**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NA REDE DE DRENAGEM DE SUB-BACIAS
HIDROGRÁFICAS DA PORÇÃO MÉDIA DA BACIA DO RIO CAPIVARI (SP):
ESCALA 1:25.000 – SUBSÍDIO PARA O PLANEJAMENTO INTEGRADO**

Geól. ROGÉRIO PINTO RIBEIRO

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Eduardo Rodrigues

**São Carlos – SP
2002**

À Inalda, pela compreensão, dedicação e amor constantes e pela companhia em todos os momentos.

Aos meus pais, Fabrício e Ivone, pelo amor, estímulo e pelas orientações em minha vida.
Aos meus irmãos Marcelo e Anelise, pela amizade e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus sobre todas as coisas.

À Inalda, pelo amor, empenho e companheirismo em todos estes anos.

À minha família, pelo amor e apoio incondicionais e por compreenderem minha ausência neste período de aprendizado.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Rodrigues pela amizade, orientação e estímulo.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) pela infra estrutura oferecida para o programa de pós-graduação e pela oportunidade de aprimoramento profissional.

Aos professores Nilson Gandolfi , Reinaldo Lorandi e Paulina Riedel pelas sugestões, críticas e avaliações.

Aos geólogos Eduardo Goulart Collares, Sandra Fernandes da Silva e Alessandra Gonçalves Siqueira, colegas de “projeto”, pelas trocas de informações e pelas sugestões e ensinamentos feitos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos geólogos Marcos Musso e Leonardo da Silveira, pelas importantes discussões e auxílio no desenvolvimento de diversas etapas desta pesquisa.

Ao engenheiro Dr. Herivelto M. dos Santos pelo constante suporte técnico na área de informática.

A todos os técnicos do Departamento de Geotecnia, pela orientação no tratamento das amostras e trabalhos de campo.

Aos colegas da turma de 1999, especialmente aos amigos Luiz Baras e Igor Ávila, pela amizade e compreensão nas horas de dificuldades do aprendizado dos conhecimentos de engenharia.

A todos os amigos e companheiros do Departamento de Geotecnia da ESSC/USP que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	vi
ANEXOS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1- INTRODUÇÃO	01
1.1- OBJETIVOS	02
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1- A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO	03
2.1.1- INTRODUÇÃO	03
2.1.2- O CONCEITO DE PLANEJAMENTO E DE GESTÃO AMBIENTAL	05
2.1.3- CONDICIONANTES DE ALTERAÇÕES AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	08
2.1.3.1- Fatores naturais	08
2.1.3.2- Fatores de natureza antrópica	12
2.1.4- INDICADORES AMBIENTAIS	17
2.2- ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	21
2.2.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	21
2.2.2- A HIERARQUIA FLUVIAL E OS PADRÕES DE DRENAGEM	22
2.2.3- DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS	27
2.2.3.1- Variáveis referentes à morfologia	28
2.2.3.2- Variáveis referentes à composição da rede de drenagem	30
2.3- UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DE GEOPROCESSAMENTO EM ESTUDOS AMBIENTAIS	35
2.3.1- SENSORIAMENTO REMOTO	36
2.3.2- FOTOINTERPRETAÇÃO	36
2.3.3- PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS	38
2.3.3.1- Digitalização de imagens	40
2.3.3.2- Técnicas de processamento digital de imagens	41
2.3.3.3- Georeferenciamento de imagens	42
3- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	45
3.1- LOCALIZAÇÃO, ACESSOS E CONSIDERAÇÕES GERAIS	45
3.2- RECURSOS HÍDRICOS	47
3.2.1- HIDROGEOLOGIA	47
3.2.1.1- Aquífero Tubarão	48
3.2.1.2- Aquífero Diabásio	49
3.2.2- HIDROLOGIA	50
3.3- GEOLOGIA	51
3.2.1- GRUPO TUBARÃO	52
3.2.2- GRUPO SÃO BENTO	53
3.4- GEOMORFOLOGIA	53
3.4- VEGETAÇÃO NATURAL E OCUPAÇÃO DO SOLO	55
4- METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA	56
4.1- ASPECTOS METODOLÓGICOS	56

