 - Índice de forma (K), 2 - índice de circularidade (Ic); 3 - coeficiente de manutenção (Cm); 4 - extensão do percurso superficial (Eps); 5- gradiente (G%); e 6 -relação de relevo (Rr), das 23 sub-bacias (sb).

(a)

(b)

Figura 39. Distribuição espacial das faixas de valores de (a) Textura topográfica; (b) Densidade hidrográfica.

(c)

(d)

Figura 39 (continuação). Distribuição espacial das faixas de valores de (c) Declividade máxima da vertente; (d) Gradiente dos canais.

4.3.2. Análise dos resultados

A análise comparativa dos valores obtidos para cada sub-bacia será feita através de diagramas percentuais, onde é possível individualizar classes, dentro de intervalos definidos na literatura ou segundo sua representatividade nas bacias.

Em relação a cada parâmetro, podem ser feitas algumas observações, a seguir.

1. Índice de Forma (K): em sua maioria, traduz valores maiores que 1, sendo poucos os que se aproximam deste número, o que afasta as sub-bacias da forma circular, estando o maior eixo aproximadamente na direção N-S.

2. Índice de Circularidade (Ic): apresentou todos valores abaixo de 1, confirmando o já observado pelo índice de forma, que as bacias tendem a forma alongada; isso indica que os tributários atingem o canal principal em diversos pontos, o que desfavorece a concentração total do deflúvio em um único ponto, evitando a possibilidade de ocorrência de cheias de grande porte.

3. Densidade de Drenagem (Dd), Textura Topográfica (Tt), Índice de Rugosidade (Ir), Declividade Máxima da Vertente (Dm) e Densidade hidrográfica (Dh):

■ Densidade de drenagem: considerada baixa, visto que 100% dos valores obtidos são inferiores a 7,5 Km/Km² (segundo STRAHLER); porém considerando uma distribuição para a área estudada, observa-se que cerca de 50% encontra-se na faixa considerada de densidade média:

Classe	Dd (km/km ²)
Baixa	< 2
Média	2 – 3
Alta	> 3

Espacialmente encontra-se distribuída da seguinte forma:

Onde mesmo apresentando um baixo desvio padrão entre os valores (Tabela 20), é possível individualizar grupos distintos de bacias quanto ao comportamento da densidade de drenagem.

- Densidade hidrográfica: o critério de classificação adotado foi o proposto por LOLLO (1998) para frequência de canais:

Classe	Dh (n/km ²)
Baixa	< 3
Média	3 – 7
Alta	7 – 15
Muito alta	> 15

O resultado mostra valores inferiores a 7 canais por km² de área, predominando na maior parte das sub-bacias, configurando densidades hidrográficas médias à baixas, ficando em torno de 15% a frequência de 7 – 15 canais por km² de área, consideradas altas.

- Textura topográfica: mostrou-se predominantemente média à fina, como mostra a figura abaixo:

Classe	Tt
Grosseira	< 2,5
Média	2,5 – 6,2
Fina	> 6,2

- Índice de rugosidade: não foi encontrado na literatura nenhum intervalo de valores classificando este índice, por isso, utilizou-se a mesma classificação proposta para textura topográfica, uma vez que, sendo proporcional amplitude altimétrica e a densidade de drenagem, este índice também indica o grau de retrabalhamento do terreno..

Ir	Classes
< 2.5	1
2.5 – 6.2	2
> 6.2	3

Valores muito altos de Ir traduzem vertentes íngremes e longas, associadas a altas declividades; e valores muito baixos indicam grandes áreas com baixas declividades; o resultado a cima, mostra exatamente o predomínio de valores baixos, ou seja, baixas declividades associadas a grandes extensões de área, representando texturas finas de relevo.

- Declividade máxima da vertente ($^{\circ}$): é classificada da seguinte forma:

Dmax ($^{\circ}$)	Classes
< 20	1
20 – 22	2
22 – 24	3
> 24	4

Os valores indicam concentração das declividades máximas menores que 22° .

5. Gradiente dos Canais (G%) e Relação de Relevo (Rr):

- Os valores de gradiente mostraram-se baixos (no geral inferiores a 2.5 %) decorrente das baixas declividades presentes, que na maior parte da bacia encontra-se no intervalo de 1 à 4 %:

G (%)	Classes
< 1.5	1
1.5 – 2.5	2
> 2.5	3

- Os valores de relação de relevo obtidos são considerados baixos, o que representa o predomínio de declividades baixas, ou seja, o menor grau de desnível entre a cabeceira e a foz:

Rr	Classes
< 0.02	1
0.02 – 0.04	2
> 0.04	3

6. Coeficiente de Manutenção (Cm) e Extensão do Percurso Superficial (Eps): os valores mostram que, em geral, a extensão mínima para manutenção de um canal com escoamento permanente na bacia é menor que 400 m:

Cm (km)	Classes
< 0.3	1
0.3 – 0.35	2
0.35 – 0.4	3
0.4 – 0.45	4
> 0.45	5

E a distância média percorrida pelo escoamento concentrado até encontrar um canal permanente é, em geral, menor que 200 m, como pode ser observado:

Eps (km)	Classes
< 0.15	1
0.15 – 0.20	2
0.20 – 0.25	3
0.25 – 0.30	4
> 0.30	5

Comparando estes resultados com o comportamento geológico-geotécnico dos materiais (substrato rochoso e material inconsolidado) que constituem a área, pode-se fazer as seguintes considerações:

1. Índice de Forma (K), Índice de Circularidade (Ic) – seus valores mostram uma tendência a formas mais alongadas, que facilitam o escoamento superficial, sendo as diferenças associadas principalmente às condições litológicas.

2. Densidade de Drenagem (Dd) e Densidade Hidrográfica (Dh) – apresentaram valores baixos no geral, porém as variações de cada sub-bacia traduziram as diferenças quanto à natureza dos materiais e espessuras observadas no campo.

Nas sub-bacias com $Dd > 3 \text{ km/km}^2$, predominam os padrões treliça, circular e subdendrítico que indicam um substrato que favorece o escoamento superficial. Os trabalhos de campo e a fotointerpretação indicaram a presença de perfis espessos ($> 2 \text{ m}$) e pouco evoluídos.

Nas sub-bacias com Dd entre $2 - 3 \text{ km/km}^2$, ocorre uma grande variabilidade quanto aos padrões de drenagem (treliça, treliça/angular, subdendrítico, circular) que indicam um substrato mais heterogêneo, perfis mais evoluídos e de espessura variável. As que apresentaram $Dd < 2 \text{ km/km}^2$ ou estão ligadas a perfis de alteração muito pouco

evoluídos ou a litologias diferentes dentro da mesma bacia e que acabam por gerar diferenças no comportamento da drenagem.

Alguns trabalhos consultados, para o cálculo da densidade de drenagem por SIG's, utilizam o perímetro da bacia ao invés do comprimento total dos canais ($Dd = \text{Perímetro} / \text{Área}$). Testadas as duas formas, os resultados mostraram-se diferentes, observando-se que esta segunda acaba por valorizar as menores bacias (terceira ordem) e que nem sempre representam as maiores densidades; os gráficos da Figura 40 ilustram tal diferença.

Comparando (a) onde $Dd = \sum L / \text{Área}$ e (b) onde $Dd = \text{Perímetro} / \text{Área}$; observam-se nitidamente as diferenças, principalmente em relação aos valores máximos obtidos por cada forma de tratamento.

A densidade hidrográfica traduz as mesmas informações, porém enquanto a Dd representa comprimento dos canais por área, a Dh corresponde ao número de canais por área, sendo portanto mais fácil visualizar, por meio dela, as áreas que estão sendo mais retrabalhadas pela drenagem. Nas áreas que apresentaram $Dh < 3$ devem ocorrer materiais pouco erodíveis, entre 3 e 7 de comportamento moderado quanto à erosão e maior que 7 altamente erodíveis.

Figura 40. Gráficos comparando o comportamento da Dd, segundo duas formas de cálculos, diferentes.

2. Textura Topográfica (Tt), Índice de Rugosidade (Ir), Coeficiente de Manutenção (Cm) e Extensão do Percurso Superficial (Eps) – estes índices estão associados a Dd, portanto o comportamento será semelhante. As áreas mais drenadas apresentam os menores valores de Cm e Eps e consequentemente os maiores valores de Tt e Ir, configurando regiões mais retrabalhadas.

3. Declividade Máxima da Vertente (Dmax), Gradiente dos canais (G%) e Relação de Relevo (Rr) – relacionam características de comprimento dos canais, área da bacia e declividade das vertentes. Comparando o comportamento desses parâmetros, com o da Dd e da Dh podem ser visualizados quatro padrões de comportamento como mostra a Figura 41,

Avaliando conjuntamente os parâmetros morfométricos da Figura 41, observa-se que estes definem grupos de sub-bacias com faixas de valores semelhantes, o que indica um mesmo comportamento do relevo segundo a rede de drenagem e o grau de dissecação do terreno, delimitando desta forma quatro unidades de relevo distintas existentes na bacia. Estas podem ser visualizadas espacialmente por meio da sua distribuição em cada sub-bacia como ilustra a Figura 41c.

(a)

Padrão	Dd (km/km ²)	Dh (n/km)	Dmax (°)	G (%)
A	< 2	< 2	15 – 19	1 – 2
B	2 – 3.5	2 – 4	16 – 22	1 – 3
C	2 – 4	4	22 – 24	3 – 4
D	2 – 4	4 – 9	20 – 24	variável

(b)

(c)

Figura 41. (a) Gráfico de barras com a contribuição individual de cada elemento; (b) faixas de valores definidas para cada parâmetro, (c) unidades de relevo definidas a partir da densidade de drenagem, densidade hidrográfica, gradiente dos canais e declividade máxima da vertente.

Capítulo V

Produtos Cartográficos – Mapas Básicos

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão descritos os documentos gerados a partir das atividades de campo (associadas aos ensaios laboratoriais) de fotointerpretação, a saber:

- ⇒ Mapa de Bacias Hidrográficas
- ⇒ Mapa de *Landforms*
- ⇒ Mapa do Substrato Rochoso
- ⇒ Mapa de Materiais Inconsolidados

5.2. MAPA DA BACIA HIDROGRÁFICA (ANEXO II)

Neste mapa, os canais de drenagem e as sub-bacias hidrográficas foram classificados segundo a ordenação de STRAHLER (1952) e em seguida analisados de acordo os padrões de drenagem e sua morfometria.

De forma geral pode-se concluir que:

- ⇒ a região do Médio Capivarí pode ser subdividida em 24 sub-bacias, sendo: 14 de terceira ordem, 6 de quarta ordem, 3 de quinta ordem e 1 de sexta ordem;
- ⇒ os principais padrões de drenagem da área são: sub-dendrítico e treliça, este último observado pelo forte controle estrutural da drenagem nas porções NW e SW da região. As outras formas são: dendrítica, treliça/retangular, circular, meandrante e pinado. O canal principal assume a forma meandrante na maior parte do seu percurso;
- ⇒ a densidade de drenagem é predominantemente baixa ($<7,5 \text{ km/km}^2$);
- ⇒ a frequência dos canais é média à baixa ($<7 \text{ canais/km}^2$);
- ⇒ e as sub-bacias possuem predominantemente a forma alongada, com maior eixo posicionado aproximadamente segundo N-S.

A título apenas de exemplo de aplicação dos parâmetros morfométricos na estimativa do volume de material transportado em uma bacia hidrográfica, foram aplicadas as formulações expostas em PONCE (1989). Segundo este autor a carga de material produzida e transportada pela rede de drenagem pode ser estimada por dois índices:

⇒ SDR (*Estimation of Sediment Delivery Ratio*) - carga estimada de material removida por um canal de drenagem.

⇒ S (*Sediment Yield*) - carga de material produzida pela rede de drenagem (ton/ano).

Onde:

$$SDR = 31,623 \cdot (10 \cdot A)^{-0,23} \cdot \left(\frac{L}{R}\right)^{-0,51} \cdot B^{-2,79}$$

$$S = 1645 \cdot (A)^{-0,16}$$

Onde:

A – área da bacia (mi²)

L = comprimento medido paralelamente a principal drenagem (mi)

R = gradiente dos canais

B = relação de bifurcação ($B = \frac{N_w}{(N_w + 1)}$)

N_w = número de canais de determinada ordem

$N_w + 1$ = número total de canais de ordem superior

Foram calculados por essas formulações, valores de SDR (considerando apenas as relações entre os canais de 1º e 2º ordens), e de S (para as 23 sub-bacias). Estes estão ilustrados na Figura 42.

Os diagramas da Figura 42 e a Tabela 21 comprovam o comportamento observado pelo autor, sempre considerando que se trata de uma relação de percentual de sedimento removido em relação a área da bacia. Pelos gráficos, observa-se que as bacias de maior área, depositam mais facilmente na própria área da bacia que transportam material, enquanto que as menores bacias removem mais material, que é carregado mais facilmente para fora da bacia. Todavia mesmo havendo esta tendência, o sistema não apresenta um padrão único, sendo as condições do meio físico (litologias dominantes, declividade) as principais definidoras desse comportamento.

Figura 42. a) Valores de SDR (*Estimation of Sediment Delivery Ratio*), entre canais de 1^o e 2^o ordens e; b) S (*Sediment Yield*), nas sub-bacias delimitadas; ambos em função da área de cada sub-bacia.

Tabela 21. Contribuição percentual de material produzido pela rede de drenagem (SDR), de acordo com a relação entre canais.

Sub-bacias	Ordem das sub-bacias	relação entre 1 ^o e 2 ^o ordens		relação entre 2 ^o e 3 ^o ordens		relação entre 3 ^o e 4 ^o ordens		relação entre 5 ^o e 6 ^o ordens	
		B	SDR (%)	B	SDR (%)	B	SDR (%)	B	SDR (%)
1	6	2.69	26.73	4.19	7.79	5.25	4.15	2.00	61.33
2	3	4.00	12.63	2.00	87.37				
3	3	3.67	36.36	3.00	63.64				
4	3	3.60	71.43	5.00	28.57				
5	3	4.00	75.61	6.00	24.39				
6	3	2.75	95.16	8.00	4.84				
7	5	3.39	12.70	6.60	1.99	2.50	29.79	2.00	55.52
8	4	3.25	64.71	4.67	23.59	6.00	11.70		
9	4	3.85	28.60	3.25	45.76	4.00	25.64		
10	3	2.00	87.37	4.00	12.63				
11	5	3.27	16.07	4.29	7.53	3.50	13.25	2.00	63.15
12	5	3.09	19.99	5.88	3.31	4.00	9.69	2.00	67.01
16	4	5.40	10.01	3.33	38.43	3.00	51.56		
17	3	3.43	87.99	7.00	12.01				
18	4	2.82	50.31	5.67	7.21	3.00	42.48		
19	4	5.00	4.81	2.50	33.24	2.00	61.95		
20	3	7.00	2.94	2.00	97.06				
21	3	3.83	77.73	6.00	22.27				
22	3	2.75	73.99	4.00	26.01				
23	4	3.67	17.57	2.25	68.64	4.00	13.79		

5.3. MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO (ANEXO III)

A região mapeada encontra-se completamente inserida dentro da Formação Itararé que de forma geral, é composta por uma seqüência de siltitos, lamitos, arenitos e diamictitos, cortados porém por intrusivas básicas na forma de *sills*, pertencentes a Formação Serra Geral.

A seguir, as unidades serão descritas mais detalhadamente, finalizando com as seqüências estratigráficas observadas na área de estudo.

5.3.1. Itararé Superior.

Essa unidade recobre a maior parte da área estudada, sendo composta principalmente por siltitos e lamitos, em contato bem definido com arenitos finos maciços.

Os siltitos são esbranquiçados, encontrando-se comumente empastilhados, constituindo pacotes de espessura variável, em geral em torno de 1,5-2m (Figura 43a), com linhas de clastos (seixos de tamanhos variados, mas inferiores a 3 cm), marcando o topo da unidade, no contato com o material retrabalhado sobreposto.

Os arenitos são esbranquiçados, maciços, em geral encontram-se muito próximos à superfície do terreno; não foi possível estimar sua verdadeira espessura, mas porção aflorante em geral varia de 0.5 à 1m. Estes arenitos representam a seção descrita por SOUZA FILHO (1986) nas proximidades da cidade de Monte Mor/SP e constituem a base dessa unidade.

A Figura 43b ilustra o contato entre os dois grupos litológicos.

5.3.2. Itararé Médio

Esta unidade abrange principalmente a porção sul da área, sendo bastante diversificada, com a presença de fácies distintas no pacote de siltitos que é predominante em todo conjunto. Basicamente, constituem-se de três fácies:

- Fácies I: constituída por siltitos esbranquiçados à cinza esbranquiçados, com empastilhamento e laminados (lâminas milimétricas de argila), com aproximadamente 2m de espessura;
- Fácies II: constituída por diamictitos, onde a matriz é síltica e os seixos polimíticos, variando de centimétricos à métricos, formando pacotes visíveis em superfície e inferiores a 1m de espessura, grada verticalmente para a Fácies I;
- Fácies III: siltitos esbranquiçados, intercalados com lentes de arenitos também esbranquiçados, finos à médios, maciços, formando pacotes de cerca de 3 m de espessura; as

lentes apresentam espessuras máximas de 1 m e extensão lateral variada, mas superior a 1 m. Estas definem um nível bem marcado no perfil, sendo basicamente sua porção intermediária. A Figura 44 ilustra exemplos das fácies identificadas e a Figura 45 ilustra o perfil proposto para essa unidade, na área de estudo.

Figura 43. (a) Aspecto comum de siltitos encontrados nesta unidade; (b) detalhe do contato entre os dois grupos litológicos principais do Itararé Superior: 1 – siltitos; 2 – arenitos.

(a)

(b)

(c)

Figura 44. Em detalhe: (a) siltitos da Fácies I; (b) diamictito da Fácies II; (c) lente de arenito, componente da Fácies III.

Figura 45. Perfil proposto para o Itararé Médio, na área de estudo.

5.3.3. Formação Serra Geral

Na área de estudo, é constituída por corpos de diabásios na forma de *sills*, localizados aleatoriamente, com a presença de feições típicas como as disjunções colunares, e intenso fraturamento vertical e subvertical, mergulhando para NE e NW, formando pacotes com cerca de 5 m de espessura.

Petrograficamente, estes diabásios são constituídos por plagioclásios e piroxênios (augita), como mineral varietal olivina e como acessórios opacos, vidro e minerais de alteração. A granulação é média e a textura fanerítica, intersetal (ocorrendo também textura ofítica e intergranular), com percentual entre os minerais principais de 75% de plagioclásio e 25% de piroxênio e os demais constituindo em média 5% do total.

A Figura 46 mostra o típico diabásio aflorante e o intenso fraturamento observado.

(a)

(b)

Figura 46. a) Fraturamento subvertical observado; b) Detalhe do maciço.

5.4. MAPA DE LANDFORMS (ANEXO IV)

De acordo com os *landforms* presentes na região, a área pode ser dividida em quatro unidades de relevo, definidas dentro do sistema formado pela bacia do rio Capivari, condicionadas pela formato e extensão de topos, vales e vertentes, traçado da drenagem, declividade, grau de dissecação do terreno e amplitudes altimétricas.

Optou-se por configurar a área em um único sistema devido à continuidade das seqüências geológicas e de material inconsolidado nas suas porções norte e sul da bacia, que propiciaram formas de relevo comuns às duas porções e uma forte correlação entre as mesmas.

A Figura 47 ilustra a distribuição das unidades em mapa e as figuras 48, 49 e 50 exemplos das unidades.

Em termos descritivos, serão seguidos os critérios de LOLLO (1997) e SCHIMDT (1987), ilustrados na Tabela 22.