4.2- OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES	58
4.2.1- DADOS DO MEIO FÍSICO	58
4.2.1.1- Trabalhos de campo	58
4.2.1.2- Trabalhos de laboratório	59
4.2.2- DADOS DAS REDES DE DRENAGEM DAS SUB-BACIAS	62
4.2.2.1- Fotointerpretação	62
4.2.2.2- Escaneamento	63
4.2.2.3- Georeferenciamento	63
4.2.2.4- Mosaicagem	64
4.2.2.5- Digitalização e processamento dos dados	65
4.2.3- DADOS DE OCUPAÇÃO ANTRÓPICA	68
 5- PRODUTOS CARTOGRÁFICOS PRODUZIDOS	 69
5.1- MAPA DE DOCUMENTAÇÃO	69
5.2- CARTA DE DECLIVIDADE	70
5.3- MAPAS DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	74
5.4- MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO	75
5.4.1- SUBGRUPO ITARARÉ (CARBONÍFERO-PERMIANO)	75
5.4.1.1- Associação litológica I	75
5.4.1.2- Associação litológica II	76
5.4.2- FORMAÇÃO SERRA GERAL (JURÁSSICO-CRETÁCEO)	78
5.5- MAPA DE LANDFORMS	80
5.5.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	80
5.5.2- CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS LANDFORMS	81
5.5.3- DESCRIÇÃO DOS LANDFORMS	89
5.5.3.1- Unidade 1	89
5.5.3.2- Unidade 2	90
5.5.3.3- Unidade 3	91
5.5.3.4- Unidade 4	93
5.5.3.5- Unidade 5	94
5.5.3.6- Unidade 6	96
5.5.3.7- Unidade 7	97
5.5.3.8- Unidade 8	99
5.5.3.9- Unidade 9	100
5.5.3.10- Unidade 10	102
5.5.3.11- Unidade 11	103
5.5.3.12- Unidade 12	104
5.5.3.13- Unidade 13	105
5.5.3.14- Unidade 14	106
5.5.3.15- Unidade 15	108
5.5.3.16- Unidade 16	109
5.5.3.17- Unidade 17	110
5.5.3.18- Unidade 18	112
5.5.3.19- Unidade 19	113
5.5.3.20- Unidade 20	114
5.6- MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS	116
5.6.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	116
5.6.2- ENSAIOS REALIZADOS	117
5.6.2.1- Caracterização textural	118
5.6.2.2- Índices físicos	118
5.6.2.2- Método de adsorção do azul de metileno	119

5.6.3- DESCRIÇÃO DAS UNIDADES	123
5.6.3.1- Material retrabalhado arenoso	124
5.6.3.2- Material retrabalhado argiloso	126
5.6.3.3- Material residual arenoso	128
5.6.3.4- Material residual siltoso	131
5.6.3.5- Material residual argiloso I	133
5.6.3.6- Material residual argiloso II	135
5.6.3.7- Afloramentos de rocha (neossolos)	137
5.6.3.8- Aluviões	139
5.7- MAPAS DE USO E DE OCUPAÇÃO	140
6- AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES OCORRIDAS NAS SUB-BACIAS	147
6.1- ANÁLISE MORFOMÉTRICA DAS REDES DE DRENAGEM	147
6.1.1- VARIÁVEIS REFERENTES À MORFOLOGIA	148
6.1.2- VARIÁVEIS REFERENTES À COMPOSIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM	149
6.2- AVALIAÇÃO TEMPORAL DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS	153
6.3- AVALIAÇÃO SETORIZADA DAS MODIFICAÇÕES DO NÚMERO DE CANAIS DE PRIMEIRA ORDEM	154
6.3.1- DESCRIÇÃO DOS SETORES	158
6.3.1.1- Sub-bacia do Ribeirão do Pombal	158
6.3.1.2- Sub-bacia do Córrego Água Suja	166
6.3.1.3- Sub-bacia do Ribeirão do Aterrado	173
6.4- AVALIAÇÃO DO QUADRO DAS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS NAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO DO POMBAL, DO CÓRREGO ÁGUA SUJA E DO RIBEIRÃO DO ATERRADO	181
7- CONSIDERAÇÕES FINAIS	185
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	188

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 -	Representação de uma bacia hidrográfica (LOMBARDI NETO et al., 1994).	03
FIGURA 02 -	Prováveis alterações provocadas nos recursos hídricos por atividades humanas (PIRES & SANTOS, 1995).	06
FIGURA 03 -	Variáveis que afetam a morfologia e a dinâmica fluvial (MORISAWA, 1985 apud PIRES NETO, 1991).	21
FIGURA 04 -	Hierarquia dos canais de drenagem. (Fontes: HORTON, 1945 e STRAHLER, 1957).	23
FIGURA 05 -	Padrões de drenagem básicos (HOWARD, 1967).	24
FIGURA 06 -	Padrões de drenagem modificados (HOWARD, 1967).	25
FIGURA 07 -	Descrição de propriedades da rede de drenagem, modificada de SOARES & FIORI (1976).	27
FIGURA 08 -	Localização da área de estudo.	45
FIGURA 09 -	Principais acessos à área, modificado de GONÇALVES (1989).	46
FIGURA 10 -	Principais corpos d'água presentes na área de estudo e no seu entorno, modificado de DAEE (1981).	50
FIGURA 11 -	Compartimentação geomorfológica do Estado de São Paulo (PONÇANO et al., 1981).	54
FIGURA 12 -	Seqüência de procedimentos metodológicos empregados.	57
FIGURA 13 -	Ficha utilizada nos trabalhos de campo (frente).	60
FIGURA 14 -	Ficha utilizada nos trabalhos de campo (verso).	61
FIGURA 15 -	Seqüência de procedimentos adotada para a obtenção dos dados de rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas.	67
FIGURA 16 -	Modelo Digital de Terreno gerado pela interpolação de curvas de nível de base topográfica 1:10.000, com exagero vertical de 5X.	70
FIGURA 17 -	Declividade de parte da região estudada (porção N da sub-bacia do Córrego Água Suja): (A) declividade obtida com a utilização do SIG IDRISI e (B) declividade manual obtida pela metodologia pela metodologia de DE BIASI (1970) e SANCHEZ (1993).	72
FIGURA 18 -	Subgrupo Itararé - Associação litológica I: camadas de siltito com intercalações freqüentes de arenito fino e de argilito.	76
FIGURA 19 -	Lentes de arenitos deformados associadas a siltitos e diamictitos da associação litológica II do Subgrupo Itararé.	77
FIGURA 20 -	"Bloco errático" de granito associado aos níveis de diamictitos e de arenitos conglomeráticos da Associação Litológica II do Subgrupo Itararé.	78
FIGURA 21 -	Solo residual espesso de diabásio, com coloração avermelhada típica e com raros fragmentos da rocha original.	79
FIGURA 22 -	Dique de diabásio intemperizado, subvertical, cortando seqüência de arenitos com intercalações de diamictitos e siltitos do Subgrupo Itararé (associação II).	79
FIGURA 23 -	Aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, modificada de COOKE & DOORNKAMP (1990 apud LOLLO, 1995).	81
FIGURA 24 -	Formas das vertentes, com base nas distintas formas longitudinais e transversais (perfis), respectivamente, modificado de RUHE (1975) apud MITCHELL (1991).	84
FIGURA 25 -	Perfil esquemático das formas de topos. Fonte: ALMEIDA (2000).	84
FIGURA 26 -	Esquema do perfil das rupturas de declive. Fonte: SOARES & FIORI (1976).	85