5.4.1. Unidade 1

Localizada principalmente nas regiões NW, SW e SE da área. De forma geral, constitui um relevo colinoso, de topos arredondados, colinas suavemente onduladas, com a presença de vertentes convexas alongadas (na maioria superiores a 550 m de extensão), interligadas por vales estreitos e rasos. A drenagem apresenta um forte controle estrutural, refletido no padrão treliça e localmente, a ausência parcial, denotada pelo padrão subdendrítico.

Nesta unidade, predominam bacias de terceira ordem, com densidade de drenagem maior que 3 (km/km²), densidade hidrográfica menor que 4 n/km² (frequência média a baixa), amplitudes de 84 – 143 m e declividades menores que 8 %, denotando uma textura topográfica média, menor que 6, (Índice de Textura Topográfica (It), explicado nos Capítulos II e IV).

As unidades de material inconsolidado predominantes são:

- material residual, oriundo de siltitos, variando desde a rocha sã até o maciço levemente alterado (alteração superficial do maciço como um todo), com espessuras mínimas observadas em campo de 1 à 2 m.
- material residual, oriundo siltitos e lamitos, de textura silto-arenosa, com espessuras mínimas observadas em campo de 5 à 6 m.

Tabela 22. Termos descritivos adotados, modificado de LOLLO (1997) e SCHMIDT (1987).

Significado	Termo	Dimensões ou Descrição	Critério de medida ou de descrição
Expressão Geográfica (colina, morrote e morro)	pequeno médio amplo	< 1 km 1 a 2 km > 2 km	extensão maior - maior componente de extensão da forma
Expressão Geográfica (vale)	pequeno (estreito) médio amplo	< 1 km 1 a 2 km > 2 km	extensão - seção transversal do vale
Forma da Seção Transversal (colina)	ondulada suave ondulada aplainada	5 a 10% 2 a 5% < 2%	declividade das vertentes
Forma do Topo (morrote ou morro)	arredondado anguloso	< 20% > 20%	declividade do topo
Forma do Vale	fechado aberto	> 10% < 10 %	declividade das vertentes
Frequência de Canais	muito alta alta média baixa	> 15/km ² 7 a 15/km ² 3 a 7/km ² < 3/km ²	número total de canais (inclusive ravinas) por Km ²
Forma da Encosta	<p>(a) <i>Vertente concava</i></p> <p>(b) <i>Vertentes convexas</i></p> <p>(c) <i>Rochas de resistências diferentes gerando quebras de relevo</i></p> <p>(d) <i>Vertentes retilíneas</i></p>		

- material residual, oriundo de lentes de arenitos alternados à siltitos, de textura silto-arenosa e areno-siltosa, com espessuras mínimas observadas em campo de 6 à 7 m.
- corpos basálticos com espessuras de até 4 m.

Esta unidade caracteriza-se por materiais de maior resistência (de carácter mais rochoso), responsáveis por formas pouco retrabalhadas e em relação as outras unidades, a menor densidade de drenagem.

Estes materiais derivam principalmente do Membro Médio da Formação Itararé, havendo ocorrências no Membro Superior.

5.4.2. Unidade 2

Recobre as regiões N e NE da área. Constituinte um relevo colinoso, com topos angulosos, vertentes côncavas/convexas e convexas/retilíneas, de extensão, no geral, de 450 – 600 m. Os vales são em duas categorias: amplos associados a vertentes convexas e retilíneas e a um padrão de drenagem treliça/angular (secundariamente dendrítico e subdendrítico); e rasos e abertos associados a escarpas côncavas e a um padrão de drenagem meandrante, onde se desenvolvem planícies de sedimentação.

É formada principalmente por bacias de quarta e quinta ordem, com densidade de drenagem variando de 2 – 3 km/km², densidade hidrográfica 5 - 8 n/km² km² (frequência média a alta), amplitudes de 117 – 116 m e declividades de 8 – 20 % e textura topográfica fina (> 6).

Esta unidade é caracterizada por materiais mais evoluídos, responsáveis por feições mais retrabalhadas e por uma densidade de drenagem moderada à alta (em relação a área como um todo). O controle estrutural dominante nessa região, é um forte controlador das formas observadas, principalmente do traçado da rede de drenagem.

As unidades de material inconsolidado predominantes são:

- material residual, oriundo siltitos e lamitos, de textura silto-arenosa, com espessuras mínimas observadas em campo de 5 à 6 m.
- material residual, oriundo siltitos e lamitos, de textura siltosa à arenosa (areia fina), com espessuras mínimas observadas em campo de 4 à 5 m.
- material residual, oriundo arenitos e siltitos, de textura silto-argilosa, com espessuras mínimas observadas em campo de 2 à 3 m.

Estes materiais derivam principalmente do Membro Superior da Formação Itararé.

5.4.3. Unidade 3

Localizada na região S da área. Constitui um relevo de topos angulosos, vertentes convexas e retilíneas, de extensão em torno de 500 - 600 m. Os vales são rasos e abertos associados a um padrão de drenagem subdendrítico.

É formada por bacias de terceira e quarta ordem, apresentando uma densidade de drenagem menor que 2 (km/km²), densidade hidrográfica 1 – 3.5 n/km² km² (frequência baixa), amplitudes médias de 88 – 117.46 m e declividades de 4 - 8%, com texturas topográficas menores que 4, variando de médias à grosseiras.

A unidade de material inconsolidado predominante é representada por um material residual, oriundo arenitos e siltitos, de textura silto-argilosa, com espessuras

mínimas observadas em campo de 2 à 3 m, derivado principalmente do Membro Superior da Formação Itararé. E em alguns locais foram observadas coberturas de material transportado.

Nesta unidade são observados perfis mais evoluídos, porém as formas não são tão retrabalhadas quanto as da unidade 2. A densidade de drenagem é moderada, predominando os padrões treliça e subdendrítico. O controle estrutural ocorre nessa região, atuando no traçado da rede de drenagem.

5.4.4. Unidade 4

Abrange a porção SE-E-NE da área. Constituinte um relevo de topos achatados, vertentes convexas e côncavo/convexas, de extensão média variando de 450 à 600 m. Os vales são estreitos, associados a um padrão de drenagem circular e subdendrítico.

É formada por bacias de quinta ordem, com uma densidade de drenagem maior que 3 (km/km^2), densidade hidrográfica em torno de 4 $\text{n}/\text{km}^2 \text{ km}^2$ (frequência média), amplitudes médias de 116.63 m e declividades menores que 8%, com texturas topográficas variando de 4 à 6 (médias à finas).

A unidade de material inconsolidado predominante é representada por um material residual, oriundo arenitos e siltitos, de textura silto-argilosa, com espessuras mínimas observadas em campo de 2 à 3 m, em algumas porções ocorrendo um material mais evoluído, chegando a solo residual, com espessuras mínimas de 4 à 5 m, derivados principalmente do Membro Superior da Formação Itararé. O que individualiza esta unidade são perfis evoluídos, com formas mais retrabalhadas que as da unidade 3. A densidade de drenagem é moderada à alta. Apresenta muitas características semelhantes as da unidade 3, diferenciando-se principalmente pelo formato das encostas.

Figura 47. Distribuição das unidades de *landforms* em mapa.

Figura 48. Unidade 1: (a) colinas com topos arredondados, baixas declividades, vales estreitos e rasos; Unidade 2: (b) colina com topo bem definido, associada a vertentes côncava/convexa; (c) vale amplo, com desenvolvimento de diversos canais de drenagem; (c) vale aberto, com drenagem permanente e desenvolvimento de planícies de sedimentação.

Figura 49. Unidade 3 - relevo de topos bem definidos, vertentes convexas e vales rasos e abertos.

Figura 50. Unidade 4 - relevo de vertentes convexas, extensas e vales estreitos.

5.5. MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (ANEXO V)

5.5.1. Considerações gerais

A identificação das unidades de material inconsolidado, na área estudada, mostrou-se por vezes bastante difícil, dada a constante alternância vertical e lateral dos dois litotipos principais (siltitos e arenitos), com ocorrências locais de diabásios, diamictitos e lamitos.

Os perfis na maioria das vezes eram descontínuos e os níveis de alteração não apresentavam limites bem definidos.

Com o objetivo de agilizar os trabalhos de campo, buscou-se na literatura uma classificação em termos de perfis de alteração que melhor retratasse a área estudada. A que mais facilitou os trabalhos foi a proposta por PRICE (1983), já ilustrada no Capítulo II (Tabela 9), que propõe seis níveis de alteração desde a rocha sã até solo residual. A Figura 51 ilustra esses níveis, a forma como foram definidos para este trabalho e o perfil ideal proposto.

PRICE (1983)	NESTE TRABALHO	CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
	VI	VII	Solo residual	<i>Toda a rocha é alterada para solo. Estruturas e texturas destruídas.</i>
	V	VI	Completamente alterado	<i>Todo maciço acha-se alterado para solo (saprolito). Estruturas e texturas intactas.</i>
	IV	V	Altamente decomposto	<i>Mais da metade da rocha está decomposta para solo (saprolito) e descolorida. Possibilidade da presença de alguma rocha fresca formando uma malha descontínua.</i>
	III	IV	Moderadamente alterado	<i>Menos da metade do maciço encontra-se totalmente decomposto e descolorido. A rocha fresca constitui uma malha contínua.</i>
	II	III	Levemente alterado	<i>A alteração progride ao longo da maioria das descontinuidades, com leve alteração do maciço rochoso como um todo.</i>
	I ^B	II	Fracamente alterado	<i>Alteração limitada a superfície das descontinuidades maiores.</i>
	I ^A	I	Rocha fresca	<i>Nenhum sinal de alteração visível.</i>

Figura 51. Esquema para perfil de alteração modificado de PRICE (1983).

A elaboração desta carta contou com a conjugação das atividades de campo e de laboratório (ensaios e fotointerpretação).

Os ensaios realizados tiveram por objetivo auxiliar na caracterização dos perfis identificados em campo e delimitados em fotografias aéreas (escala 1:60.000). Tanto as

atividades de campo como de laboratório constaram de duas etapas, sendo a primeira definidora e a segunda de averiguação das unidades de material inconsolidado.

A divisão e classificação desses materiais foi feita com base em quatro critérios básicos:

- ↳ *gênese: se residual ou retrabalhado;*
- ↳ *textura: predominante siltosa, com teores variados de areia fina e argila;*
- ↳ *rocha original: rocha de onde o perfil evoluiu;*
- ↳ *nível de alteração: tomado a partir das observações de campo.*

A partir destes parâmetros, foram identificadas na área de estudo dez unidades de material inconsolidado, variando de duas a três por *landform* identificado.

5.5.2. Ensaio realizados

A caracterização das unidades, a partir dos resultados dos ensaios realizados, está ilustrada na Tabela 23.

5.5.2.1. Massa específica dos sólidos (ρ_s), massa específica seca de campo ($\rho_{d_{campo}}$), índice de vazios natural (e_o), umidade natural (w_o %) e permeabilidade (K)

A massa específica dos sólidos (ρ_s) foi determinada a partir do procedimento rotineiro, executado no laboratório de mecânica dos solos do Departamento de Geotecnia (EESC/USP), seguindo a norma técnica da ABNT (NBR 6508/84).

O $\rho_{d_{campo}}$ e e_o foram determinados a partir do “Método do Anel” (ZUQUETTE, 1987), onde uma amostra indeformada é retirada em um cilindro de PVC de 10 cm x 5 cm (diâmetro/altura) e devidamente conservada, para evitar a perda de umidade. No laboratório,

a mesma é pesada, assim como o anel e efetuada a seguinte relação: $\rho_{d_{campo}} = \frac{M_1 - M_2}{V}$;

onde M_1 = massa de solo+anel; M_2 = massa do anel; V = volume do anel. A partir desta, são

definidos: $e_o = \frac{\rho_s}{\rho_{d_{campo}}} - 1$ e $w_o (\%) = \frac{w_2}{w_1} * 100$; onde w_1 = peso da amostra úmida; w_2 =

peso da amostra seca (em estufa)

A permeabilidade natural (K) pode ser calculada utilizando o procedimento de HONORATO & MACKENNA (1982). Neste, é considerado o $\rho_{d_{campo}}$ e o diâmetro equivalente a 50% da curva granulométrica (D_{50}), segundo a fórmula:

$$K = 14.266 \frac{D_{50}^{2.19735}}{\rho d^{8.50784}}; \quad (\text{cm/s}). \quad \text{Outras formulações para determinação da}$$

permeabilidade, são descritas detalhadamente em ZUQUETTE (1987).

5.5.2.2. Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada por sedimentação, a partir do procedimento rotineiro, executado no laboratório de mecânica dos solos do Departamento de Geotecnia (EESC/USP), seguindo a norma técnica da ABNT (NBR 7181/84).

5.5.2.3. Azul de metileno

Consiste em um método alternativo de caracterização da fração fina dos materiais inconsolidados, exposto detalhadamente em PEJON (1992). A grande vantagem deste método é a obtenção da C.T.C (capacidade de troca catiônica), da SE (superfície específica) e dos parâmetros V_B e A_{cb} , que possibilitam inferir os principais tipos de argilominerais presentes e o comportamento laterítico dos materiais. A seguir, é mostrado sucintamente o processo:

⇒ Método do papel de filtro: preenche-se uma bureta com uma solução de azul de metileno previamente preparada; em uma balança de precisão, pesa-se 1 g de amostra em um *becker* de 100 ml; a amostra é colocada sobre um agitador magnético, com uma *pulga* (cilindro de metal) dentro do *becker* com a solução, durante 5 minutos; adiciona-se a amostra que permanece sobre o agitador, na sequência abaixo especificada, o azul de metileno (1,5 g/l) liberado gradualmente pela bureta:

Intervalo de tempo	30 s	30 s	30 s	30 s	3 min	3 min	3 min
(ml) de azul de metileno	1	1	1	1	1	2	confirmar

após cada intervalo, com o auxílio de um bastão de vidro, uma gota da solução com a amostra é pingada sob o papel de filtro e observado se aparece ou não a auréola azul característica do azul de metileno; o processo cessa quando aparece uma auréola azul em torno da amostra, como ilustrado abaixo:

⇒ Cálculo da C.T.C (capacidade de troca catiônica), da SE (superfície específica), do parâmetro V_B e A_{cb}

A capacidade de troca catiônica (CTC) entre uma solução e o meio pode ser estimada a partir do método de absorção do azul de metileno por:

$CTC = \frac{V \cdot C \cdot 100}{M}$ (meq/100 g); onde V = volume de solução de azul de metileno gasta (ml); C = concentração da solução de azul de metileno (1,5 g/ml); M = massa do solo seco (g).

A superfície específica (SE) é calculada a partir da seguinte formulação:

$SE = \frac{3.64V}{M}$ (m²/g); onde V = volume gasto na bureta (ml); M = massa de solo seco (g)

O parâmetro V_B (valor da absorção do azul de metileno) equivale a massa de azul de metileno necessária para recobrir 100g de solo. É utilizado para determinar a composição mineralógica da fração argilosa.

Onde: $Vb = \frac{[C] \cdot V \cdot 100}{M}$ (g/100g de solo); para: [C] = Concentração (g/ml); V = Volume gasto; M = massa de solo seco (g)

O parâmetro A_{cb} equivale à quantidade de azul de metileno adsorvido por 100 g de amostra, sendo calculado por: $A_{cb} = \frac{100Vb}{C_{(2)}}$ (g/100g de argila); para: Vb = valor de azul de metileno adsorvido (g/100g de solo); $C_{(2)}$ = percentagem de material com diâmetro menor que 0,002 mm.

5.5.3. Descrição das unidades

As simbologias adotadas foram:

R – solo residual	I	Rocha sã
T – material retrabalhado	II	Fracamente alterado
Af – areia fina	III	Levemente alterado
St – silte	IV	Moderadamente alterado
Sa – silte arenoso	V	Altamente decomposto
Sag – silte argiloso	VI	Completamente alterado
D – diabásios	VII	Solo residual
S – siltitos		
L – lamitos		
A – arenitos		

Tabela 23. Caracterização das unidades identificadas.

Unidades	Tipo litológico derivado	Espessura (m)	Textura	% areia	% silte	% argila
R/D/I-IV	Diabásios	2 - 2.5 m				
R/Sag/D/IV-VII	Diabásios	1 - 5 m	silte argiloso	20-22	40-41	38-39
R/S/I-III	Siltito	1 - 1.5 m				
R/Sa/SL/III-V	Siltitos	1.5 - 2.5m	silte arenoso	20-44	49-76	4.-19
R/St-Af/SL/III-V	Siltitos	1 - 3 m	silte à areia fina	17-69	13-51	9.-31
R/St-Af/SL/V-VII	Siltitos	1.5 - 5 m	silte à areia fina	23-48	23-50	11.-34
R/Af/AS/I-IV	Siltitos na base do pacote de arenitos	1 - 7 m	areia fina	66-78	13-21	8.-27
R/Sag/SA/IV-VI	Arenitos na base do pacote de siltitos	1.5 - 3 m	silte argiloso	7.-13	49-65	24-32
R/S-Af/M/II-VI	Intercalação arenitos/siltitos	1 - 3 m	silte à areia fina	29-56	39-53	4.-17
T/Sa-Sag		2 - 2.5 m	silte arenoso à argiloso	11.-40	26-52	16-42

Unidades	Índices Físicos						
	ρ_d (g/cm ³) _{campo}	W_o (%)	ρ_o (g/cm ³)	ρ_{s_o} (g/cm ³)	e_o	n_o (%)	Sr_o (%)
R/D/I-IV							
R/Sag/D/IV-VII				2.78			
R/S/I-III							
R/Sa/SL/III-V	1.84	12.08	2.06	2.6 - 2.7	0.4 - 0.46	28.8 - 31.8	70.0 - 77.2
R/St-Af/SL/III-V	1.34 - 2.06	6.14 - 14.04	1.49 - 2.23	2.60 - 2.64	0.5 - 0.96	32.9 - 48.9	25.5 - 43.9
R/St-Af/SL/V-VII	1.33 - 1.79	19.9 - 12.04	1.59 - 2.03	2.61 - 2.75	0.5 - 1.05	51.4 - 31.5	42.4 - 77.8
R/Af/AS/I-IV	1.72 - 1.76	6.8 - 10.8	1.88 - 1.9	2.6 - 2.65	0.5	33.3	36 - 56.1
R/Sag/SA/IV-VI	1.62 - 1.92	9.67 - 15.49	1.87 - 2.11	2.61 - 2.71	0.35 - 0.67	26.2 - 40.2	62.4 - 71
R/S-Af/M/II-VI	1.4 - 1.9	11.24 - 33.3	1.85 - 2.09	2.6 - 2.82	0.4 - 1	27 - 50	78 - 91
T/Sa-Sag	1.49	8.04	1.61	2.63 - 2.66	0.76 - 0.78	43.3 - 43.9	27.3 - 27.7

Unidades	CTC _(meq/100g)	SE	Vb(g/100g de solo seco)	Acb(g/100g de argila)	K(cm/s) 10 ⁻³
R/D/I-IV					
R/Sag/D/IV-VII	7.0-8.0	57-58	2-2.35	6.0-7.0	
R/S/I-III					
R/Sa/SL/III-V	3.0 - 7.0	23-55	0.9-2.25	5.0-32	0.06-0.2
R/St-Af/SL/III-V	3.01-4.09	23-39	0.9-1.6	3.5-9.7	0.02-0.7
R/St-Af/SL/V-VII	3-4.6	24-36	0.7-1.5	3-6.2	0.2-1
R/Af/AS/I-IV	3-3.1	22.5-24.2	0.92-1	3.5-11	0.6-1.7
R/Sag/SA/IV-VI	3-7.5	23-59	0.9-2.4	2.2-9.7	0.0006 - 0.1
R/S-Af/M/II-VI	-	9.8-10.7	0.4-0.43	2-8.5	0.15 - 0.17
T/Sa-Sag	3-4.7	24-37	1-1.5	3-6.3	0.01-1

Unidades	Erodibilidade		Comportamento laterítico
	Obs de campo	índice E	(relação Vb (g/100g de solo) x % argila)
R/D/I-IV	Baixa		
R/Sag/D/IV-VII	Baixa		não
R/S/I-III	Baixa		
R/Sa/SL/III-V	Baixa	Baixa	sim
R/St-Af/SL/III-V	Alta	Alta	sim
R/St-Af/SL/V-VII	Baixa	Alta	sim
R/Af/AS/I-IV	Alta	Alta	sim
R/Sag/SA/IV-VI	Alta	Alta	sim
R/S-Af/M/II-VI	Baixa	Baixa	sim
T/Sa-Sag	Baixa	Baixa	sim

A Figura 52 ilustra as faixas de permeabilidade, de CTC (capacidade de troca catiônica), da composição mineralógica da fração fina dos materiais e da atividade das argilas, adotadas neste trabalho, juntamente com as nomenclaturas utilizadas, baseadas em ZUQUETTE (1987) e PEJON (1992).