FIGURA 27 -	Perfis topográficos transversais e longitudinais mostrando a disposição dos <i>landforms</i> na sub-bacia RP: escala horizontal 1:25.000 e escala vertical 1:3.000.	86
FIGURA 28 -	Perfis topográficos transversais e longitudinais mostrando a disposição dos <i>landforms</i> na sub-bacia AS: escala horizontal 1:25.000 e escala vertical 1:3.000.	87
FIGURA 29 -	Perfis topográficos transversais e longitudinais mostrando a disposição dos <i>landforms</i> na sub-bacia RA: escala horizontal 1:25.000 e escala vertical 1:3.000.	88
FIGURA 30 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 1.	89
FIGURA 31 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 2.	91
FIGURA 32 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 3.	92
FIGURA 33 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 4.	94
FIGURA 34 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 5.	95
FIGURA 35 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 6.	97
FIGURA 36 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 7.	98
FIGURA 37 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 8.	100
FIGURA 38 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 9.	101
FIGURA 39 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 10.	103
FIGURA 40 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 12.	104
FIGURA 41 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 13.	106
FIGURA 42 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 14.	107
FIGURA 43 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 15.	108
FIGURA 44 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 16.	110
FIGURA 45 -	Par estereoscópico (A) e vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 17.	111
FIGURA 46 -	Par estereoscópico (A) do <i>landform</i> 18.	112
FIGURA 46 -	Vista panorâmica (B) do <i>landform</i> 18.	113
FIGURA 47 -	Par estereoscópico e vista panorâmica do <i>landform</i> 19.	114
FIGURA 48 -	Par estereoscópico e vista panorâmica do <i>landform</i> 20.	115
FIGURA 49 -	Influência da mineralogia das argilas sobre a adsorção de azul de metileno (LAUTRIN, 1987 apud PEJON, 1992).	121
FIGURA 50 -	Diagrama da atividade das argilas pelo método do azul de metileno (LAUTRIN, 1989 apud PEJON, 1992).	121
FIGURA 51 -	Estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico dos materiais inconsolidados, obtido com a classificação MCT: correlação do índice de adsorção de azul de metileno (Vb) e a porcentagem de argila do solo (PEJON, 1992).	122
FIGURA 52 -	Estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico dos materiais inconsolidados, obtido com a classificação MCT: correlação do índice de adsorção de azul de metileno da fração argilosa (Acb) e a porcentagem de argila do solo (PEJON, 1992).	123
FIGURA 53 -	Ocorrência de feições de deslizamento do talude de corte de estrada associada a materiais retrabalhados arenosos.	125
FIGURA 54 -	Local de exploração de solo para uso como material de empréstimo, mostrando limite entre solo residual de siltito e solo transportado argiloso (notar linha de seixos descontínua).	127
FIGURA 55 -	Talude de corte de estrada mostrando que a incidência de sulcos erosivos é restrita aos materiais residuais de arenitos e intercalações de siltitos.	130
FIGURA 56 -	Mineração de argila inativa (Cerâmica Adogeri) onde é observada a incidência de processo erosivo (ravinamento) em materiais residuais de siltitos com intercalações decimétricas de argilitos.	133
FIGURA 57 -	Vista parcial de ravina com cerca de 150m de extensão, observada nas fotografias aéreas de 1972 e de 1995, com	134