Figura 52 (a) Classificação da permeabilidade; (b) da CTC (capacidade de troca catiônica); (c) da composição mineralógica da fração fina dos materiais; e (d) da atividade das argilas adotadas (ZUQUETTE, 1987; PEJON, 1992).

5.5.3.1. Unidades R/D/(I-IV) e R/Sag/D/(IV-VII)

Representam as unidades derivadas dos corpos de diabásio aflorantes na região, com espessuras observadas em campo variando de 1 à 5 m.

A unidade R/D/(I-IV) constitui a porção maciça do corpo, onde observa-se desde a rocha sã até menos da metade da rocha decomposta, com a presença de uma grande quantidade de fragmentos de rocha de tamanhos variados (decimétricos à centimétricos) e uma matriz de textura silto-argilosa.

A unidade R/Sag/D/(IV-VII) configura a porção mais evoluída do perfil, na qual foram retiradas amostras para ensaios de caracterização e de azul de metileno, mais especificamente da faixa de solo residual.

Esta unidade caracteriza-se por uma coloração marrom avermelhado de textura silto-argilosa (percentual de argila maior que 20%).

Valores de Vb (g/100g de solo) maiores que 1,5 g/100g indicam comportamento não laterítico dessa unidade e de Ac_b em torno de 6 g/100g de argila mostram que a fração fina varia de pouco ativa a normal. A CTC (capacidade de troca catiônica) e o Ac_b, calculados pelo azul de metileno, indicam a presença predominante de caolinita, haloísita e ilita na composição mineralógica da fração argila.

As observações de campo mostraram que essa unidade apresenta um baixo potencial à erosão, mesmo com um forte fraturamento subvertical.

As duas unidades juntas representam aproximadamente 32 km² da área estudada, fazendo parte de bacias de sexta e terceira ordens. O maior corpo situa-se completamente em uma bacia de sexta ordem, ocorrendo principalmente na Unidade 1 e Unidade 4 do Mapa de *Landforms*.

A Figura 53 ilustra o perfil completo observado, englobando as duas unidades.

5.5.3.2. Unidades R/S/(I-III), R/Sa/SL/(III-V), R/St-Af/SL/(III-V) e R/St-Af/SL/(V-VII)

Este grupo de unidades representa todos os níveis de alteração gerados principalmente a partir de siltitos; localizadamente, lamitos podem ser observados intercalados, mas como estes não configuram um perfil próprio, optou-se por agrupá-los nessas unidades. Estas vão desde a rocha sã até solo residual, tendo como variáveis principalmente os aspectos texturais e o grau de erodibilidade dos materiais.

(a) material completamente alterado; em detalhe linha de seixos marcando o topo do perfil e o contato com o material retrabalhado.

(b) nível moderadamente alterado a altamente decomposto, com a presença de fragmentos de tamanhos variados (centimétricos a métricos) em matriz silto-argilosa.

(c) material moderadamente alterado, destaque para o intenso fraturamento, tipo colunar.

(d) nível levemente alterado, a alteração se manifesta apenas pelas discontinuidades; em destaque o contato com o material retrabalhado.

(e) nível onde predomina a rocha sã.

Figura 53. Perfil completo da seqüência de rochas básicas

a) Unidade R/S/(I-III)

Representa a porção rochosa, onde a influência da rocha original é predominante, sendo caracterizada por siltitos de coloração cinza-esbranquiçados à branco-avermelhados, de espessuras variando de 1-1,5 m. Quando tomado pela alteração superficial, observa-se uma coloração amarelada recobrimdo a maior parte do perfil; o aspecto empastilhado e a presença de finas lâminas que se alternam entre arenosas e argilosas são constantes nessa unidade.

É representada principalmente pela Unidade 1 do Mapa de *Landforms* e ocorre em bacias de terceira à sexta ordem, predominando nas de quarta e quinta ordens. Em termos de área abrange cerca de 115 km².

Em campo, não foram observadas feições erosivas significativas e de continuidade lateral e vertical, portanto essa unidade apresenta um baixo potencial à erosão.

Localizadamente, observam-se coberturas de material transportado variando de 0,5 a 2 m.

b) Unidade R/Sa/SL/(III-V)

O perfil típico desta unidade abrange desde a alteração superficial do maciço como um todo até mais da metade da rocha decomposta para solo (Figura 54).

De forma geral, observa-se um perfil espesso, variando entre 1,5 a 2,5 m, de coloração mais avermelhada que a da unidade anterior. As texturas observadas mostram predominantemente o caráter silto-arenoso (percentual de argila < 20%). Apenas pontualmente (onde ocorrem lamitos associados) a textura passa para silto-argilosa (percentual de areia < 10%).

As informações fornecidas pelo azul de metileno mostram que essa unidade apresenta comportamento laterítico, com a fração fina variando de pouco ativa a normal, indicando, na composição mineralógica da fração argila, a presença predominante de caolinita, haloísita e illita. Esses materiais são considerados semi-permeáveis e com valores de CTC baixos à moderados (Figura 52).

Essa unidade, tanto pelas observações de campo, quanto através do índice de erodibilidade ($E < 1$), apresenta baixo potencial a erosão. Mesmo nos taludes de corte de estrada, não foram observadas feições de continuidade, restringindo-se a sulcos localizados, conseqüentes de algum escoamento concentrado naquele local.

Abrange cerca de 113 km². da área estudada, fazendo parte principalmente das Unidades 1, 2 e 3 do Mapa de *Landforms*. Em relação as sub-bacias hidrográficas, encontra-se principalmente inserida em bacias de terceira, quinta e sexta ordens.

(a) vista geral do perfil da unidade.

(b) perfil mostrando a porção mais conservada do maciço (inferior) e a porção mais alterada (superior), nesta unidade.

(c) detalhe mostrando a porção mais conservada do maciço (inferior) e a porção mais alterada (superior), sendo difícil a separação com o material retrabalhado (espessura < 50 cm), que recobre o perfil.

(c) 1. porção superior do perfil, mais da metade da rocha está alterada;
2. material retrabalhado de cobertura.

Figura 54. Perfis da unidade R/Sa/SL/(III-V).

c) Unidade R/St-Af/SL/(III-V)

Essa unidade apresenta o mesmo perfil da unidade anterior (alteração superficial do maciço como um todo até mais da metade da rocha decomposta para solo) e o mesmo substrato rochoso, diferenciando-se nas demais características (Figura 55).

O perfil é um pouco mais espesso (até 3 m), as texturas variam desde silte argiloso (% argila > 20%) até areia fina (% areia > 50%), constituindo desta forma um pacote bastante heterogêneo.

Os valores de $V_b > 1,5$ g/100g de solo indicam comportamento laterítico dessa unidade, com a atividade da fração fina variando de pouco ativa a normal. Na composição mineralógica da fração argila, predomina caolinita. De acordo com os valores da Figura 51(a, b), esses materiais são considerados semi-permeáveis e com valores de CTC baixos.

As observações de campo e índice de erodibilidade ($E > 1$) indicam alto potencial à erosão para essa unidade. As características texturais desse material são as principais responsáveis por isso, tendo sido observadas feições erosivas de porte variado, desde pequenos sulcos até profundidades de 1,5 a 2 m.

Com relação aos aspectos físicos, abrange cerca de 34 km², fazendo parte das Unidades 1 e 3, do Mapa de *Landforms*, em sub-bacias quarta ordem.

d) Unidade R/St-Af/SL/(V-VII)

Nessa unidade é observado o perfil mais evoluído, com a presença de pacotes bastante espessos (1 a 5 m) e níveis de solo residual de até 3 m de altura. Permanecendo ainda o mesmo substrato rochoso (Figura 56).

Apresenta coloração avermelhada marcante, com poucos a nenhum resquício da rocha original. As texturas variam entre silte e areia fina, com teores de argila variáveis chegando a valores > 20%.

A atividade da fração fina varia de pouco ativa a normal, predominando caolinita. Esses materiais são considerados permeáveis a semi-permeáveis e com valores de CTC baixos, apresentando comportamento laterítico.

O índice de erodibilidade ($E > 1$) indica alto potencial à erosão para essa unidade, porém a mesma apresentará, no conjunto, um baixo potencial, devido principalmente a sua boa permeabilidade.

Nesta unidade, observam-se linhas de seixo marcando o contato com o material transportado, variam de 10 a 15 cm de espessura, sendo os seixos na maioria milimétricos à

(a) perfil da unidade, mostrando a sua tendência erosiva; predomina neste perfil, a porção levemente a moderadamente alterada do maciço, sendo característico o forte empastilhamento do material e a baixa resistência ao toque com o martelo (no máximo 2 golpes para decompô-lo por completo).

(b) feição erosiva de grande porte causada pela ação conjunta das águas superficiais e atividades irregulares antrópicas de remoção deste material, causando deslizamentos na porção superior do maciço.

(c) praticamente toda a rocha encontra-se alterada e descolorida, com perda das características da rocha original, observando-se apenas alguns indícios na porção mais basal.

Figura 55. Perfis da unidade R/St-Af/SL/(III-V).

(a) presença de fragmentos da rocha original, na porção basal do perfil desta unidade.

(b) vista geral do perfil

(c) linha de seixos marcando o topo da unidade.

(d) pacote de solo residual, com espessura maior que 2 m.

(e) feição erosiva de grande porte na unidade, aproximadamente 1,80 de altura e 3 de largura, causada pelas águas superficiais e construção irregular do talude.

Figura 56. Perfis da unidade R/St-Af/SL/(V-VII).

centimétricos. A maior espessura de material retrabalhado observada foi de 1,5 m, sendo na maioria dos casos inferior a 50 cm.

Em termos de área, abrange cerca de 24 km², pertencendo às unidades 2 e 4, do Mapa de *Landforms*, em sub-bacias quinta ordem.

5.5.3.3. Unidades R/Af/AS/(I-IV), R/Sag/SA/(IV-VI), e R/St-Af/M/(II-VI).

Este grupo reúne um pacote litológico marcado pela forte influência da alternância entre siltitos e arenitos, principal responsável pelo comportamento dos materiais inconsolidados.

a) Unidade R/Af/AS/(I-IV)

O substrato rochoso dessa unidade é marcado por siltitos constituindo a base de corpos de arenitos. No pacote de arenitos, o perfil típico varia desde a rocha sã até menos da metade da rocha decomposta para solo. Não será tratada a base de siltitos, pois esta apresenta espessuras menores que 50 cm, restringindo-se à rocha sã (Figura 57).

O pacote de alteração do arenito é espesso, de até 7 m, de coloração esbranquiçada à laranja-avermelhada na porção mais evoluída. A textura observada é predominantemente areia fina (% areia > 50%).

Essa unidade apresenta comportamento laterítico, com a fração fina variando de pouco ativa a inativa. Na composição mineralógica da fração argila, ocorre predominantemente caolinita. É considerada semi-permeável a permeável e com valores de CTC baixos.

Mesmo sendo considerado um material permeável, o índice de erodibilidade apresentou valores maiores que 1, ou seja, alto potencial à erosão. Isso pode ser explicado pela proximidade do contato arenito/siltito, no local onde foi realizada a amostragem. A heterogeneidade, nestes pontos do perfil, é responsável por algumas feições erosivas observadas e pelo resultado apresentado pelo índice.

Corresponde a apenas 8 km², da área estudada, fazendo parte principalmente da Unidade 2 (2.3) do Mapa de *Landforms*, estando inteiramente inserida na bacia correspondente ao canal principal (Rio Capivari).

(a) 1. corpo de arenito na porção superior; 2. base composta por siltitos.

(b) feições causadas pelo fluxo de águas superficiais no perfil.

(c) porção mais evoluída do perfil, correspondendo a todo maciço alterado.

Figura 57. Perfis da Unidade R/Af/AS/(I-IV).

b) Unidade R/Sag/SA/(IV-VI)

Essa unidade é o oposto da unidade anterior, sendo marcada por um substrato rochoso de arenitos na base de corpos de siltitos. O pacote de siltitos varia de menos da metade da rocha decomposta para solo até todo maciço alterado, com a base de arenito apresentando espessuras menores que 50 cm e restringindo-se a rocha sã (Figura 58).

O pacote de alteração do siltito é menos espesso, de até 3 m, com coloração esbranquiçada à avermelhada nas porções mais evoluídas. A textura observada é predominantemente silto-argilosa (% argila > 20%).

Apresenta comportamento laterítico, com a fração fina variando de pouco ativa a normal, ocorrendo caolinita, haloisita e illita. Os valores de K indicam um material na faixa de semi-permeável a impermeável e a CTC varia de baixa a moderada.

O índice de erodibilidade apresentou valores maiores que 1 (alto potencial erosivo), confirmado pelas feições de porte diferenciado e continuidade lateral observadas em campo. Neste ponto, também influencia o fato de se encontrar em uma área bem drenada, de alto escoamento superficial e com os maiores valores de declividade da região.

Corresponde à maior porção da área estudada, cerca de 129 km², fazendo parte da principalmente da Unidade 2 do Mapa de *Landforms*, em bacias de quarta e quinta ordens.

c) Unidade R/St-Af/M/(II-VI)

Nesta unidade, ocorrem arenitos intercalado na forma de grandes lentes à siltitos. Em geral, varia da rocha praticamente sã à todo maciço alterado. As lentes possuem em média 1 m de amplitude e largura variável (> 1m), inseridas em siltitos com espessuras em torno de 3 m (Figura 59).

O pacote de alteração do siltito apresenta coloração esbranquiçada, com textura variando de silte a areia fina (% argila < 20%). O comportamento laterítico pode ser observado no campo, pela presença de níveis lateritizados no contato entre o arenito e o siltito. A fração fina varia de pouco ativa a normal. Os valores de K indicam um material impermeável.

O índice de erodibilidade apresentou valores menores que 1 (baixo potencial erosivo), não tendo sido observadas feições erosivas de porte e continuidade lateral, no campo.

Esta unidade apresenta uma área de cerca de 12 km², fazendo parte da Unidade 1 de *landforms*, em bacias de terceira ordem.

(a) perfil típico da unidade, com predomínio da fase menos evoluída, moderadamente alterada.

(b) processo erosivo em desenvolvimento, gerado pela ação das águas superficiais, aliada a construção irregular do talude.

(c) perfil da unidade, onde predomina a fase mais evoluída, completamente alterada.

Figura 58. Perfis da unidade R/Sag/SA/(IV-VI).

Figura 59. Perfil da unidade R/St-Af/M/(II-VI).

5.5.3.4. Unidade T/Sa-Sag

Corresponde à unidade de material transportado observada na bacia. Este perfil representa toda a faixa de retrabalhado, observada acima dos siltitos, arenitos e diabásios. O contato entre essas duas unidades pode ser visualizado seja pela presença de linhas de seixos decimétricas, seja por discordâncias bastante expressivas (Figura 60).

Os pacotes observados apresentam espessuras inferiores a 2,5 m, coloração branco-amarelada, textura variando de silte - argiloso à silte-arenoso (percentual de argila variando de 16 a 42 %), constituindo um material que varia de permeável a semi - permeável.

O índice de erodibilidade é menor que 1, não tendo sido observadas em campo feições erosivas significativas.

O comportamento laterítico pode ser evidenciado pela presença de níveis lateritizados ao longo do perfil, observados em campo.

Em área, abrange cerca de 20,4 km², correspondendo a aproximadamente metade do material que ocorre ao longo do canal principal (Rio Capivari) e localizadamente em bacia de quarta ordem.

5.5.4. Descrição geral das características do meio-físico da área estudada.

Neste item, foram agrupadas as características do meio-físico (substrato rochoso, material inconsolidado e *landforms*) da área estudada. O modelo seguido foi adaptado de SOUZA (1992), que formulou uma tabela que consegue sintetizar de forma clara uma grande quantidade de atributos do meio-físico, sendo o formato apresentado neste trabalho mais simplificado (tabelas 24, 25, 26 e 27). Com o objetivo de facilitar a visualização das informações será utilizada a nomenclatura da Tabela 28.

No Capítulo IV (Tabela 20), foram apresentados quatro padrões de comportamento indicados pela análise numérica da morfometria da drenagem, estes foram comparados as unidades de *landforms* descritas neste capítulo, produto da análise de fotografias aéreas e dos trabalhos de campo, resumidas nas tabelas 24, 25, 26 e 27. O resultado mostra que há uma relação entre as duas formas de compartimentação de unidades de terreno, sendo possível utilizar a análise numérica em auxílio a análise descritiva (Tabela 29).

Figura 60. Perfis da unidade T/Sa-Sag.

Tabela 24. Classificação e avaliação de terrenos: Unidade 1.

UNIDADE DE TERRENO : 1

MORFO – ESTRUTURA : BACIA DO PARANÁ

MORFO – ESCULTURA : DEPRESSÃO

PERIFÉRICA

GRUPO/FORMAÇÃO/IDADE :

TUBARÃO/ITARARÉ/PERMIANO

RELEVO : COLINAS ARREDONDADAS E

VALES

ESTREITOS

OCORRÊNCIA : NW-SW-SE DA ÁREA

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS									
UMI	Nível de alteração	Textura (%)			W _{campo} (%)	ρ _d campo	ρ _s	ρ _o	K (10 ⁻³)
		Areia	Silte	Argila					
4	III – V	20-44	49-76	4-19	12	1.84	2.6 – 2.7	2.06	0.06 - 0.2
5	III – V	7-13	17-69	9-31	6-14	1.3-2	2.6	1.5-2.2	0.02 - 0.7
9	II – VI	29-56	39-53	4-17	11 - 33	1.4 – 1.9	2.6 – 2.82	1.85 – 2.09	0.15 - 0.17

MATERIAL INCONSOLIDADO		
Perfil típico de alteração		Textura
perfil pouco evoluído, predominando a porção rochosa		silte arenoso a silte
		Erodibilidade
		baixa

	FORMAS DE RELEVO												SUBSTRATO ROCHOSO		
Unidades	Tipo de forma	Área (km ²)	Formas típicas	Amplitude de relevo média (m)	Declividade (%)	Parâmetros morfométricos								Classificação estratigráfica	Tipo litológico
						Ordem de bacias	K	Dd (km/km ²)	Tt / Ir	Cm (Km)	Rr	Dmx (°)	Padrão drenagem		
1.1	colinas	211	topos arredondados	88.1	< 8	3 ^o	1.63	> 3	média	> 0.3	< 0.02	< 20	treliça subdendrítico	Grupo Tubarão Fm. Itararé	Siltitos Arenitos
1.2	vales estreitos		vertentes convexas				Ic	Dh (n/km ²)		Eps (Km)					
							0.2 a 0.4	< 4		0.15 a 0.25

PERFIL TÍPICO DA UNIDADE

MODELO DIGITAL DO TERRENO

EM DETALHE NA FOTOGRAFIA: A UNIDADE 1.1 : TOPOS LONGOS E SUAVES.

Tabela 25. Classificação e avaliação de terrenos: Unidade 2.

UNIDADE DE TERRENO : 2

MORFO – ESTRUTURA : BACIA DO PARANÁ

MORFO – ESCULTURA : DEPRESSÃO

PERIFÉRICA

GRUPO/FORMAÇÃO/IDADE :

TUBARÃO/ITARARÉ/PERMIANO

RELEVO : COLINAS ANGULOSAS, VALES

ABERTOS E AMPLOS

OCORRÊNCIA : N-NE DA ÁREA

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS									
UMI	Nível de alteração	Textura (%)			W _{campo} (%)	pd campo	ps	po	K (10 ⁻³)
		Areia	Silte	Argila					
4	III – V	20-44	49-76	4-19	12	1.84	2.6 – 2.7	2.06	0.06 - 0.2
6	V – VII	23-48	23-50	11-34	12-20	1.3-1.8	2.6 – 2.7	1.6-2	0.2-1
7	I – IV	66-78	13-21	8-27	7-11	1.7	2.6	1.9	0.6 – 1.7
8	IV – VI	7-13	49-65	24-32	9.7-15	1.62-1.92	2.6 – 2.7	1.87-2.11	0.0006-0.1

MATERIAL INCONSOLIDADO		
Perfil típico de alteração		Textura
perfil evoluído, predominando a porção que vai do saprolito ao solo residual		silte argiloso, silte arenoso, areia fina
		Erodibilidade
		alta

FORMAS DE RELEVO														SUBSTRATO ROCHOSO	
Unidades	Tipo de forma	Área (km ²)	Formas típicas	Amplitude de relevo média (m)	Declividade (%)	Parâmetros morfométricos								Classificação estratigráfica	Tipo litológico
						Ordem de bacias	K	Dd (km/km ²)	Tt / lr	Cm (Km)	Rr (m/km)	Dmx (°)	Padrão drenagem		
2.1	colinas	166	topos angulosos	117	8 -- 20	4 e 5 ^a	1.52 à 1.62	2 - 3	fina	< 0.3	0.02	20	treliça/ angular	Grupo Tubarão Fm. Itararé	Siltitos Arenitos
2.2	vales amplos		vertentes retilíneas				lc			Eps (Km)			subdendrítico		
2.3	vales rasos		vertentes côncavas				0.4 a 0.5			< 0.15			dendrítico

- EM DETALHE NA FOTOGRAFIA, FORMAS ISOLADAS UNIDADE 2.1, ASSOCIADAS A VERTENTES CÔNCAVAS DA UNIDADE 2.3.

PERFIL TÍPICO DA UNIDADE

MODELO DIGITAL DO TERRENO

Tabela 26. Classificação e avaliação de terrenos: Unidade 3.

UNIDADE DE TERRENO : 3
MORFO – ESTRUTURA : BACIA DO PARANÁ
MORFO – ESCULTURA : DEPRESSÃO
PERIFÉRICA
GRUPO/FORMAÇÃO/IDADE :
TUBARÃO/ITARARÉ/PERMIANO
RELEVO : COLINAS ANGULOSAS E VALES
ABERTOS E RASOS
OCORRÊNCIA : S DA ÁREA

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS									
Unidade	Nível de alteração	Textura (%)			W _{campo} (%)	pd campo	ps	po	K (10 ⁻³)
		Areia	Silte	Argila					
4	III – V	20-44	49-76	4-19	12	1.84	2.6 – 2.7	2.06	0.06 - 0.2
5	III – V	7-13	17-69	9-31	6-14	1.3-2	2.6	1.5-2.2	0.02 - 0.7

MATERIAL INCONSOLIDADO		
Perfil típico de alteração		Textura
perfil evoluído, predominando a porção saprolítica		silte arenoso
		Erodibilidade
		baixa

FORMAS DE RELEVO														SUBSTRATO ROCHOSO	
Unidades	Tipo de forma	Área (km ²)	Formas típicas	Amplitude de relevo média (m)	Declividade (%)	Parâmetros morfométricos								Classificação estratigráfica	Tipo litológico
						Ordem de bacias	K	Dd (km/km ²)	Tt / Ir	Cm (Km)	Rr (m/km)	Dmx (°)	Padrão drenagem		
3.1	colinas	59	topos angulosos	88	4 -- 8	3 e 4 ^a	1.6	< 2	média	> 0.4	< 0.02	< 20	treliça	Grupo Tubarão Fm. Itararé	Siltitos Arenitos
3.2	vales abertos e rasos		vertentes convexas e retilíneas	117			lc	Dh (n/km ²)		a					
							0.2 a 0.5	1 – 3.5	grossa	> 0.25

- EM DETALHE NA FOTOGRAFIA VERTENTE CONVEXA E VALE ABERTO E RASO, TÍPICOS DA UNIDADE 3.2.

PERFIL TÍPICO DA UNIDADE

MODELO DIGITAL DO TERRENO

Tabela 27. Classificação e avaliação de terrenos: Unidade 4.

UNIDADE DE TERRENO : 4
 MORFO – ESTRUTURA : BACIA DO PARANÁ
 MORFO – ESCULTURA : DEPRESSÃO
 PERIFÉRICA
 GRUPO/FORMAÇÃO/IDADE :
 TUBARÃO/ITARARÉ/PERMIANO
 RELEVO : COLINAS E VALES
 ESTREITOS
 OCORRÊNCIA : SE–E–NE DA ÁREA

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS									
Unidade	Nível de alteração	Textura (%)			W _{campo} (%)	pd campo	ps	po	K (10 ⁻³)
		Areia	Silte	Argila					
6	V – VII	23-48	23-50	11-34	12-20	1.3-1.8	2.6 –2.7	1.6-2	0.2-1
8	IV – VI	7-13	49-65	24-32	9.7-15	1.62-1.92	2.6 –2.7	1.87-2.11	0.0006-0.1

MATERIAL INCONSOLIDADO		
Perfil típico de alteração		Erodibilidade
perfil evoluído, predominando a porção que vai do saprolito ao solo residual		alta
		silte argiloso silte areia fina

	FORMAS DE RELEVO													SUBSTRATO ROCHOSO		
Unidades	Tipo de forma	Area (km ²)	Formas típicas	Amplitude de relevo média (m)	Declividade (%)	Parâmetros morfométricos								Classificação estratigráfica	Tipo litológico	
						Ordem de bacias	K	Dd (km/km ²)	Tt / Ir	Cm (Km)	Rr (m/km)	Dmx (°)	Padrão drenagem			
4.1	colinas	54	topos achatados	116.63	< 8	5 °	1.52	> 3	média	0.3 a 0.4	< 0.02	< 20	subdendrítico	Grupo Tubarão Fm. Itararé	Siltitos Arenitos	
4.2	vales estreitos		vertentes convexas e côncavo/convexas				Ic	Dh (n/km ²)		a						Eps (Km)
							0.4	4	fina	0.15 a 0.2

EM DETALHE, VERTENTE CONVEXA DA UNIDADE 4.2.

PERFIL TÍPICO DA UNIDADE

MODELO DIGITAL DO TERRENO

Tabela 28. Nomenclatura utilizada na identificação das unidades de material inconsolidado.

Unidades de material inconsolidado (UMI)	Descrição das unidades	Identificador
R/D/I-IV	<i>Diabásio, rocha sã a moderadamente alterada</i>	1
R/Sag/D/IV-VII	<i>Residual de diabásio, textura silto-argilosa</i>	2
R/S/I-III	<i>Siltitos, rocha sã a levemente alterada.</i>	3
R/Sa/SL/III-V	<i>Residual de siltitos e lamitos, textura silto-arenosa</i>	4
R/St-Af/SL/III-V	<i>Residual de siltitos e lamitos, textura de silte a areia fina</i>	5
R/St-Af/SL/V-VII	<i>Residual de siltitos e lamitos, textura de silte a areia fina (nível mais evoluído)</i>	6
R/Af/AS/I-IV	<i>Residual de arenitos e siltitos, textura arenosa</i>	7
R/Sag/SA/IV-VI	<i>Residual de arenitos e siltitos, textura silto-argilosa</i>	8
R/S-Af/M/II-VI	<i>Residual de siltitos e arenitos, textura de silte a areia fina</i>	9
T/Sa-Sag	<i>Solo transportado</i>	10

Comparando o gráfico da Figura 41c e com a Tabela 29 observa-se que não é possível associar diretamente os limites das sub-bacias aos contornos definidos por fotografias aéreas e trabalhos de campo, porém estes indicam o comportamento a ser esperado. Esse tipo de comparação de informações é válido desde que as variações devidas a forma das vertentes, topos e vales, seja associada ao comportamento da rede de drenagem e ao grau de dissecação do terreno, desta forma é possível definir os limites correspondentes as unidades de relevo existentes na área estudada.

Tabela 29. Comparação entre a análise numérica e descritiva das unidades de *landforms* definidas por meio de fotointerpretação e atividades de campo

Padrão	Dd (km/km ²)	Dh (n/km)	Dmax (°)	G (%)	Unidade de <i>landform</i> correspondente
A	< 2	< 2	15 – 19	1 – 2	Unidade 3
B	2 – 3,5	2 – 4	16 – 22	1 – 3	Unidades 1 e 4
C	2 – 4	4	22 – 24	3 – 4	Unidade 2
D	2 – 4	4 – 9	20 – 24	variável	Unidade 2

Capítulo VI

Produtos Cartográficos: Cartas Interpretativas

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão descritos os documentos gerados a partir do cruzamento dos documentos gerados no Capítulo V, utilizando o programa IDRISI, desenvolvido pela *Clark University/EUA*, através de tratamentos matemáticos e combinação de mapas pelos métodos de matrizes e superposição. Os produtos obtidos foram:

- ⇒ Carta de Declividade
- ⇒ Carta de Potencial ao Escoamento Superficial
- ⇒ Carta de Potencial a Infiltração
- ⇒ Carta de Susceptibilidade a Erosão
- ⇒ Carta do Zoneamento Geotécnico Geral

Com base nestas informações e com que foi pesquisado na literatura, realizou-se neste capítulo também um estudo geral da situação das águas subsuperficiais na bacia do Rio Capivari.

6.2. CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO VI)

Esta carta foi confeccionada utilizando como material cartográfico o mapa topográfico do IBGE, escala 1:50.000 e o Sistema de Informações Geográficas IDRISI.

A divisão dos intervalos adotados em percentagem está ilustrada na Tabela 30, feita com base nos seguintes critérios:

- *segundo a metodologia de ZUQUETTE (1987);*
- *ser a mais representativa da distribuição das curvas topográficas na área;*

- ser capaz de fornecer as informações necessárias à confecção de outras cartas de cunho interpretativo e analítico.

Tabela 30. Intervalos adotados.

Classe	Intervalos	% em área
1	< 4 %	36.7
2	4 – 8 %	27.5
3	8 – 12 %	16.6
4	12 – 16 %	9.5
5	16 – 20 %	5
6	> 20 %	4.7

Nesta classificação, foram consideradas as classes que tivessem representatividade superior a 4.5 % (percentual cumulativo equivalente ao total em área) em área. As classes superiores a 20 % representam cerca de 4.7 % da área total mapeada, o que as torna de difícil visualização na carta, por isso adotou-se este limite.

Os procedimentos básicos utilizados na confecção desta carta, por meio do IDRISI estão esquematizados abaixo:

- ⇒ o mapa topográfico, na escala 1:50.000, digitalizado (utilizando o programa AUTO-CAD 14), foi transportado, no formato de texto (na extensão TXT onde são discriminadas as coordenadas x, y, e z), para o programa SURFER;
- ⇒ no SURFER, foi gerado um arquivo, que representa a forma *raster* (imagem; extensão GRD) da topografia;
- ⇒ esta forma foi exportada para o IDRISI e, utilizando o arquivo gerado, foram efetuados os seguintes passos:

- ⇒ podem ser geradas classes de declividade em graus ou porcentagem; neste trabalho optou-se por apresentar em porcentagem, esses valores foram a seguir reclassificados, no

próprio programa (módulo *Analysis/Data base query*; comando *reclass*), sendo permitido ao usuário definir as classes ou deixar a critério do mesmo.

A Figura 61 ilustra, de forma comparativa, porções da carta confeccionadas tanto segundo o IDRISI como utilizando a metodologia de DE BIASI (1970); o resultado mostrou-se satisfatório, com uma variação entre ambas face ao maior detalhamento realizado pelo programa.

Figura 61. Regiões da área estudada: (a) declividade pela metodologia DE BIASI (1970); (b) declividade utilizado o IDRISI.

Devido às características da área, alguns topos das cotas mais elevadas (> 620m) apresentaram declividades na faixa de menores que 4 %, resultando em aparente achatamento. Porém as atividades de campo comprovaram a suavidade da topografia nestas regiões, com formas de relevo caracterizadas por uma sucessão de superfícies onduladas, com vertentes longas (> 100 m) e quebras somente muito próximo aos cursos d'água (Figura 62).

Comparando os resultados obtidos ao parâmetro morfométrico declividade máxima da vertente (tratado no Capítulo IV - Figura 39b), observou-se o predomínio de valores baixos como esperado (20 à 24°), que na realidade representam o desnível tomado a partir da diferença de altitude (amplitude máxima e amplitude mínima) de cada sub-bacia, considerando a somatória do comprimento de todos os canais de drenagem, desta forma configurando um valor médio para cada sub-bacia. Os máximos absolutos encontram-se entre 30 e 35°, ocorrendo em regiões localizadas da área de estudo, configurando áreas bem restritas. Estes também podem ser obtidos no Idrisi utilizando os seguintes procedimentos

: Distribuindo na forma de faixas de valores entre as sub-bacias, obtêm-se a seguinte configuração:

Figura 62. Região localizada na porção NW da área, a aproximadamente 10 km de Capivari (SP), ilustrando a forma principal das cotas mais elevadas da região onde observa-se declividades muito suaves, mais fortes somente muito próximo aos cursos d'água.

Utilizando a carta de declividade e o mapa topográfico, no ambiente IDRISI, é possível gerar cartas derivadas que fornecem informações sobre a direção geral das vertentes e seus comprimentos.

Os procedimentos utilizados estão esquematizados abaixo:

- ⇒ é usado o mesmo arquivo *raster* (imagem; extensão GRD) da topografia, utilizado para geração da carta de declividade;
- ⇒ no ambiente IDRISI, são efetuados os seguintes passos:

- 3. são fornecidos dois arquivos, um de magnitude e outro de direção, o primeiro de comprimento das vertentes e o último a direção de maior declividade da vertente;

4. esses valores são a seguir reclassificados, no próprio programa (módulo *Analysis/Data base query*; comando *reclass*).

Os resultados estão resumidos nas figuras 63 e 64, mostrando uma tendência geral da área para direção NE-SW e menores para NW-SE, e que o comprimento das vertentes, na maior parte da área é de 450 à 600 m. Estes produtos podem servir de auxílio em estudos voltados à erosão e na busca do sentido da maior declividade das vertentes, que até o momento não conseguiu-se obter.

Figura 63. Direção de maior declividade da vertente, gerada pelo programa IDRISI.

Figura 64. Comprimento máximo das vertentes.

6.3. CARTA DE POTENCIAL AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL (ANEXO VII) E CARTA DE POTENCIAL A INFILTRAÇÃO (ANEXO VIII)

6.3.1. Seleção das cartas básicas e interpretativas

A Figura 65 ilustra a sequência de atributos analisados, tanto para o escoamento superficial quanto para o potencial à infiltração.

Figura 65. Atributos considerados

A carta de extensão do percurso d'água superficial foi elaborada com o objetivo de desenvolver uma rotina dentro do programa IDRISI, onde tentou-se buscar uma alternativa à densidade de drenagem linear, desenvolvida em PEJON (1992) e que, segundo este autor, corresponderia *"à maior distância percorrida pelo escoamento superficial até encontrar um canal permanente"*, conceito este semelhante ao exposto em GANDOLFI (1968) e CHRISTOFOLETTI (1970) para o parâmetro morfométrico extensão do percurso superficial (Eps), que representa *"a distância média percorrida pelo escoamento concentrado até encontrar um canal permanente"*.

A sistemática adotada para elaboração desta carta pelo IDRISI está especificada na Figura 66, onde são discriminados o documento necessário, os módulos e os comandos utilizados. A sequência de valores estimados foram de: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 400, 450, 500, 550, 600, 700, 800, 900, 1000 e 2000 metros.

Como pode ser observado na Figura 67a, as maiores densidades são representadas por distâncias até 200 m, significando que a distância mínima para o escoamento concentrado atingir o canal de drenagem mais próximo é de cerca de 100m, o que confere com o observado para o parâmetro Eps, como ilustra a Figura 67b, sendo que este configura valores médios obtidos para a área de cada sub-bacia analisada.

Figura 66. Sistemática utilizada para elaboração da carta no IDRISI.

(a)

Figura 67. (a) Carta de extensão do percurso d'água superficial.

Figura 67. (b) Distribuição espacial do parâmetro morfométrico extensão do percurso superficial (Eps).

6.3.2. Pesos adotados e matrizes definidas para a Carta de Potencial ao Escoamento Superficial.

Os pesos são em função da importância de cada unidade para o evento isto é, quanto maior for a influência do atributo (ex: permeabilidade) maior será o peso. A Tabela 31 ilustra os pesos adotados para cada unidade de material inconsolidado e substrato rochoso, declividade e extensão do percurso d'água superficial. Na avaliação do grupo de materiais inconsolidados, foram consideradas três classes de permeabilidade, com base em ZUQUETTE (1987) (Tabela 31).

Tabela 31. Pesos adotados para a Carta de Potencial ao Escoamento Superficial.

<i>a) Substrato rochoso</i>		
PESOS	Tipo litológico derivado	
5	<i>Corpos de diabásios, na forma de sills.</i>	<i>JK sg</i>
2	<i>Arenitos muito finos, argilosos intercalados com siltitos e diamictitos</i>	<i>PC im</i>
4	<i>Siltitos alternados à arenitos finos.</i>	<i>PC is</i>

<i>b) Material inconsolidado</i>		<i>Permeabilidade</i>	
PESOS	Tipo geotécnico	$K (cm^2/s) 10^{-3}$	Classes
5	<i>R/D/I-IV</i>	$> 10^{-3}$	<i>permeável</i>
4	<i>R/Sag/D/IV-VII</i>	$10^{-3} - 10^{-5}$	<i>semi-permeável</i>
4	<i>R/S/I-III</i>	$> 10^{-3}$	<i>impermeável</i>
3	<i>R/Sa/SL/III-V</i>		
3	<i>R/St-Aj/SL/III-V</i>		
1	<i>R/St-Aj/SL/V-VII</i>		
1	<i>R/Aj/AS/I-IV</i>		
5	<i>R/Sag/SA/IV-VI</i>		
3	<i>R/S-Aj/M/II-VI</i>		
2	<i>T/Sa-Sag</i>		

<i>c) Declividade</i>	
PESOS	Classes
1	$< 4\%$
2	4.0 - 8.0 %
3	8.0 - 12 %
4	12 - 16 %
5	16 - 20
5	$> 20\%$

<i>d) Extensão do percurso d'água superficial</i>	
PESOS	Classes
5	< 100 m
5	100 – 200 m
4	200 – 300 m
3	300 – 400 m
2	400 – 500 m
1	500 – 800 m
1	> 800 m

A matriz de correlação e a taxa de consistência calculada estão ilustradas na Figura 68.

6.3.3. Pesos e matrizes adotadas para a Carta de Potencial a Infiltração.

A Tabela 32 ilustra os pesos adotados para cada unidade de material inconsolidado e substrato rochoso, declividade e extensão do percurso d'água superficial. Na avaliação do grupo de materiais inconsolidados, também foram consideradas as classes de permeabilidade da Tabela 31.

<i>a) Matriz de Correlação</i>				
	Substrato rochoso	Material inconsolidado	Declividade	Extensão do percurso superficial
Substrato rochoso	1			
Material inconsolidado	2	1		
Declividade	3	3	1	
Extensão do percurso d'água superficial	3	3	1	1

<i>b) Taxa de consistência</i>	
Atributos	Pesos
<i>Substrato rochoso</i>	0.1056
<i>Material inconsolidado</i>	0.1501
<i>Declividade</i>	0.3722
<i>Extensão do percurso d'água superficial</i>	0.3722
Taxa de consistência	0.02

Figura 68. Matriz de correlação e taxa de consistência.