	materiais residuais argilosos pouco espessos (<1m) associados.	
FIGURA 58 -	Execução de sondagem a trado em materiais residuais de diabásio de coloração avermelhada típica.	136
FIGURA 59 -	Exemplo de ocorrência de neossolos em corte de estrada vicinal.	138
FIGURA 60 -	Áreas de várzea caracterizada pela região alagadiça associada à planície de inundação do Ribeirão do Aterrado.	139
FIGURA 61 -	Vista parcial do extremo E da sub-bacia do Ribeirão do Aterrado mostrando exemplo de ocorrência de pastagem.	140
FIGURA 62 -	Área de declividade alta (10-20%) com cultivo de cana mostrando, em primeiro plano, decapeamento de solo para construção de represa no leito do Ribeirão do Pombal.	141
FIGURA 63 -	Porção N da sub-bacia do Ribeirão Pombal. Região com predomínio de cultivo de cana-de-açúcar e com instalação de processos erosivos.	141
FIGURA 64 -	Exemplo de ocorrência de solo exposto, na qual foi registrado o desaparecimento de um canal de drenagem de aproximadamente 200m de extensão.	142
FIGURA 65 -	Exemplo de ocorrência de área de cultivo de hortifruti.	142
FIGURA 66 -	Ocorrência de vegetação nativa (mata ciliar) restrita aos canais de drenagem de primeira ordem e ao leito do Córrego Água Suja.	143
FIGURA 67 -	Exemplo de área ocupada por reflorestamento.	143
FIGURA 68 -	Exemplo de ocorrência de vegetação de várzea.	144
FIGURA 69 -	Corpo d água (represa) junto ao Ribeirão do Aterrado.	144
FIGURA 70 -	Visada do extremo SW da área de estudo mostrando, ao fundo, o centro urbano de Monte Mor.	145
FIGURA 71 -	Área de ocorrência de ocupação medianamente adensada.	145
FIGURA 72 -	Área de ocorrência de ocupação urbana pouco adensada.	146
FIGURA 73 -	Redes de drenagem do ano de 1972 e de 1995.	149
FIGURA 74 -	Número de canais para os anos de 1972 e de 1995.	151
FIGURA 75 -	Comprimento dos canais para os anos de 1972 e de 1995.	151
FIGURA 76 -	Segmentação das sub-bacias utilizada para a análise setorializada das mudanças no número de canais de primeira ordem.	155
FIGURA 77 -	Rede de drenagem do Setor 1, em 1972 e em 1995.	158
FIGURA 78 -	Rede de drenagem do Setor 6, em 1972 e em 1995.	163
FIGURA 79 -	Rede de drenagem do setor 7, em 1972 e em 1995.	164
FIGURA 80 -	Rede de drenagem do setor 17, em 1972 e em 1995.	173
FIGURA 81 -	Rede de drenagem do setor 22, em 1972 e em 1995.	177
FIGURA 82 -	Vista aérea do setor 20, em 1972 e em 1995.	183
FIGURA 83 -	Vista aérea do setor 3, em 1972 e em 1995.	184

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 -	Alterações ambientais provocadas pela produção de álcool (modificada de MOTA, 1997).	13
TABELA 02 -	Exemplos de efeitos diversos provocados pela prática agrícola (CORSON, 1993).	14
TABELA 03 -	Geoindicadores: influências natural e humana (ITC, 1996).	19
TABELA 04 -	Importância dos geoindicadores em diferentes processos do meio ambiente (modificado de ITC, 1996).	20
TABELA 05 -	Descrição de propriedades da rede de drenagem, modificada de SOARES & FIORI (1976).	26
TABELA 06 -	Classificação da densidade de drenagem (Dd) e da densidade hidrográfica (Dh) em uma bacia hidrográfica. Fontes: STRAHLER (1962) e LOLLO (1995).	33
TABELA 07 -	Classes de textura topográfica (modificada de FRANÇA, 1968).	35
TABELA 08 -	Vazões naturais na bacia do Rio Capivari, modificado de LOPES (1994).	47
TABELA 09 -	Projeção das vazões industriais no Rio Capivari para os próximos dez anos (MONTICELLI & MARTINS, 1993).	51
TABELA 10 -	Dados agropecuários dos municípios que compõem o setor central da bacia do Rio Capivari, modificado de IBGE (1994).	55
TABELA 11 -	Resumo quantitativo das informações de campo e de laboratório.	61
TABELA 12 -	Relação das fotografias utilizadas (Fonte: Base Aerofotogrametria e Projetos S.A.).	62
TABELA 13 -	Distribuição das linhas do arquivo de extensão GRD do modelo digital de terreno.	70
TABELA 14 -	Classes de declividade adotadas para a área de estudo.	71
TABELA 15 -	Características e atividades recomendadas nas diferentes classes de declividade, modificadas de IG (1993).	73
TABELA 16 -	Dados da rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas.	74
TABELA 17 -	Unidades de terreno e seus critérios de descrição, modificado de LOLLO (1996) e ALMEIDA (2000).	82
TABELA 18 -	Descrição dos padrões de drenagem observados na área de estudo. Fonte: ZERNITZ (1932) e HOWARD (1967).	83
TABELA 19 -	Densidade hidrográfica das unidades de <i>landforms</i> , modificada de LOLLO (1996).	84
TABELA 20 -	Níveis de alteração do material rochoso, modificada de PRICE (1993).	116
TABELA 21 -	Esquema adotado para a divisão dos materiais inconsolidados.	117
TABELA 22 -	Composição mineralógica da fração fina dos materiais inconsolidados (BEAULIEU, 1979 apud PEJON, 1992).	120
TABELA 23 -	Caracterização dos índices físicos dos materiais retrabalhados arenosos.	125
TABELA 24 -	Caracterização da fração fina dos materiais retrabalhados arenosos.	126
TABELA 25 -	Caracterização dos índices físicos dos materiais retrabalhados argilosos.	127
TABELA 26 -	Caracterização da fração fina dos materiais retrabalhados argilosos.	128
TABELA 27 -	Caracterização dos índices físicos dos materiais residuais arenosos.	129
TABELA 28 -	Caracterização da fração fina dos materiais residuais arenosos.	130
TABELA 29 -	Caracterização dos índices físicos dos materiais residuais siltosos.	132