A Carta de Potencial a Infiltração e a Carta de Potencial ao Escoamento Superficial são correlacionáveis; no geral, onde mais escoamento existe o menor potencial a infiltração, por isso a matriz definida assim como a taxa de consistência calculada para o potencial a infiltração são as mesmas da Figura 68.

6.4. CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO (IX)

6.4.1. Considerações iniciais

O fenômeno de erosão consiste na ação combinada de um grupo de agentes naturais (gravidade, chuvas, vento, gelo) ou gerados (desmatamentos, construções inadequadas), que produzem a desagregação dos materiais, já influenciados pelos processos tanto de intemperismo químico e/ou físico. A erosão auxiliada por outro processo, o transporte, é responsável pela remoção de materiais da superfície terrestre consequente modelamento da paisagem.

A importância do estudo das erosões no contexto geotécnico, refere-se à capacidade dos materiais (inconsolidados e do substrato rochoso) em ceder aos processos erosivos e assim influenciar qualquer tipo de atividade (obras civis e ocupação) desenvolvida sobre essas áreas, tais como obras civis e ocupação em geral.

Na Figura 69a são apresentados os atributos considerados (segundo RODRIGUES, 1982), bem como a seqüência de eventos analisados na sistematização do estudo (Figura 69b).

Tabela 32. Pesos adotados para a Carta de Potencial a Infiltração.

<i>a) Substrato rochoso</i>		
PESOS	Tipo litológico derivado	
0	<i>Corpos de diabásios, na forma de sills.</i>	<i>JK sg</i>
3	<i>Arenitos muito finos, argilosos intercalados com siltitos e diamictitos.</i>	<i>PC lm</i>
1	<i>Siltitos alternados à arenitos finos.</i>	<i>PC ls</i>

<i>b) Material inconsolidado</i>	
PESOS	Tipo geotécnico
0	<i>R/D/I-IV</i>
1	<i>R/Sag/D/IV-VII</i>
0	<i>R/S/I-III</i>
2	<i>R/Sa/SL/III-V</i>
3	<i>R/St-Af/SL/III-V</i>
5	<i>R/St-Af/SL/V-VII</i>
5	<i>R/Af/AS/I-IV</i>
2	<i>R/Sag/SA/IV-VI</i>
3	<i>R/S-Af/M/II-VI</i>
1	<i>T/Sa-Sag</i>

<i>c) Declividade</i>	
PESOS	Classes
5	< 4%
4	4,0 - 8,0 %
3	8,0 - 12 %
2	12 - 16 %
1	16 - 20
1	> 20 %

<i>d) Extensão do percurso d'água superficial</i>	
PESOS	Classes
1	< 100 m
1	100 - 200 m
2	200 - 300 m
3	300 - 400 m
4	400 - 500 m
5	500 - 800 m
5	> 800 m

Na Tabela 33 estão especificadas as classes que foram estabelecidas e seus principais critérios definidores. A natureza do terreno e as formas de relevo foram os parâmetros que mais foram explorados.

Figura 69. (a) Atributos considerados para avaliar a erodibilidade dos materiais; (b) descrição do processo erosivo, em função do agente principal, as águas pluviais, relacionando os documentos e suas categorias necessários para elaboração da carta de susceptibilidade à erosão. Modificada de GUERRA (1998).

Tabela 33. Definição das classes de susceptibilidade à erosão (ZUQUETTE, 1987).

CLASSES	NATUREZA DO TERRENO	RELEVO	COBERTURA VEGETAL	AÇÃO ANTRÓPICA	CLIMA
Alta	<i>materiais arenosos</i>	<i>declividades maiores que 12%, encostas convexas; encostas com mais de 500m de extensão</i>	<i>culturas anuais; terrenos descobertos e com ocupação desordenada</i>	<i>áreas com ocupação desordenada e destruição das condições naturais sem proteção</i>	<i>grandes volumes de água em períodos curtos, provocando escoamento</i>
Média	<i>materiais com predomínio de finos (silte+argila)</i>	<i>declividades de 6% à 12%; encostas côncavas de média extensão (100-400m); encostas convexas com mais de 500m de extensão</i>	<i>culturas semi-permanentes</i>		
Baixas	<i>materiais argilosos</i>	<i>declividades menores que 6%, encostas côncavas de extensão variada; e convexa com extensão menor que 100m</i>	<i>cobertura vegetal nativa; reflorestamento de grande porte</i>	<i>ocupação respeitando as condições naturais e existência de formas de proteção; ou sem ocupação</i>	<i>grandes volumes, porém distribuídos de forma uniforme durante o ano.</i>

6.4.2. Avaliação das informações coletadas em campo e laboratoriais.

6.4.2.1. Ensaios

Neste trabalho, foi utilizada a proposta de PEJON (1992), com a realização dos ensaios de absorção e perda d'água por imersão, para quantificar o grau de erodibilidade dos materiais.

O índice de erodibilidade (E) é calculado a partir da expressão: $E = 40P/S$; onde S (índice de absorção) e P (percentagem de perda de peso por imersão) são determinados pelos ensaios a seguir descritos. Para valores de E menores que 1, o material inconsolidado é dito de alta erodibilidade, para valores maiores que 1, é dito de baixa erodibilidade.

⇒ Absorção de água

Consiste em colocar a amostra (indeformada, retirada com auxílio de cilindros de PVC rígidos, com 40 mm de diâmetro por 20 mm de altura) em um recipiente com as mesmas dimensões do cilindro de amostragem, ligado a um tubo horizontal graduado. Na

região superior do recipiente é colocada uma pedra porosa saturada. É medido o tempo necessário e o volume de água absorvida, até que a água atinja a porção superior da amostra. Antes de iniciar o ensaio, é necessário secar à sombra por 7 dias o corpo de prova e em seguida pesá-lo, para avaliar as perdas de massa do ensaio de perda d'água por imersão.

Com esse ensaio é calculado o índice de absorção (S), pela da seguinte relação:

$$S = \frac{q}{\sqrt{t}} \quad ; \text{ onde } q = \text{volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova e } t = \text{tempo.}$$
 A Figura 70(a) ilustra o mecanismo utilizado.

⇒ Ensaio de perda d'água por imersão

A mesma amostra utilizada na absorção de água e aproveitada neste ensaio. Após a saturação da amostra, é adaptada uma pedra porosa a base do corpo de prova e o conjunto é imerso vagarosamente na vertical, em um vasilhame com água, de modo que fique totalmente recoberto. Abaixo do mesmo, é colocado um recipiente para recolher o material que irá desagregar. Aguarda-se um intervalo de tempo de 24 horas para retirar o material que desagregou e o corpo de prova, para em seguida colocá-lo na estufa e avaliar, no final, o quanto de material foi perdido ou seja a percentagem de perda por imersão (P) (Figura 70b).

6.4.2.2. Resultados

Os resultados obtidos corresponderam aos previstos por PEJON (1992), em termos das relações entre o índice de erodibilidade, os índices físicos e percentual de argila, a percentagem de perda de peso por imersão e o comportamento laterítico. Conforme também mostrado pelo mesmo autor, nem todas as amostras apresentaram o resultado esperado a partir das informações obtidas pelos trabalhos de campo.

O gráfico da Figura 71 mostra os materiais que apresentaram alta e baixa erodibilidade. Porém, conforme antecipado, houveram taludes amostrados para os quais os resultados indicaram baixa erodibilidade, e as observações de campo constataram a existência de feições erosivas de grande porte (> 2m de altura, > 1m de extensão lateral) nos mesmos. Neste caso, o principal fator que propiciou a erosão foi o grau de ressecamento e empastilhamento observados. Como havia a preocupação de retirar o corpo de prova no melhor local, evitava-se os pontos em que o material se encontrava facilmente desagregável. Mesmo tendo sido aguardado o período de sete dias para sua secagem, ele não apresentou o mesmo grau de ressecamento observado no campo.

A Tabela 34 resume as demais relações entre este índice e os outros parâmetros definidores da natureza dos materiais.

Figura 70. Mecanismos utilizados: (a) absorção; (b) perda de massa por imersão.

Figura 71. Gráfico S (índice de absorção) versus P (percentagem de perda por imersão).

Tabela 34. Relação entre o índice de erodibilidade (E) com: massa específica do solo (ρ_o), massa específica dos sólidos (ρ_s), massa específica seca (ρ_d), índice de vazios natural (e_o), percentual de argila (%arg), porosidade natural (n_o), percentual de perda de peso por imersão (P) e comportamento laterítico (Cl).

	<i>Alta Erodibilidade</i>	<i>Baixa erodibilidade</i>	<i>Obs:</i>
ρ (g/cm ³)	1.5 – 2.3	1.6 – 2.1	<i>não pode ser considerado como bom indicador de comportamento erosivo</i>
ρ_s (g/cm ³)	2.6 – 2.7	2.6 – 2.8	<i>não pode ser considerado</i>
ρ_d (g/cm ³)	1.3 – 2	1.4 – 1.9	<i>não pode ser considerado</i>
e_o	0.3 – 1	0.4 – 1	<i>não pode ser considerado</i>
n_o (%)	26 – 51	> 20	<i>pode ser considerado, mas não individualmente</i>
P (%)	85 – 100	< 35	<i>pode ser considerado como bom indicador de comportamento erosivo</i>
% arg	variável	< 20	<i>pode ser considerado, mas não individualmente</i>
Cl	laterítico	laterítico	<i>não pode ser considerado</i>

Desta forma, os parâmetros considerados como *não indicadores de comportamento erosivo* significam que possuem intervalos tão amplos que não possibilitam especificar nenhum grupo (ρ , ρ_s , ρ_d , e_o). Aqueles que *podem ser considerados, mas não individualmente*, representam parâmetros onde é possível identificar intervalos fechados e restritos, onde ocorre o grupo dos erodíveis, mas não impede que pertencentes ao grupo de baixa erodibilidade se encontrem nele, o que se dá principalmente com o percentual de argila. Há por fim, *aqueles que podem ser considerados bons indicadores*, por definirem intervalos tão estreitos e fechados que acabam por identificar um grupo, passando a ter valores que o individualizam; nesta última categoria, apenas o índice P, define valores de 85 à 100% para alta e inferiores a 35% para baixa erodibilidade.

6.4.3. Processo de confecção dos documentos

6.4.3.1. Seleção das cartas básicas e interpretativas

A Figura 72 ilustra a sequência de atributos analisados.

Figura 72. Atributos considerados

6.4.3.2. Pesos e matrizes adotadas

A Tabela 35 ilustra os pesos adotados para cada unidade de material inconsolidado e substrato rochoso e potencial ao escoamento superficial. Na avaliação do grupo de materiais inconsolidados, foram considerados dois atributos (percentual de argila e erodibilidade dos materiais, avaliada através do índice de erodibilidade (E) e de observações de campo). Por este motivo obteve-se valores intermediários a partir da classificação proposta no Capítulo III deste trabalho: baixo à moderado (2.5) e moderado à alto (3.5).

Tabela 35. Pesos adotados para a Carta de Susceptibilidade à Erosão.

<i>a) Substrato rochoso</i>		
PESOS	Tipo litológico derivado	
0	<i>Corpos de diabásios, na forma de sills.</i>	<i>JK sg</i>
3	<i>Arenitos muito finos, argilosos intercalados com siltitos e diamictitos.</i>	<i>PC im</i>
5	<i>Siltitos alternados à arenitos finos.</i>	<i>PC is</i>

<i>b) Material inconsolidado</i>	
PESOS	Tipo geotécnico
0	<i>R/D/I-IV</i>
1	<i>R/Sag/D/IV-VII</i>
1	<i>R/S/I-III</i>
3	<i>R/Sa/SL/III-V</i>
3.5	<i>R/St-Aj/SL/III-V</i>
3.5	<i>R/St-Aj/SL/V-VII</i>
3.5	<i>R/Aj/AS/I-IV</i>
3.5	<i>R/Sag/SA/IV-VI</i>
3	<i>R/S-Aj/M/II-VI</i>
2.5	<i>T/Sa-Sag</i>

<i>(c) Potencial ao escoamento superficial</i>	
PESOS	Classes
1	<i>BAIXA</i>
3	<i>MODERADA</i>
5	<i>ALTA</i>

A matriz definida assim como a taxa de consistência calculada estão ilustrados na Figura 73.

<i>a) Matriz de Correlação</i>			
	Substrato rochoso	Material inconsolidado	Potencial ao escoamento superficial
Substrato rochoso	1		
Material inconsolidado	2	1	
Potencial ao escoamento superficial	3	3	1

<i>b) Taxa de consistência</i>	
Atributos	Pesos
<i>Substrato rochoso</i>	0.1571
<i>Material inconsolidado</i>	0.2493
Potencial ao escoamento superficial	0.5936
Taxa de consistência	0.05

Figura 73. Matriz de correlação e taxa de consistência.

6.5. AVALIAÇÃO DAS CARTAS DE POTENCIAL AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL, POTENCIAL A INFILTRAÇÃO E POTENCIAL À EROSÃO

Na avaliação conjunta dos documentos gerados a partir da combinação de mapas básicos, utilizando o IDRISI, serão abordados os seguintes tópicos:

1. *aspectos funcionais do programa;*
2. *considerações específicas de cada documento e;*
3. *relação dos mesmos, com as características físicas da área.*

6.5.1. Aspectos funcionais do programa

A utilização de SIG's, no caso específico o IDRISI, auxiliou o processo de cruzamento das informações, em termos de rapidez e tempo gasto em cada documento. Porém, devido às opções limitadas de escala de valores (Figura 32; pag. 80), diversos ajustes e combinações de valores tiveram que ser realizados para que o resultado final correspondesse à realidade estimada.

6.5.2. Considerações específicas de cada documento

1) Carta de potencial ao escoamento superficial e Carta de potencial a infiltração

Nestes documentos, a principal consideração a ser feita é com relação a carta de extensão do percurso d'água superficial. Esta carta representa uma tentativa de passar, para utilização no ambiente IDRISI, o conceito de densidade de drenagem linear. O principal problema encontrado foi o efeito das bordas da bacia onde, em alguns locais, as distâncias especificadas (> 800 m) podem ou não representar a realidade. Seria necessário traçar a rede

de drenagem de parte das porções do alto e baixo Capivari para realmente comprovar se as distâncias se mantêm.

No geral, a área apresenta um potencial ao escoamento superficial moderado ($272,83 \text{ km}^2$). A região de maior potencial ($158,71 \text{ km}^2$) coincide com as maiores densidades de drenagem e onde as condições do substrato rochoso propiciam o maior escoamento. A de menor potencial ($58,34 \text{ km}^2$) corresponde principalmente aos materiais cujas características físicas (permeabilidade) não o favorecem.

Em relação ao potencial à infiltração é necessário afirmar que neste documento não é levado em consideração o volume infiltrado nem o tempo necessário para que determinado volume infiltre, apenas o menor ou maior potencial que o material apresenta ao processo.

A área apresenta, na sua maior parte ($158,17 \text{ km}^2$), um baixo potencial, sendo considerável ($133,6 \text{ km}^2$) a região que apresenta um potencial muito baixo a nulo, devido às condições de substrato rochoso e de material inconsolidado. Onde os valores podem ser considerados moderados ($90,09 \text{ km}^2$) e altos ($105, \text{km}^2$), são encontrados os materiais cujas características físicas mais favorecem o processo e onde o escoamento superficial é menos atuante.

2) Carta de susceptibilidade à erosão

Nesta carta, são indicadas as regiões cujos materiais (substrato rochoso e inconsolidado) são em maior ou menor grau capazes de ceder aos processos erosivos.

A carta de escoamento superficial foi utilizada por tratar principalmente da ocorrência e do transporte de água no terreno, que é a grande responsável pelas alterações morfogenéticas de caráter erosivo (RODRIGUES, 1982). Neste trabalho, o tipo de escoamento considerado corresponde ao concentrado, que representa o fluxo d'água em canais estáveis, que se caracteriza por uma alta capacidade de transporte. A carga sólida transportada é constituída por granulometrias variadas; o processo diminui de intensidade conforme ocorre o aumento da carga transportada e se modificam as condições da topografia (declividade), favorecendo a perda de energia do sistema e conseqüente deposição de materiais.

Os outros dois tipos de escoamento citados por RODRIGUES (1982), laminar e em filetes, não foram considerados uma vez que não puderam se avaliadas as condições topográficas e climáticas.

A maior parte da área estudada ($154,5 \text{ km}^2$) apresenta susceptibilidade moderada e alta ($112,82 \text{ km}^2$). As regiões de baixa ($75,65 \text{ km}^2$) e muito baixa

susceptibilidade ($146,9 \text{ km}^2$), estão delimitadas principalmente pelas condições de substrato rochoso. Deve-se ressaltar que as classes atribuídas são restritas às condições físicas da área de estudo.

Em termos de ação antrópica e cobertura vegetal, dois importantes fatores que influenciam a velocidade dos processos erosivos, a área é praticamente coberta por plantações de cana-de-açúcar, sendo a cobertura vegetal natural restrita e a ocupação urbana concentrada principalmente na porção central da bacia. Desta forma, a maior parte das feições erosivas observadas caracterizava-se como decorrente da ocupação e uso irregulares do terreno, que propicia a atuação do escoamento concentrado. Nas regiões onde o material é mais susceptível, esse escoamento atua de forma mais intensa, gerando feições erosivas de tamanho variado.

6.5.3. Relação com as características físicas da área.

A Tabela 36 resume as características dos materiais inconsolidados da região em função: do potencial ao escoamento superficial, do potencial a infiltração e da susceptibilidade à erosão.

Há situações, em que a susceptibilidade à erosão e/ou o potencial à infiltração não correspondem às condições de potencial ao escoamento superficial, pois há influência de outros fatores (declividade, substrato rochoso e densidade de drenagem). Por exemplo: regiões de alto potencial ao escoamento superficial apresentem baixa susceptibilidade à erosão, quando ocorrem perfis de alteração pouco evoluídos (com a porção rochosa predominando).

Em relação aos parâmetros morfométricos descritos no Capítulo VI, a Figura 74(a) e (b), mostra que este tipo de análise realmente é capaz de estimar as características físicas de uma região. Neste caso, as sub-bacias são avaliadas segundo sua ordem, em função:

- 1) *do potencial ao escoamento superficial (PTE), do potencial a infiltração (PTI) e da susceptibilidade à erosão (SER);*
- 2) *da susceptibilidade à erosão (os pesos são os mesmos considerados no Capítulo III) em relação com os índices de rugosidade (I_r), densidade de drenagem (D_d), densidade hidrográfica (D_h), gradiente dos canais (G) e textura topográfica (T_t), conforme os valores determinados no Capítulo VI.*

Como pode ser observado na Figura 74a, os padrões de comportamento são os mesmos em bacias de mesma ordem, considerando-se as variações como devidas às condições do meio (substrato rochoso, material inconsolidado, declividade).

Na Figura 74b, observa-se que realmente os índices tratados em conjunto ou individualmente são capazes de indicar as condições relativas à susceptibilidade dos materiais à erosão. As bacias de terceira ordem apresentam, no geral, moderada à alta susceptibilidade e escoamento superficial, mantendo uma maior homogeneidade de comportamento. As bacias de quarta ordem destacam-se por serem mais heterogêneas, algumas com alta susceptibilidade e escoamento superficial, todavia este não é um comportamento comum a todas as bacias de quarta ordem, fato semelhante ocorre com as bacias de quinta ordem. O potencial à infiltração segue os mesmos padrões observados com relação a susceptibilidade à erosão e ao escoamento superficial. As bacias de terceira ordem mantêm uma maior homogeneidade de comportamento, e as bacias de ordens maiores uma maior heterogeneidade.

Nas figuras 74 (c) a (o) encontram-se delimitadas segundo a ordem das sub-bacias, as classes de potencial ao escoamento superficial, de potencial a infiltração e de susceptibilidade à erosão, ratificando o que foi exposto no parágrafo anterior.

Tabela 36. Classificação das unidades de material inconsolidado, segundo o potencial ao escoamento superficial (PTE), o potencial a infiltração (PTI) e a susceptibilidade a erosão (SER).

Unidades de material inconsolidado	PTE	PTI	SER
(R/D/I-IV) <i>Diabásio, rocha sã a moderadamente alterada.</i>	A	NMB	NMB
(R/Sag/D/IV-VII) <i>Residual de diabásio, textura silto-argilosa</i>	A	B	MdB
(R/S/I-III) <i>Siltitos, rocha sã a levemente alterada.</i>	Md	NMB	NMB
(R/Sa/SL/III-V) <i>Residual de siltitos e lamitos, textura silto-arenosa</i>	Md	MdB	Md
(R/St-Af/SL/III-V) <i>Residual de siltitos e lamitos, textura de silte a areia fina</i>	MdB	MdA	MdA
(R/St-Af/SL/V-VII) <i>Residual de siltitos e lamitos, textura de silte a areia fina (nível mais evoluído)</i>	B	MdA	B
(R/Af/AS/I-IV) <i>Residual de arenitos e siltitos, textura arenosa</i>	B	MdA	MdB
(R/Sag/SA/IV-VI) <i>Residual de arenitos e siltitos, textura silto-argilosa</i>	MdA	B	MdA
(R/S-Af/M/II-VI) <i>Residual de siltitos e arenitos, textura de silte a areia fina</i>	MdB	MdA	B
(T/Sa-Sag) <i>Solo transportado</i>	B	Md	MdB

Onde: NMB – nulo a muito baixo
 MdB – moderado a baixo
 MdA – moderado a alto
 MA – muito alto

B – baixo
 Md – moderado
 A – alto

Figura 74. (a) Potencial ao escoamento superficial – PTE ; Potencial a infiltração – PTI; e Susceptibilidade a erosão – SER, em função da ordem das bacias; (b) Índice de rugosidade – Ir; Densidade de drenagem – Dd km/km^2 ; Densidade hidrográfica – Dh n/km ; Relação de relevo – Rr m/km ; Textura topográfica – Tt; e Susceptibilidade a erosão – SER , em função da ordem das bacias.

Carta de Potencial ao escoamento superficial - bacias de terceira ordem

(c)

Carta de potencial à infiltração - bacias de terceira ordem

(d)

Figura 74 (continuação). Bacias de terceira ordem: (c) Potencial ao escoamento superficial; (d) Potencial a infiltração.

Figura 74 (continuação). Bacias de terceira ordem: (e) Susceptibilidade à erosão; Bacias de quarta ordem: (f) Potencial ao escoamento superficial.

Carta de potencial à infiltração - bacias de quarta ordem

(g)

Carta de susceptibilidade à erosão - Bacias de quarta ordem

(h)

Figura 74 (continuação). Bacias de quarta ordem: (g) Potencial a infiltração; (h) Susceptibilidade à erosão.

Carta de Potencial ao escoamento superficial - bacias de quinta ordem

(i)

Carta de potencial à infiltração - bacias de quinta ordem

(j)

Figura 74 (continuação). Bacias de quinta ordem: (i) Potencial ao escoamento superficial; (j) Potencial a infiltração.

(l)

(m)

Figura 74 (continuação). Bacias de quinta ordem: (l) Susceptibilidade à erosão; Bacias de sexta ordem: (m) Potencial ao escoamento superficial.

Carta de potencial à infiltração - bacias de sexta ordem

(n)

Carta de susceptibilidade à erosão - Bacias de sexta ordem

(o)

Figura 74 (continuação). Bacias de sexta ordem: (n) Potencial a infiltração; (o) Susceptibilidade à erosão.

Na Tabela 37 encontra-se o valor em área de cada classe para cada grupo de sub-bacias definidos segundo sua ordem.

Tabela 37. Área de cada classe para cada grupo de sub-bacias, segundo sua ordem.

Ordens	Cartas derivadas – área em km ²										
	Potencial ao escoamento superficial			Potencial à infiltração				Susceptibilidade à erosão			
	Baixo	Moderado	Alto	Nulo a muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Nulo a muito baixo	Baixo	Moderado	Alto
Terceira	11.17	50.26	19.19	25.54	21.07	17.06	16.96	29.45	14.25	20.87	16.05
Quarta	10.52	66.50	36.93	31.55	39.47	21.01	21.91	34.08	11.60	40.36	27.90
Quinta	14.58	52.25	36.20	20.41	40.73	22.04	19.86	20.93	15.80	33.34	32.97
Sexta	2.52	56.12	45.47	34.05	36.94	19.50	13.62	36.57	10.88	36.34	20.32

As bacias de quinta ordem são as que em área apresentam mais alta susceptibilidade à erosão, as bacias de sexta e quarta menor potencial à infiltração e maior potencial ao escoamento superficial.

6.6. CARTA DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO GERAL (ANEXO X e XI)

Esta carta foi obtida pelo método de superposição das informações dos mapas de substrato rochoso de material inconsolidado de *landforms*.

O objetivo desta carta consiste no estabelecimento de unidades uniformes (entendendo-se como uma heterogeneidade aceitável) quanto às características e às propriedades geotécnicas.

De forma a visualizar com melhor clareza estas unidades na bacia, foram feitos dois zoneamentos. O primeiro utilizando os mapas de substrato rochoso, de material inconsolidado e de *landforms* (Carta de Zoneamento Geotécnico Geral I – CZGG I), e o segundo utilizando os mapas de material inconsolidado e de *landforms* (Carta de Zoneamento Geotécnico Geral II – CZGG II).

Para estes cruzamentos, foram adotados alguns critérios em relação às unidades utilizadas:

1. Mapa de *Landforms* – as unidades consideradas correspondem às unidades maiores observadas no mapa: Unidade 1, Unidade 2, Unidade 3 e Unidade 4.
2. Mapa do Substrato Rochoso – foram considerados os três grupos componentes: Formação Itararé Membro Superior, Formação Itararé Membro Médio e Formação Serra Geral:

Classes	Descrição	Classificação estratigráfica
1	<i>Corpos de diabásios, na forma de sills.</i>	Formação Serra Geral
2	<i>Arenitos muito finos, argilosos intercalados com siltitos e diamictitos..</i>	Formação Itararé – Membro Médio
3	<i>Siltitos alternados à arenitos finos.</i>	Formação Itararé – Membro Superior

3. Mapa de Materiais Inconsolidados – foi realizado dois tipos de tratamento:

3.1. Carta de Zoneamento Geotécnico Geral I – as unidade foram agrupadas respectivamente segundo à origem, à textura e à rocha original nas sete classes, descritas abaixo:

Classes	Descrição
1	<i>Rocha sã a moderadamente alterada, derivada de diabásios.</i>
2	<i>Material residual, textura silto-argilosa, derivado dos diabásios.</i>
3	<i>Rocha sã a levemente alterada, derivada de siltitos.</i>
4	<i>Material residual, textura siltosa (% silte > 40%), derivado de siltitos, lamitos e arenitos.</i>
5	<i>Material residual, textura variando de silte a areia fina, derivado de siltitos e lamitos.</i>
6	<i>Material residual, textura arenosa (% areia > 60%), derivado arenitos</i>
7	<i>Material transportado, textura silto-argilosa à silto-arenosa.</i>

3.2. Carta de Zoneamento Geotécnico Geral II – as unidade foram agrupadas respectivamente segundo à origem, à rocha mãe e à classificação estratigráfica em quatro classes, descritas abaixo:

Classes	Descrição
1	<i>Material residual, derivado de diabásios, da Formação Serra Geral.</i>
2	<i>Material residual, derivado de siltitos e lamitos, da Formação Itararé</i>
3	<i>Material residual, derivado de siltitos e arenitos, da Formação Itararé</i>
4	<i>Material retrabalhado</i>

A utilização do Mapa de *Landforms* no zoneamento está ligada aos seguintes fatores:

- esta técnica apresenta grande utilidade em função de permitir a divisão de uma área em unidades cada vez menores graças ao uso de recursos tais como fotografias aéreas e sensores remotos, gerando um zoneamento que possui como critério a uniformidade destas parcelas do terreno em termos das feições de relevo encontradas;
- a existência de variáveis que controlam a dinâmica dos *landforms* (SCHMIDT, 1987):
 1. Independentes - litologia e estruturas, espessura do pacote, mergulho das camadas, disposição das linhas de drenagem, espessura do pacote.
 2. Dependentes - comprimento do declive, inclinação do declive, inclinação e comprimento do topo, e dissecação das camadas.

Neste trabalho, foi adotado o nível de unidade de terreno, no qual buscou-se individualizar, os grupos litológicos e os perfis de alteração típicos.

A realização da carta II, delimitando no *landform* apenas as unidades de material inconsolidado, teve por finalidade construir um zoneamento mais simples, visto que as condições estratigráficas da área (apenas duas formações), possibilitam este tipo de tratamento.

A Figura 75 ilustra a sistemática utilizada na definição das classes de zoneamento. Basicamente, constitui o método de árvore lógica (ZUQUETTE, 1987; PEJON, 1992) onde, a partir de cada unidade, são especificadas as demais sucessivamente.

Na definição das unidades de *landforms*, foram utilizados como atributos: forma e extensão de topos, vales e vertentes, traçado da drenagem, declividade, grau de dissecação do terreno e amplitudes altimétricas.

As classes de material inconsolidado foram agrupadas segundo:

- CZGG I - origem, textura e a rocha original, num total de sete.
- CZGG II - origem, a rocha mãe e classificação estratigráfica, num total de quatro

Esta subdivisão visa auxiliar a definição das unidades para que sejam realmente representativas em termos de área.

Este método prevê a análise de todas as combinações possíveis, porém algumas foram excluídas devido sua expressão areal ser muito reduzida para a escala de trabalho.

Na CZGG I, foram geradas 35 unidades, sendo muitas delas locais ou seja, só se manifestam em um único ponto. Hierarquicamente, foram delimitadas as unidades de *landforms*, seguida da delimitação por unidade das classes de material inconsolidado, finalizando com o zoneamento segundo o substrato rochoso correspondente.

Na CZGG II, foram geradas quinze unidades. A partir de cada unidade de *landform*, foram delimitadas as classes de material inconsolidado presentes.

A Figura 76 e a Tabela 38 resumem as características das unidades delimitadas na CZGG II, com relação ao potencial ao escoamento superficial (PTE), ao potencial à infiltração (PTI) e à susceptibilidade à erosão (SER), assim como sua avaliação em termos da divisão em sub-bacias hidrográficas.

Figura 75. Sistemática adotada na delimitação das unidades.

Carta de zoneamento geotécnico geral II - Bacias de terceira ordem

(a)

Carta de zoneamento geotécnico geral II - Bacias de quarta ordem

(b)

Figura 76. Carta de zoneamento geotécnico geral II: (a) em bacias de terceira ordem; (b) em bacias de quarta ordem.

Carta de zoneamento geotécnico geral II - Bacias de quinta ordem

(c)

Carta de zoneamento geotécnico geral II - Bacias de sexta ordem

(d)

Figura 76 (continuação). Carta de zoneamento geotécnico geral II: (c) em bacias de quinta ordem; (d) em bacias de sexta ordem.

Tabela 38. (a) Características das unidades da CZGG II, com relação ao potencial ao escoamento superficial (PTE), ao potencial à infiltração (PTI) e à susceptibilidade à erosão (SER); (b) sua representatividade em termos de área, considerando a divisão em sub-bacias hidrográficas.

a)					
Unidades	PTE	PTI	SER	Área (km ²)	em % da área total
11	A	NMB	B	17.81	3.64
12	Md	Md	Md	136.77	27.92
13	MdB	MdA	MdB	44.46	9.08
14	B	Md	MdB	11.47	2.34
21	A	NMB	B	12.25	2.50
22	Md	Md	Md	86.50	17.66
23	MdA	B	MdA	64.13	13.09
24	B	Md	MdB	3.58	0.73
31	A	NMB	B	2.34	0.48
32	Md	Md	Md	28.07	5.73
33	MdB	MdA	MdB	23.01	4.70
34	B	Md	MdB	5.33	1.09
41	A	NMB	B	0.86	0.18
42	Md	Md	Md	35.33	7.21
43	MdB	MdA	MdB	17.89	3.65

Onde: NMB – nulo a muito baixo; B – baixo; MdB – moderado a baixo; Md – moderado; MdA – moderado a alto; A – alto; MA – muito alto.

(b)				
Unidades	Ordem das sub-bacias (área em km ²)			
	<i>Terceira</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
11	3.51	2.05		12.25
12	41.88	35.49	20.65	38.75
13	17.83	7.18	11.77	7.68
14	4.24	7.23		
21				12.25
22	12.96	11.4	22.64	39.5
23	5.39	22.65	24.46	11.63
24		3.58		
31	1.81	0.53		
32	2.68	25.39		
33	9.27	13.74		
34		5.33		
41		0.86		
42		8.21	27.12	
43			17.89	

6.7. AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO

6.7.1. Considerações iniciais

Estudos realizados na região da bacia do Rio Capivari, pelo Instituto Geológico, da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo e pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica da Secretaria de Obras e Meio Ambiente do Estado de São Paulo), encontrados principalmente em MANIAKAS (1986), PETRI & PIRES (1992) e DAEE (1981), retratam as condições hidrogeológicas dos sistemas de aquíferos presentes nesta região.

O DAEE realizou, na região da Bacia do Rio Capivari, uma série de poços onde foram coletados dados geológicos referentes ao Subgrupo Itararé. Esses dados abrangem as folhas de Capivari (CP), Salto (SA) e Americana (AM) do IBGE (1:50.000).

Existem dois níveis distintos de informações fornecidas pelo DAEE, sendo um proveniente de um grupo de poços perfurados na década de 70, onde os dados acerca das cotas e da geologia, por não seguirem padrões rígidos, devem ser avaliadas com muito critério e outro grupo perfurado nas décadas de 80 e 90, sob exigências mais rígidas, em termos de descrição e avaliação.

As informações mais confiáveis, da década de 80, encontram-se resumidas no *Estudo de Águas Subterrâneas, região administrativa nº 5, Campinas* (1981), que traz uma avaliação completa quanto à utilização e aproveitamento dos recursos hídricos da região das bacias dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiá, Jacaré-Pepira, Jacaré-Guaçu, Pardo e Mogi-Guaçu.

Algumas ressalvas são feitas à utilização de informações provenientes de poços:

- ✎ trabalhar com informações de poços exige considerar suas limitações, pois não se tem o controle da forma com o poço foi perfurado, quais critérios adotados, se o NE (nível estático) representa o nível de estabilização do lençol d'água subterrâneo ou simplesmente o nível em que o poço atingiu sua estabilização;
- ✎ sem o controle da localização das fontes, não é possível aferir de forma concreta o comportamento da zona saturada em relação à topografia, se concordante ou não e como se comporta o seu sistema de recarga;
- ✎ esse tipo de tratamento considera o meio como homogêneo e não identifica suas possíveis heterogeneidades (diferenças litológicas e atuação de zonas de intenso fraturamento).

Desta forma, não é possível determinar a distribuição da zona saturada na região, mas estimar um comportamento (generalizado) e avaliar o NE (Nível Estático) desses poços com o decorrer dos anos.

6.7.2. Metodologia empregada

Neste trabalho, buscou-se utilizar a metodologia de NISHIYAMA (1998) na determinação da profundidade da zona saturada porém, devido as limitações de tempo para a realização do mesmo, não foi feito o criterioso estudo de localização de fontes (nascentes) e os ensaios de campo executados pelo autor. Visando tirar proveito das informações coletadas e pesquisadas na literatura, foi realizado um estudo mais abrangente com relação a distribuição da água subterrânea na região.

Os principais instrumentos de trabalho foram:

- ↳ as informações quanto às possíveis zonas de nascentes, zonas úmidas, faixas de exsudação d'água e formas de relevo, retiradas a partir de fotointerpretação de fotografias aéreas, escalas 1:25000 e 1:60000;
- ↳ e dados de poços de água subterrânea realizados na região nas décadas de 70, 80 e 90, coletados no DAEE de Araraquara/SP e São Paulo/SP.

Este estudo foi realizado em três etapas:

1. Fotointerpretação de fotografias aéreas, escalas 1:25000 e 1:60000.
2. Coleta de dados de campo e prévios (poços).
3. Análise das informações.

a) Fotointerpretação

A identificação do nível d'água subterrânea, a partir de estudos interpretativos envolvendo as formas de relevo, está muito bem detalhada em MEIJERINK (1974) onde, com base na caracterização de indícios, é presumido o seu comportamento. Estes indícios são observados a partir de fotografias aéreas (escalas maiores ou iguais a 1:25.000) e em trabalhos de campo. Basicamente, resumem-se à identificação de nascentes e zonas úmidas no terreno.

Na estimativa da profundidade do NA neste tipo de avaliação, é necessário que sejam considerados alguns elementos, segundo WHIPKEY & KIRKBY (1978) e KIRKBY (1978), tais como:

- o gradiente do relevo, a concavidade ou convexidade e a convergência ou divergência das linhas de fluxo influem no comportamento do fluxo subsuperficial:

- ↳ *em áreas onde o fluxo superficial é dominante (rochas pouco permeáveis), o perfil tende a ter uma concavidade basal apreciável, sem mostrar sinais de convergência de fluxo, com exceção das regiões muito próximas ao eixo dos vales;*
- ↳ *em áreas onde o fluxo subsuperficial é dominante, a concavidade do perfil em geral corresponde a uma estreita faixa em torno do eixo do vale*

- uniformidade do solo:
 - ↳ *em solos uniformes, com um gradiente constante, a espessura da camada saturada aumenta quase linearmente com a distância;*
 - ↳ *em áreas de fluxo superficial, a ação dos processos erosivos é menor do que onde o fluxo é subsuperficial (devido a proximidade da zona saturada).*
- a posição da camada permeável:
 - ↳ *se a camada saturada encontra-se a cima de uma camada impermeável, a espessura dela tende a aumentar da base para o topo do relevo;*
 - ↳ *na base do relevo é mais fácil identificar a camada saturada, pois como o fluxo do NA aumenta com o gradiente, nestas regiões ou ele está aflorando ou forma zonas úmidas;*
 - ↳ *em áreas de rochas permeáveis e altas declividades, espera-se uma baixa densidade de drenagem superficial e uma zona saturada mais espessa.*

NISHIYAMA (1998), ao elaborar o mapa de profundidade do nível d'água, analisa outros fatores correlatos ou complementares aos expostos acima:

- áreas úmidas situadas em encostas:
 - ↳ *resultam da interseção da superfície do terreno com a zona saturada. Dependem de fatores como: espessura, textura e permeabilidade do material inconsolidado, profundidade do substrato rochoso, presença de litologias pouco permeáveis subjacentes a camadas permeáveis.*
- a presença de nascentes:
 - ↳ *resulta da interseção de superfícies ou estruturas favoráveis (fraturas, estruturas orientadas) com a zona saturada;*
 - ↳ *assumindo-se que a cota da superfície piezométrica seja a mesma do terreno nestes pontos e a identificação dos canais de fluxo perene ou permanente e de fluxo temporário.*
- formas de relevo:
 - ↳ *chapadas – a superfície piezométrica encontra-se horizontalizada e com baixa profundidade;*
 - ↳ *colinas – a profundidade da zona saturada aumenta em direção ao topo.*

b) Dados prévios e de campo

Foram coletadas informações provenientes de 80 poços perfurados na região, principalmente a partir dos arquivos do DAEE e encontrados na literatura (poços perfurados pelo Instituto Geológico/SP). Destes 50 poços foram utilizados neste trabalho (ANEXO XII).