TABELA 30 -	Caracterização da fração fina dos materiais residuais siltosos.	132
TABELA 31 -	Caracterização dos índices físicos dos materiais residuais argilosos de rochas associadas ao Subgrupo Itararé.	134
TABELA 32 -	Caracterização da fração fina dos materiais residuais argilosos derivados de litologias do Subgrupo Itararé.	135
TABELA 33 -	Caracterização dos índices físicos dos materiais residuais argilosos associados aos <i>sills</i> de diabásio.	137
TABELA 34 -	Caracterização da fração fina dos materiais residuais argilosos associados aos <i>sills</i> de diabásio.	137
TABELA 35 -	Caracterização dos índices físicos dos neossolos.	138
TABELA 36 -	Caracterização da fração fina dos neossolos.	139
TABELA 37 -	Parâmetros morfométricos utilizados na avaliação temporal da rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas.	147
TABELA 38 -	Dados obtidos para as variáveis morfológicas das sub-bacias hidrográficas.	148
TABELA 39 -	Parâmetros morfométricos da rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas.	150
TABELA 40 -	Distribuição das categorias de uso e ocupação nas sub-bacias.	153
TABELA 41 -	Variação da distribuição das categorias de uso e ocupação em 1995 em relação a 1972 nas sub-bacias hidrográficas.	154
TABELA 42 -	Resumo das alterações registradas na análise setorizada das sub-bacias.	156
TABELA 43 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 1.	159
TABELA 44 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 2.	159
TABELA 45 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 3.	160
TABELA 46 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 4.	161
TABELA 47 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 5.	162
TABELA 48 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 6.	163
TABELA 49 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 7.	165
TABELA 50 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 8.	165
TABELA 51 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 9.	166
TABELA 52 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 10.	167
TABELA 53 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 11.	168
TABELA 54 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 12.	169
TABELA 55 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 13.	170
TABELA 56 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 14.	170
TABELA 57 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 15.	171
TABELA 58 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 16.	172
TABELA 59 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 17.	172
TABELA 60 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 18.	173
TABELA 61 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 19.	174
TABELA 62 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 20.	175
TABELA 63 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 21.	176
TABELA 64 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 22.	177
TABELA 65 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 23.	178
TABELA 66 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 24.	179
TABELA 67 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 25.	179
TABELA 68 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 26.	180
TABELA 69 -	Parâmetros da rede de drenagem do Setor 27.	181