Os trabalhos de campo consistiram na localização na carta topográfica das drenagens associadas a nascentes, determinação da profundidade do nível d'água em poços caseiros e coleta de informações com as empresas perfuradoras de poços artesianos da região.

c) Análise das informações

É subdividida em duas etapas:

1. Elaboração de perfis topográficos associados aos dados de poços:

Foram elaborados perfis topográficos em áreas onde havia um determinado número de poços, que permitiam visualizar o comportamento do nível d'água subterrâneo em relação a topografia (Figura 77)

2. Tratamento das informações retiradas a partir de fotointerpretação, para manipulação em programas computacionais:

Nesta etapa foram utilizados os seguintes procedimentos:

- digitalização das zonas de nascentes e das zonas úmidas demarcadas em fotografias aéreas, com AUTO CAD 14;
- superposição das zonas delimitadas com o mapa topográfico (também digitalizado);
- demarcação dos pontos de intercessão;
- transferência das informações para o programa SURFER;

No SURFER são simuladas diversas situações, que auxiliam visualizar o comportamento geral do nível d'água a partir do mapa planialtimétrico conjugado as informações de poços e de fotointerpretação.

P1			
Poços		Prof. do NE (m)	Ano
1	276/71	6	1979
2	276/78	2	1978
3	276/79	3	1977
4	276/66	7	1980

P2			
Poços		Prof. do NE (m)	Ano
1	276/84	5	1973
2	SD/10	16	1988
3	276/77	4	1977
4	276/66	7	1980
5	276/63	20	1978

Figura 77. Perfis topográficos realizados na área de estudo, associados aos dados de poços existentes na região.

P3			
	<i>Poços</i>	<i>Prof. do NE (m)</i>	<i>Ano</i>
1	276/54	25	1971
2	276/68	31	1971
3	276/63	20	1978

P4			
	<i>Poços</i>	<i>Prof. do NE (m)</i>	<i>Ano</i>
1	300/8	24	1975
2	300/10	20	1980

Figura 77 (*continuação*). Perfis topográficos realizados na área de estudo, associados aos dados de poços existentes na região.

P5			
<i>Poços</i>		<i>Prof. do NE (m)</i>	<i>Ano</i>
1	276/0013	35	1976
2	276/58	30	1976
3	276/59	30	1972
4	276/60	32	1976
5	276/61	45	1976

P6			
<i>Poços</i>		<i>Prof. do NE (m)</i>	<i>Ano</i>
1	276/68	31	1971
2	276/67	30	1976
3	276/64	52	1978
4	276/0031	45	1981
5	276/0032	31	1981

Figura 77 (continuação). Perfis topográficos realizados na área de estudo, associados aos dados de poços existentes na região.

6.7.3. Comportamento geral do nível d'água na região

A Figura 78 ilustra o comportamento do NA obtido por meio dos dados de poços e de fotointerpretação, que apresenta uma zona saturada concordante com a topografia, com as zonas de surgência coincidindo com as cotas mais baixas. Com base nesta interpretação foram admitidas algumas situações teóricas, que não puderam ser observadas (Figura 79).

- A - topo anguloso + encosta côncava*
- B - topo anguloso + encosta convexa*
- C - vale + escarpa retilínea*
- D - topo anguloso + encosta convexa*
- E - topo anguloso + encosta côncava*

Figura 78. Perfil de terreno admitido, segundo as condições estudadas e as principais feições de relevo identificadas..

Figura 79. (A) NA seguindo o contorno da topografia; (B) NA concordante com a topografia, associado a fontes; (C) O poço 3 é registra a profundidade da zona mais próxima a superfície e o poço 4 registra uma profundidade maior, não levando em consideração a informação fornecida pela fonte em um nível superior.

Comparando-se as figuras 76 e 78, observa-se que:

- os perfis P1 e P6 (Figura 77) correspondem a situação do POÇO 1 (Figura 79), onde a configuração do nível d'água subterrânea acompanha o contorno da topografia;
- P2, P3, P4 e P5 apresentam a situação dos poços 2.1, 2.2 e 2.3 onde a distribuição na figura mais o posicionamento das fontes permitem configurar a disposição correta do nível d'água subterrânea em relação a topografia;
- em P3 e P5 pode ser observada a situação dos POÇOS 3 e 4, onde a localização de nascentes seria capaz de indicar níveis mais próximos a superfície.

Desta forma, conclui-se que o comportamento admitido inicialmente (Figura 78) não representa de fato todas as situações existentes, sendo necessários estudos mais detalhados para identificar o real comportamento do nível d'água subterrâneo na região. E que o NE (nível estático) dos poços entre as décadas de 70, 80, e 90, apresentou variações máximas de 10 m nas regiões onde a densidade de poços permitiu realizar essa comparação.

Capítulo VII

Considerações Finais e Conclusões

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1.1. Quanto à metodologias e sistemáticas aplicadas

a) ZUQUETTE (1987)

Neste trabalho, buscou-se seguir os preceitos desta proposta com a elaboração de uma série de documentos gráficos sobre o meio-físico, que associados a outros documentos relativos aos outros componentes do meio-ambiente, permitiu avaliar a viabilidade de ocupação e conseqüentemente a priorização e hierarquização das áreas quanto a adequabilidades. O resultado final mostrou-se satisfatório e permitiu estimar as propriedades geológico-geotécnicas da área tratada e visualizar com clareza suas potencialidades e problemas.

b) Procedimentos de PEJON (1992):

A sistemática utilizada por PEJON (1992) para geração da carta de susceptibilidade à erosão e a realização do ensaio de azul de metileno para caracterização da fração fina dos materiais, foi amplamente explorada devido sua facilidade de aplicação e clareza quanto à definição dos atributos do meio físico a serem considerados.

Como este autor não utilizou meios computacionais para a geração da carta de susceptibilidade à erosão, neste trabalho tentou-se adaptar alguns de seus conceitos, para tratamento no IDRISI. O resultado final apresentou algumas limitações mas, no geral, conseguiu-se representar as condições de susceptibilidade à erosão dos materiais componentes do meio físico da área estudada.

b) Procedimentos de GUERRA (1998)

Para o tratamento das informações no ambiente IDRISI, o conjunto de procedimentos adotados por este autor ajudou a agilizar o processo de tratamento de dados e a ter um controle maior das variáveis tratadas.

A utilização do programa IDRISI mostrou-se satisfatória, apresentando as limitações de todo programa computacional, onde é limitado o número de variáveis que podem ser controladas pelo usuário, necessitando de pontos de controle de campo para assegurar que o resultado esteja o mais próximo da realidade.

c) Procedimentos de NISHIYAMA (1998);

Devido às limitações de tempo para a realização do trabalho de campo, não foi possível desenvolver todos os procedimentos adotados por este autor, ficando o resultado final abaixo do esperado. Para que não fossem desperdiçadas as informações geradas e pesquisadas referentes a esta área, que são escassas na literatura, foi feito o tratamento de apenas uma parcela dos dados, sendo os resultados obtidos restritos a determinadas situações.

7.1.2. Quanto a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas

Esta mostrou-se bastante útil, fornecendo informações que posteriormente foram na sua maioria confirmadas pelas atividades de campo e na cartografia final.

O tratamento no Idrisi apesar de trabalhoso e com algumas limitações, principalmente quanto aos parâmetros que não puderam ser determinados pelo sistema (ex: número total de canais da bacia) ou que tiveram que sofrer correções (ex: comprimento total dos canais e comprimento do maior curso), mostrou grande aplicabilidade, uma vez que as informações fornecidas puderam ser diretamente comparadas as demais (potencial ao escoamento superficial, potencial à infiltração e susceptibilidade à erosão) no próprio programa.

7.1.3. Quanto ao material cartográfico produzido

Foram gerados onze documentos cartográficos:

1. Mapa de Documentação

Permitiu visualizar com clareza o posicionamento espacial dos principais centros urbanos da área (Monte-Mor, Capivari e Elias Fausto), a localização e distribuição dos pontos de observação e amostragem realizados por este mapeamento.

2. Mapa de Bacias Hidrográficas

A Bacia do Rio Capivari tem início na margem esquerda do rio Piracicaba, ocupando uma área de aproximadamente 1560 km², sua porção média (477 km²) é subdividida em vinte e quatro sub-bacias, sendo: quatorze de terceira ordem, seis de quarta ordem, três de quinta ordem e uma de sexta ordem.

A rede de drenagem apresenta uma densidade de drenagem predominantemente baixa (<7,5 km/km²) e uma densidade hidrográfica variando de média à baixa (<7 canais/km²). Os principais padrões de drenagem observados na área são: sub-dendrítico, treliça (marcado pelo forte controle estrutural da drenagem nas porções NW e SW da região), dendrítica, treliça/retangular, circular, meandrante e pinado, sendo que o canal principal assume a forma meandrante na maior parte do seu percurso.

As sub-bacias possuem predominantemente a forma alongada, atestada pelos parâmetros morfométricos (Índice de Forma – K e Índice de Circularidade – Ic), cujos valores mostraram uma tendência a formas mais alongadas.

Os parâmetros Textura Topográfica (Tt), Índice de Rugosidade (Ir), Coeficiente de Manutenção (Cm) e Extensão do Percurso Superficial (Eps) são associados a Dd, portanto o comportamento observado foi semelhante. As áreas mais drenadas apresentam os menores valores de Cm e Eps e consequentemente os maiores valores de Tt e Ir, configurando regiões mais retrabalhadas. Os demais (Declividade Máxima da Vertente – Dmax, Gradiente dos canais - G% e Relação de Relevo – Rr), por representarem características de comprimento dos canais, área da bacia e declividade das vertentes, auxiliam na identificação de padrões de comportamento associados a unidades de relevo distintas existentes na bacia.

3. Mapa do Substrato Rochoso

Na porção média da Bacia do Rio Capivari, foram observados siltitos, arenitos e lamitos da Formação Itararé e corpos de diabásio (*sills*) da Formação Serra Geral.

A Formação Itararé normalmente é subdividida em três membros principais: Inferior, Médio e Superior. O Membro Inferior é constituído por arenitos maciços e estratificados, mal selecionados, grosseiros, conglomeráticos, lenticulares, associados a ritmitos, não foi observado na área de estudo. O Membro Médio é representado por arenitos finos, intercalados com siltitos e diamictitos, apresenta nesta região espessuras observadas em campo variando de 1 a 3m. Finalizando a seqüência, aflora o Membro Superior constituído por arenitos finos siltitos e lamitos, com espessuras observadas em campo em geral inferiores a 2m.

A Formação Serra Geral é constituída por corpos de diabásios na forma de *sills*, apresentando intenso fraturamento vertical e subvertical, mergulhando para NE e NW, formando pacotes com cerca de 5 m de espessura.

4. Mapa de *Landforms*

De acordo com a classificação hierárquica de *landforms* a Bacia do Rio Capivarí em sua porção média configura um único sistema de relevo, representado por duas formas distintas: colinas arredondadas de baixas declividades, com vales estreitos, constituindo formas suavemente onduladas e por colinas de topos angulosos e achatados, vales de extensão variável (estreitos à amplos), de declividades médias (com valores extremos representados pelos mais altos encontrados na bacia), configurando formas que estão sendo retrabalhadas mais intensamente pelos processos superficiais.

Em relação ao relevo, a área foi subdividida em quatro unidades de acordo com a forma e extensão de topos, vales e vertentes, traçado da drenagem, declividade, grau de dissecação do terreno e amplitudes altimétricas.

A classificação, a nível de elementos de terreno, não foi realizada pois optou-se pelo detalhamento das unidades de terreno identificadas, em virtude do tamanho da área trabalhada.

5. Mapa de Materiais Inconsolidados

O material inconsolidado, presente na região pode ser agrupado em quatro unidades principais:

- Material residual derivado de diabásios da Formação Serra Geral.
- Material residual derivado de siltitos e lamitos da Formação Itararé
- Material residual derivado de siltitos e arenitos da Formação Itararé
- Material retrabalhado

No total, foram identificadas dez unidades e a divisão e classificação desses materiais foi feita com base em quatro critérios:

- gênese: residual e retrabalhado;
- textura: predominante siltosa, com teores variados de areia fina e argila;
- rocha original: siltitos, arenitos, lamitos e diabásios;
- nível de alteração: definido a partir das observações de campo.

6. Carta de Declividade

Esta carta foi confeccionada no IDRISI, e uma parte dela utilizando a metodologia de DE BIASI (1970); comparando-se os resultados concluí-se que a carta gerada pelo IDRISI consegue representar as condições de declividade do terreno, sendo as variações decorrentes do maior detalhamento realizado pelo programa.

Os intervalos adotados em percentagem foram: menor que 4%; 4-8%; 8-12%; 12-16%; 16-20%; e maior que 20%, com mais de 50% da área estudada representada por declividades inferiores a 8%.

7. Carta de Potencial ao Escoamento Superficial

Na elaboração desta carta, foram utilizados pesos segundo uma escala de valores (variando de muito baixo à nulo – 0; à muito alto – 5), em função da importância de cada unidade (unidade de material inconsolidado, substrato rochoso, declividade e extensão do percurso d'água superficial) para o evento.

A área apresenta em sua maior parte (272,83 km²) um potencial ao escoamento superficial moderado. A região de maior potencial (158,71 km²) é favorecida pelas maiores densidades de drenagem e pelas condições propícias de substrato rochoso e material inconsolidado. A de menor potencial (58,34 km²) corresponde principalmente às porções onde ocorrem materiais inconsolidados e litologias que favorecem o processo de infiltração.

8. Carta de Potencial à Infiltração

Na elaboração desta carta, também foram utilizados pesos para cada unidade de material inconsolidado, substrato rochoso, declividade e extensão do percurso d'água superficial, segundo seu maior ou menor potencial à infiltração.

Neste documento, não foi considerado o volume infiltrado nem o tempo necessário à infiltração. Desta forma, foram identificadas áreas de baixo potencial (158,17 km²), potencial muito baixo a nulo (133,6 km²), alto potencial (105, km²) e potencial moderado (90,09 km²), de acordo com as características físicas dos materiais.

9. Carta de Susceptibilidade à Erosão

Na elaboração desta carta, foram atribuídos pesos para cada unidade de material inconsolidado, substrato rochoso e potencial ao escoamento superficial, segundo sua maior ou menor importância à susceptibilidade à erosão.

No auxílio à caracterização dos materiais quanto à susceptibilidade à erosão, foram realizados os ensaios de absorção e perda d'água por imersão, estes mostraram-se válidos na identificação das unidades com susceptibilidade à erosão.

De acordo com os resultados obtidos, foram determinadas quatro classes: susceptibilidade moderada ($154,5 \text{ km}^2$), muito baixa susceptibilidade ($146,9 \text{ km}^2$), alta susceptibilidade ($112,82 \text{ km}^2$) e baixa susceptibilidade ($75,65 \text{ km}^2$). Sendo estas classes restritas às condições físicas da área de estudo.

10. Carta de Zoneamento Geotécnico Geral I e II

Estas cartas foram obtidas pelo método de superposição das informações, sendo a C.Z.G.G I pela sobreposição dos mapas de substrato rochoso, de material inconsolidado e de *landforms* e a C.Z.G.G II, pela sobreposição dos mapas de material inconsolidado e de *landforms*. A realização da carta II teve por objetivo um zoneamento mais simples, com um menor número de unidades, possível pela presença de apenas duas unidades estratigráficas (formações Itararé e Serra Geral) e o predomínio de baixas declividades ($< 8\%$) em mais de 50% da área total mapeada, favorecendo a homogeneidade de comportamento na área.

7.2. CONCLUSÕES

Os principais objetivos deste trabalho foram alcançados, a saber:

- realizar um estudo a cerca das características geológico-geotécnicas da Bacia do Médio Rio Capivari: os documentos produzidos reúnem uma grande quantidade de informações do meio físico da área trabalhada, ficando a critério de usuários sua manipulação e aproveitamento.
- aplicar a metodologia de ZUQUETTE (1987, 1993) e procedimentos adotados por PEJON (1992), GUERRA (1998) e parcialmente por NISHIYAMA (1998) na geração de cartografia geotécnica, sendo o resultado final considerado satisfatório e capaz de retratar as características do meio-físico da área estudada;
- fornecer subsídios para o planejamento do processo de ocupação urbana e industrial, principalmente em relação à manutenção e preservação dos recursos hídricos: os documentos cartográficos produzidos reúnem uma grande quantidade de informações que podem ser utilizadas no manejo de bacias hidrográficas, assim como no planejamento do uso e ocupação dessas áreas.

Em relação às diretrizes para ocupação e aproveitamento do potencial hídrico da região, este trabalho permite concluir que:

- a região deve ter suas potencialidades hídricas melhor aproveitadas pois, dados coletados na literatura e observações de campo mostram que há uma falta de interesse no desenvolvimento de estudos na região, e apesar da falta de dados a Bacia do Rio Capivari é considerada imprópria para o consumo (uso doméstico e industrial) na maior parte do ano;
- em termos de ocupação, as bacias de terceira ordem, por apresentarem um comportamento mais homogêneo em relação às características do meio físico, são as mais susceptíveis à degradação e as que mais facilmente sofrerão com estas mudanças, por isso devem ser tratadas e utilizadas (ocupação urbana, abastecimento, irrigação) com base em estudos de impacto ambiental;
- as bacias de ordens maiores são mais heterogêneas quanto ao comportamento, devendo ser avaliadas individualmente segundo suas potencialidades.

Capítulo VIII

Referências Bibliográficas

- ABAD FERNANDEZ, J.; DEL MORA; PENA PINTO, J. L..1979. *Spanish experience of geotechnical cartography in a urban area. Bulletin the International Association of Engineering Geology.* (19):79-84.
- ABRAHAM, A.D..1995. *Channel networks: a geomorphological perspective. Water Resources Research.* 20(2):161-188.
- ALMEIDA, F.F.M.; MELO, M.S..1981. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. Mapa Geológico do Estado de São Paulo – Escala 1:500.000. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Série Monografias (6), (1):46-81.
- ALVES, D.S..1990. **Geoprocessamento.** Escola Politécnica/USP.
- ANON, 1972. *The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Quaterly Journal of Engineering Geology.* (5):69-76.
- ASSIS, R.B..1996. Estágio da política estadual de recursos hídricos e do comitê de bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. *In: WORKSHOP DO PROJETO PIRACENA*, 2. p: 18-25.
- BASTOS, G.; SOUZA, N.M..1996. Zoneamento geotécnico geral da região de Feira de Santana/BA. *In: SIMP. BRAS. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA*. 2. São Carlos. ABGE.
- BENETTI, A. & BIDONE, F..O meio ambiente e os recursos hídricos. TUCCI, C.E.M..1993. **Hidrologia, Ciência e Aplicação.** ABRH.
- BEVEN, K.; KIRKBY, M.J.. **Channel Network Hydrology.** John Wiley & Sons. 319p.
- BORGES FILHO, F.; NOGUEIRA, B.;C.. 1993. Legislação de uso do solo em áreas centrais de cidades médias. Estudo comparativo: Limeira e Americana. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP.** BT/PCC/163.
- BOTTINO, C.; CIVITTA, M..1976. *Engineering geological features and mapping of subsurface in the metropolitan area of Turin, North Italy.* *In: IAEG CONGRESS.* Buenos Aires. (6):1741-1751.
- BROCHI, D.F.; BARROS, F.G.; MONTICELI, J.J.. 1998. *Participation of users, financing and actions of the intermunicipal consortium of the Piracicaba and Capivari river basins, Brazil.* ASSEMBLEE GENERALE DU RESEAU Salvador – Bahia.