LISTA DE SÍMBOLOS

A -	Área da bacia
Cm -	Coeficiente de manutenção
Lt -	Comprimento total dos canais de drenagem
Li -	Comprimento dos canais de drenagem por ordem de ramificação
Dd -	Densidade de drenagem
Dh -	Densidade hidrográfica
Hm -	Amplitude altimétrica máxima da bacia
L -	Maior comprimento da bacia
dm -	Largura média da bacia
Lmi -	Comprimento médio dos canais por ordem de ramificação
Nt -	Número total dos canais de drenagem
Ni -	Número dos canais por ordem de ramificação
P -	Perímetro da bacia
Rb -	Razão de bifurcação entre os canais de drenagem
Rr -	Relação de relevo
Rlm -	Razão de comprimento médio entre os canais de drenagem
K -	Índice de forma
Ic -	Índice de circularidade
Eps -	Extensão de percurso superficial
Tt -	Textura topográfica
TVA	<i>Tennessee Valley Authority</i>
ρ_{campo} -	Massa específica seca de campo
ρ_s -	Massa específica dos sólidos
e -	Índice de vazios
n -	Porosidade
CTC -	Capacidade de troca catiônica
RA -	Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Aterrado
AS -	Sub-bacia hidrográfica do Córrego Água Suja
RP -	Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Pombal
UTM -	Universal Transverse Mercator
MDT -	Modelo digital de terreno
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
DNPM -	Departamento Nacional de Produção Mineral
DAEE -	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
CBH-PCJ	Comitê das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
IGC -	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
Unicamp -	Universidade Estadual de Campinas

ANEXOS

ANEXO I -	Mapa de Documentação
ANEXO II -	Carta de Declividade
ANEXO III -	Mapa da Rede de Drenagem 1972
ANEXO IV -	Mapa da Rede de Drenagem 1995
ANEXO V -	Mapa de Substrato Rochoso
ANEXO VI -	Mapa de <i>Landforms</i>
ANEXO VII -	Mapa de Materiais Inconsolidados
ANEXO VIII-	Mapa de Uso e Ocupação 1972
ANEXO IX -	Mapa de Uso e Ocupação 1995

RESUMO

RIBEIRO, R.P. (2002). *Avaliação das Alterações na Rede de Drenagem de Sub-bacias Hidrográficas da Porção Média da Bacia do Rio Capivari (SP): Escala 1:25.000 – Subsídio para o Planejamento Integrado*. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 206p.

Este trabalho utilizou a rede de drenagem como geoindicador das modificações ocorridas no período de 23 anos no meio físico em três sub-bacias hidrográficas que compreendem parte do município de Monte Mor(SP) e integram a porção média da bacia hidrográfica do Rio Capivari. A metodologia adotada compreendeu a caracterização conjunta dos atributos do terreno, da rede de drenagem e dos processos de ocupação antrópica das sub-bacias. Foram caracterizados os principais atributos do meio físico, tais como geologia, materiais inconsolidados, *landforms* e declividade. A verificação das alterações neste período foi obtida por meio das análises temporais tanto das variáveis morfométricas da rede de drenagem como da caracterização de ocupação do meio físico. Os dados foram obtidos por atividades de campo, interpretação de fotografias aéreas (escala 1:25.000) de 1972 e de 1995 e processados pelo uso dos programas ENVI® e AutocadMap®. Os documentos cartográficos gerados foram mapas de documentação, de drenagem, de *landforms*, de substrato rochoso, de materiais inconsolidados e de uso e ocupação e carta de declividade. O sistema de rede de drenagem configurou-se como um adequado indicador das alterações ambientais ocorridas na área de estudo. A análise morfométrica indicou uma diminuição no número de canais de primeira ordem e no comprimento total dos canais. Estas mudanças condicionaram as modificações dos parâmetros de densidade de drenagem e de densidade hidrográfica. A análise global das mudanças no número de canais de primeira ordem indicou que a maioria deles era de pequenas dimensões (<150m). Tais alterações foram condicionadas pela expansão urbana de Monte Mor e pelo intensivo cultivo de cana-de-açúcar e estão relacionadas às diferentes classes de declividade e aos diversos tipos de relevo, de substrato rochoso e de material inconsolidado.