- BROLLO, M.J.; NOGUEIRA, S.A.A.; FERREIRA, C.J.; FERREIRA, L.M.R.; PIRES NETO, A.G..1995. Subsídios para o planejamento urbano do meio-físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba/SP. **Projeto: Bacia do Rio Piracicaba – Estudos geoambientais para planejamento territorial**. Instituto Geológico. São Paulo. vol.4.
- BROLLO, M.J.; NOGUEIRA, S.A.A.; FERREIRA, C.J.; FERREIRA, L.M.R.; PIRES NETO, A.G..1996. Da carta geotécnica à gestão territorial: o diagnóstico do meio-físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba/SP. *In*: SIMP. BRAS. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 2. São Carlos. ABGE.
- BLACK, P.E..1991 **Watershed Hydrology**. Prentice Hall. 408p.
- CÂMARA, G.; SIMÕES, J.S..1996. Geoprocessamento para projetos ambientais. *In*: SIMP. BRAS. SENSORIAMENTO REMOTO. 1. São José dos Campos. INPE.
- CERRI, L.E.S..1990. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. *In*: CONG. BRAS. GEOL. ENGENHARIA. 6. Salvador. ABGE.
- CHRISTOFOLETTI, A..1970. Análise morfométrica das bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas – MG. **Tese de Livre Docência**. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras – Rio Claro. 215p.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1987. Análise topográfica de bacias de drenagem. **Geociências**. 5(6): 1-29.
- CLARK LABORATÓRIO. <http://www.clarklabs.org/>
- COTTAS, L.R..1983. Estudo geológico-geotécnico, aplicado ao planejamento urbano de Rio Claro/SP. **Tese de Doutorado**. Instituto de Geociências/UNESP. 2v.
- COULON, F.K..1974 . Mapeamento geotécnico das folhas de Morrotes e Monte Negro. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Geociências/UFRS. Porto Alegre. 2v.
- COUTINHO, R.Q.; SILVA, J.M.J.; TEIXEIRA, D.C.L.; GENEVOIS, B.B.P.; FERREIRA, S.R.M.; GUSMÃO, J.A.F.. 1990. Carta geotécnica da Cidade do Recife. *In*: CONG. BRAS. GEOL. ENGENHARIA. 6. Salvador. ABGE.
- DAEE (1999). Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. [www/http.dae.com.br](http://www.dae.com.br).
- DAEE (1981). Estudo de Águas Subterrâneas: Região Administrativa Nº 5, Campinas. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. 2v.
- DE BIASI, M. (1970). A Carta Clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Geomorfologia**. n.21.

- DIAS, R.D..1995. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto de Geociências**. São Paulo. Volume especial.
- ECHEVARRIA, M.R.C.; PENA PINTO, J.I...1978. *La cartografía geotécnica en Españã*. **Tecniteras**. (25):19-27.
- FERRANTE, J.E.T..1989. Mapeamento geotécnico regional da Bacia do Alto-Jacaré-Guaçu SP com base nas aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações. **Tese de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP).
- FERRANTE, J.E.T..1992. O estado da arte do mapeamento geotécnico e a interrelação com o sistema de informação geográfica. **Revisão Bibliográfica**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).
- FERREIRA, M.C..1996a. Modelagem cartográfica aplicada a mapeamentos de susceptibilidade a danos ambientais: um ensaio no SGI – IDRISI. **Geociências**. 15(2):485-502.
- FERREIRA, M.C..1996b. **Curso Básico de IDRISI**. UNESP/Rio Claro.
- FLÜGEL, W.A..1995. *Delineating hydrological response units by GIS analyses for regional hydrological modelling using PRMS/MMS in the drainage basin of the River Bröl, Germany*. KALMA, J.D.; SIVAPALAN, M.. **Scale Issues in Hidrological Modelling**. Ed. Willey & Sons.
- FÚLFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M.V.; VIANNA, R.B.. 1982. Compartimentação e tectônica da Bacia do Paraná. **Geologia da Bacia do Paraná: Reavaliação da potencialidade em hidrocarbonetos**. Pauli-Petro. CESP/IPT. p: 75-116.
- GAMA, E.J.; BANDEIRA, A,N.J.; FRANÇA, A.B..1982. Distribuição espacial e temporal das unidades litoestratigráficas paleozóicas na parte central da Bacia do Paraná. **Geologia da Bacia do Paraná: Reavaliação da potencialidade em hidrocarbonetos**. Pauli-Petro. CESP/IPT. p: 19-40.
- GANDOLFI, N..1968. Bacia do Mogi-Guaçu: morfometria de drenagem, sedimentologia e investigações físico-químicas. **Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) . 123p.
- GANDOLFI, N.; ZUQUETTE, L.V..1986. *Study of the applied comparison between two geological mapping methodologies*. In: Intenational IAEG Congress. Proceeding, Buenos Aires. p:1769-1780.
- GARCEZ, L.N..1961. **Hidrologia**. Ed. Edgard Blücher. 240p.
- GARCEZ, L.N. & ALVAREZ, G.A..1988. **Hidrologia**. Ed. Edgard Blücher. 291p.

- GERRARD, J..1992. **Soil Geomorphology: Na integration of pedology and geomorphology**. Chapman & Hall. 269p.
- GODY, C.T.F..1989. Mapeamento geotécnico preliminar da região de Presidente Prudente/SP escala 1:25.000. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). 108p.
- GOLODKOVSKAYA, G.A. *et al.*1968. *Engineering Geological Mapping in the URSS*. In: INT. GEOL. CONG.. 23. Praga.
- GRANT, K..1970. *Terrain evaluation – a logical extension of engineering geology*. **Bulletin the International Association of Engineering Geology**.
- GRANT, K..1975. *The PUCE programme for terrain calculation for engineering purpose – part 2 for terrain classification*. CSIRO Austrália, Division of applied geomechanics, paper n.19, 68p.
- GUERRA, S.M.S..1998. Cartografia geológico-geotécnica de áreas costeiras: o exemplo de Guapé – Pernambuco. **Tese de Doutorado**. UNESP. 187p.
- GUPTA, R.P..1991. **Remote Sensing Geology**. Springer – Verlag. 356p.
- HABERLEHNER, H..1966. Princípios de mapeamento geotécnico. In: CONG. BRAS. GEOLOGIA. 20. p:37-39.
- HONORATO, S; MACKENA, J..(1975). Influencia de la granulometria de um medio poroso en su permeabilidad. In: CONG. PANAMERICANO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 5. Buenos Aires. (3): 135-148.
- HOWARD, A.D..1965. *Geomorphological systems – equilibrium and dynamics*. **American Journal of Science**. 263(4):302-312.
- HOWE, R.H.L..1960. *The application of aerial fotografic interpretation to the investigation of hidrologic problems*. **Photogrametric Engineering**. (26):85-95.
- HORTON, R.E..1945. *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. **Geological Society American Bulletin**. 56(3):275-239.
- HUTCHINSON, M.F..1989. *A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits*. **Journal of Hydrology**. 106(3/4):221-232.
- IBGE. 1987. Dicionário Cartográfico.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981a. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo – Escala 1:1000.000. Série Monografias (5), 2v.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas .1981b. Mapa Geológico do Estado de São Paulo – Escala 1:500.000. Série Monografias (6), 2v.

- JIMENES, A..1995. *Geographical information systems*.
<http://www.scas.cit.cornell.edu/landwal/le>. (jan/1997)
- KANTEY, B.A..1989. *Terrain evaluation and geotechnical engineering*. De Mello.
- KEIFER, R.W..1967. *Terrain analysis for metropolitan fringer area planning*. **Journal of The Urban Planning and Development Division**. ASCE. (5649):119-138.
- KIRKBY, M.J..1978. **Hillslope hydrology**. John Wiley & Sons.389 p.
- KIRKBY, M.J.. 1993. *Long term interactions between networks and hillslopes*.
- LOLLO, J.A..1996. O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração de Mapeamento Geotécnico : Sistematização e Aplicação para a Quadricula de Campinas (SP). **Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP).
- LOLLO, J.A.; ZUQUETTE, L.V..1996. Utilização da técnica de avaliação do terreno em cartografia geotécnica, sistemática proposta e resultados obtidos para a quadricula de Campinas. **In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2. ENCONTRO REGIONAL DE GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE, 1. São Carlos. Anais ABGE. v.1. p:3-12.**
- LOPES, M.; F.; C.. 1994. Condições de ocorrência de água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivarí. **Dissertação de Mestrado**. Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP. 82p.
- MACIEL, C.L.F..1977. Caracterização geotécnica das formações sedimentares de Santa Maria/RS. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MACIEL, C.L.F.; GASPARETTO, N.V..1987. Metodologia empregada no mapeamento geotécnico das folhas de Camobi e Santa Maria. **In: CONG. BRAS. GEOL. ENGENHARIA. 5. São Paulo. (2): 10-13.**
- MACKENZIE, J.. **Introdução para IDRISI**. Departamento de Economia de Recursos da Faculdade de Ciências Agrícolas. Universidade de Delaware Newark.
<http://bluehen.ags.udel.edu/spatlab/textbooks/textbooks.html>
- MANIAKAS, S.. 1996. Estudos geofísicos integrados à geologia da bacia hidrográfica do Baixo Rio Capivarí, SP (Subgrupo Itararé e Intrusivas associadas). **Tese de Doutorado**. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo.180p.
- MATULA, M..1971. Present state of engineering geological mapping in the central european countries Czechoslovakia, German Democratic Republic, Poland, Hungary. **Bulletin the International Association of Engineering Geology. (3):7-14.**
- MATULA, M.; DEERMAN, W.R.; GOLODKOVSKATA, G.A.; PAHL, A.; RODBRUCH-HALL, D.H.; SANEJOUAND, R..1979. *Classification on rocks and soils for*

- engineering geological mapping, part I: rock and soil materials. Bulletin the International Association of Engineering Geology.* (19):364-371.
- MATULA, M.; LETKO, V..1980. *Engineering geological in planning the metropolitan region of Bratislava. Bulletin the International Association of Engineering Geology.* (22):139-146.
- MATULA, M..1981. *Recommended symbols for engineering geological mapping, Report of the comission on engineering geological mapping. Bulletin the International Association of Engineering Geology.* (24):227-234.
- MATHEWSON, C.; FONT, R.G..1974. *Geologic environment: forgotten aspect in the land use planning process in the geological society of America. Engineering Geology.* (10):23-28.
- MERICO, A..1989. Mapeamento geomorfológico e geotécnico como base para o planejamento do município de Brusque/SC. **Dissertação de Mestrado.** Instituto de Geociências (IGC-UNESP). Rio Claro. 1v.
- MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCHNEIDER, R.L..1994. Bacia do Paraná. Boletim de Geologia da Petrobrás. Rio de Janeiro. 8(1):69-82.
- MIO, G..1992. Mapeamento geotécnico da quadrícula Mogi-Guaçu/SP. **Dissertação de Mestrado.** Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).102p.
- MONTICELI, J.J.; MARTINS, J.P.S..1993. A luta pela água nas bacias dos rios Piracicaba e Capivarí. **Boletim do Projeto PiraCena.**
- MORISAWA, M..1964. *Development of drainage systems on na upraised lake floor. Americam Journal of Science.* 262:340-354.
- NISHIYAMA, L..1991. Mapeamento geotécnico preliminar da quadrícula de São Carlos. **Dissertação de Mestrado.** Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP).
- NISHIYAMA, L..1998. Procedimento de mapeamento geotécnico como base para análises ambientais do meio físico, em escala 1:100.000. Aplicação no município de Uberlândia – MG. **Tese de Doutorado.** Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP).
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F.. 1979. *Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. Bulletin of International Association of Engeneering Geology,* 19. p: 196-199.
- OLIVEIRA, A.M.S.; PONÇANO, W.L.; SALOMÃO, F.X.T.; DONZELI, P.L.; ROCHA, G.A.; VALÍRIO FILHO, M..1987. Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe Paranapanema – SP. **In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. Anais ABGE.** p:51-71.

- PEJON, O.J.. 1992. Mapeamento Geotécnico da Folha de Piracicaba – SP, escala 1:100.000 – estudo de aspectos metodológicos de caracterização e de apresentação de atributos. 2V. **Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).
- PETRI, S.. 1992. Litofácies e significado paleoambiental dos sedimentos Itararé na região Capivarí-Rafard, estado de São Paulo. **Revista SMA/IG**. 13(1): 7-30.
- PETRI, S.; FÚLFARO, V.J. 1983. **Geologia do Brasil**. TA. Queiroz Editor/EDUSP São Paulo.
- PETRI, S.; PIRES, E.A.. 1992. O subgrupo Itararé (Permocarbonífero) na região do médio Tietê, estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**. 22(3):301-310.
- PIRES, E.A.; PETRI, S..1991. O subgrupo Itararé na região Capivarí-Rafard, estado de São Paulo. *In*: SIMP. GEOL. SUDESTE. 2. São Paulo. SBG/NSP. p.391-396.
- PIRES NETO, A.G.; YOSHINAGA, S..1995. O planejamento territorial no Instituto de Geociências: revisão e avaliação da experiência. **Revista do Instituto de Geociências**. São Paulo. Volume especial.
- PONCE, V.M..1989. *Engineering Hydrology – Principles and Practices*. Prentice Hall. 640p.
- PRANDINI, F.L..1974. Condicionantes geológico-geotécnicos da degradação ambiental – alguns casos brasileiros. ABGE. São Paulo. (1):1-11.
- PRICE, D.G.1981. *Report of the comission on site investigations*. **Bulletin the International Association of Engineering Geology**. (24):185-226.
- PRICE, D.G..1993. *A suggest method for the classification of the rock mass weathering by a rating systems*. **Quarterly Journal of Engeineering Geology**. (26): 69-76.
- PROJETO SUBSÍDIO PARA O PLANEJAMENTO REGIONAL E URBANO DO MEIO FÍSICO DA PORÇÃO MÉDIA DA BACIA DO RIO PIRACICABA. 1995. Instituto de Geociências – São Paulo. v.I.
- GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUPE WORKING PARTY REPORT. (1990) *Field description and identification*. **Quarterly Journal of Engineering Geology**. 23(1):39-52.
- GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUPE WORKING PARTY REPORT. (1995) *The description and classification of weathered rocks for engineering purposes*. **Quarterly Journal of Engineering Geology**. (28): 207-242.
- RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; VILLA NOVA, A.N.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P.C.; CLEARY, R.W..1989. **Engenharia Hidrológica**. ABRH. Ed. UFRJ. 404p.

- RAPER, J..1989. **Three Dimencional Applications in Geographical Informations Systems**. 189p.
- RICCI, M.; PETRI, S..(1965). **Princípio de aerofotogrametria e interpretação geológica**. Cia. Ed. Nacional, 226p.
- ROBINSON, D.A.; WILLIAMS, R.B.G..1994. **Rock Weathering and Landform Evolution**. John Wiley & Sons. 520p.
- RODRIGUES, J.E..(1982), Estudo de fenômenos erosivos acelerados. Boçorocas. **Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP). 162p
- RODRIGUES, M..1990. **Geoprocessamento**. Escola Politécnica/USP.
- SANEJOUAND, R..(1972). *La cartographie géotechnique en France Paris*. Ministerè de L' Equipement et du Logement. 95p.
- SCHUMM, S.A..1956. *Evolution of drainage systems and drainage areas*. **Geological Society Americam Bulletin**. 67(5):597-646.
- SCHEIDEGGER, A.E..1987. *The fundamental principles of landscape evolution*. **Geomorphological Models**. 199-210.
- SCHMIDT, K,H..1987. *Factors influencing structural landform dynamics on the Colorado Plateau about the necessity of calibrating theoritical models by empirical data*. **Geomorphological Models**. 51-66.
- SEPE, P.M.. 1990. Comportamento do aquífero Itararé no município de Piracicaba e áreas vizinhas. **Tese de Mestrado**. UNESP. 182p.
- SIEGNMARTIN, C.L..1979. Mapeamento geológico-geotécnico preliminar do município de Americana/SP. *In: SIMP. REG. GEOL.. Rio Claro. São Paulo. Anais* (2):321-329.
- SILVEIRA, A.L.L..1993. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. TUCCI, C.E.M.. **Hidrologia, Ciência e Aplicação**. ABRH.
- SIMÕES, S.J.. A abordagem sistêmica e o conceito de hierarquização como premissas metodológicas em programas de cartografia de síntese. *In: SIMP. BRAS. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA*. 2. São Carlos. ABGE.
- SHREVE, R.L..1966. *Statistical law of stream numbers*. **Journal of Geology**. 74(1):17-37.
- SMITH, K.G..1959. *Standarts for grading texture of erosional topography*. **Americam Journal of Science**. 248(6):655-668.
- 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.; LANDIM, P.M.B.; SINELLI, O; WERNICK, K.; FU-TAL, W.; FIORI, A.P.. 1977. Associações litológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação paleo-ambiental. **Revista Brasileira de Geociências**. 7(2):131-149.

- SOUZA FILHO, E.E..1986. Mapeamento faciológico do Subgrupo Itararé na quadrícula de Campinas (SP). **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Geociências – USP. 121p.
- SOUZA, N.C.D.C.. (1992). Mapeamento geotécnico regional da Folha Aguai, com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- STRAHLER, A.N..1952. *Dynamic Basis of Geomorphology*. **Geological Society American Bulletin**. 63:923-938.
- STRAHLER, A.N..1960. **Physical Geography**. John Wiley & Sons Inc. 534p.
- TAVEIRA L.S..1986. Contribuição ao mapeamento geotécnico preliminar da área urbana do município de Campinas. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP). 93p.
- TERRAMOTO, E.R..1995. Relações solo, substrato geológico e superfícies geomórficas na microbacia do Ribeirão Marins – Piracicaba/SP. **Dissertação de Mestrado**. Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz - USP.
- UNESCO.1976. *Engineering Geological Maps: A guide to their preparation*.. **Boletim da UNESCO**.
- VECCHIATO, A.B..1987. Fotointerpretação geológico-geotécnica aplicada ao planejamento urbano de Cuiabá e Várzea Grande/MT. **Dissertação de Mestrado**. Escola Superior de Agronomia Luís Queiroz (ESALQ).
- VISSMAN Jr., W.; HARBAUGH, T.E.; KNAPP, J.W..1972. **Introduction to Hidrology**. New York. Intext Educational.
- VITEK, J.D.; GIARDINO, J.R.; FITZGERALD, J.W.. 1996. *Mapping geomorphology: a journey from paper maps, through computer mapping to GIS and virtual reality*. **Geomorphology**. (16):233-249.
- VITTELLA, S.M.; MATOS, A..1975. **Hidrologia Aplicada**. Ed. McGraw Hill. 246p.
- YOSHINAGA, S.; FERNANDES, A.J.; NOGUEIRA, S.A.A.; HASSUDA, S.; PIRES NETO, A.G..1995. Subsídios ao planejamento territorial de Campinas e aplicação da abordagem de tipos de terreno. *In*: CONG. BRAS. GEOL. ENGENHARIA. 6. Salvador. ABGE.
- ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A..1990. **Origem e evolução das bacias sedimentares**. PETROBRÁS. p:135-168.
- ZUQUETTE, L.V..1981. Mapeamento geotécnico preliminar da região de São Carlos. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP). 2v.

- ZUQUETTE, L.V..1987. Análise crítica sobre a cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. **Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP).
- ZUQUETTE, L.V..1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico. Fundamentos e guia para a elaboração. **Tese de Livre Docência**. Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP).
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N..1988. Mapeamento geotécnico: levantamento e análise das metodologias mais utilizadas. *In*: CONG. LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7. Belém. 591-603.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N..1990. Mapeamento geotécnico, uma proposta metodológica. **Revista de Geociências**. 9:55-60.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOLFI, N.; RODRIGUES, J.E..1997. Mapeamento geotécnico: parte I – Atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. **Geociências**. 16(2): 491-524.
- WAGLE, R.F..1971. *Understanding a watershed from the biological viewpoint*. **Water Resources Bulletin**. 7(2): 244.
- WARD, A.D.; ELLIOT, W.J..1995. **Environmental Hydrology**. Lewis Publishers. 462p.
- WPIPKEY, R.Z.; KIRKBY, M.J.. *Flow within the soil*. KIRKBY, M.J..1978.. **Hillslope Hidrology**. John Wiley & Sons (1978). p.121-144.
- WISLER, C.O.; BRATER, E.F..1964. **Hidrologia**. Ed, Ao Livro Técnico. 484p.