PALAVRAS-CHAVE: aerofotointerpretação, atividades antrópicas, rede de drenagem, análise morfométrica.

ABSTRACT

RIBEIRO, R.P. (2002). *Assessment of changes in the drainage network of hydrographic sub-basins of the medium course of the Capivari River Basin (SP): Scale 1:25,000 – Subsidy for integrated planning*. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 206p.

This work used the drainage as a geoinicator to the changes that have taken place during 23 years (1972 to 1995) in the physical environment of three hydrographic sub-basins within the Monte Mor municipal boundaries, located in the medium course of the Capivari River Hydrographic Basin. The methodological approach comprises a complete characterisation of the land attributes, drainage network and anthropic occupation for the sub-basins. The main features of the physical environment, such as geology, unconsolidated materials, landforms and slope were characterized. In order to identify the changes, a temporal analysis of the drainage network morphometric variables and land use were made. Data was collected by field work, aerialphotointerpretation (1:25000 scale) and processed by using the softwares ENVI® and AutocadMap®. In this work, maps of documentation, drainage, landforms, bed rock, unconsolidated materials and use and occupation and also a slope chart were generated. The drainage systems has showed to be an appropriate indicator of the environmental changes for the studied area. The morphometric analysis indicates a decrease in the number of first-order channels and in the total length of all channels. Modifications in the drainage and hydrographic densities have also been observed. The global analysis of the changes of the number of first order channels has indicated that most of the channels had small dimensions (<150m). Such changes were induced by the urban growth of Monte Mor and by the intensive sugar cane raising. They are also related to the different slope classes and to the several types of landforms, bedrock and unconsolidated materials.

KEY-WORDS: aerialphotointerpretation, anthropic activities, drainage network, morphometric analysis.

1 - INTRODUÇÃO

O solo constitui-se num dos mais importantes componentes do meio físico. O solo e a água são considerados recursos básicos de uma região e bens insubstituíveis para o homem, visto serem os principais responsáveis pelo suporte de suas atividades (RODRIGUES & NISHIYAMA, 2001).

Face à preocupação com o aproveitamento adequado dos recursos hídricos, a bacia hidrográfica tem sido adotada internacionalmente como unidade básica em estudos ambientais e de planejamento e na gestão de tais recursos. No Brasil, esta aceitação tornou-se mais efetiva a partir da década de 90, por meio da definição de diretrizes básicas para as políticas nacional e estadual de recursos hídricos (leis nº 9433/97 e 7633/99, respectivamente), as quais prevêm a implantação dos comitês e agências.

Com o intuito de preservar a qualidade ambiental e promover o desenvolvimento sustentável, a gestão ambiental caminha progressivamente para adotar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Apesar da clara ênfase na gestão dos recursos hídricos, se faz necessário um planejamento global que contemple todos os componentes dos recursos naturais e os componentes sócio-econômicos (ROSS & DEL PRETTE, 1998).

As alterações ambientais em bacias hidrográficas podem ser significativas em um determinado intervalo de tempo e, conforme PROCHNOW (1990) e FORNASARI FILHO et al. (1992), estão vinculadas à predisponência do meio-físico a estas alterações e aos processos antrópicos, resultantes das atividades humanas capazes de deflagrar ou acelerar os processos modificadores do meio.

O desenvolvimento urbano e industrial acelerados, o cultivo agrícola intenso, as minerações e as obras viárias são algumas das atividades que têm promovido a degradação dos recursos hídricos. Podem ser verificados tanto o comprometimento qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos superficiais como mudanças da rede de drenagem, principalmente em sua estrutura, forma e número de canais.

Desta maneira, o estudo comparativo das modificações temporais da rede de drenagem constitui um adequado instrumento de avaliação das alterações ambientais ocorridas em bacias hidrográficas.

A realização desta pesquisa está vinculada ao desenvolvimento de estudos voltados à avaliação de alterações do meio físico, de modo a proporcionar a abordagem e a correlação de atividades antrópicas passíveis de geração de impactos neste meio.

1.1 - OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como proposta fundamental a aplicação e verificação da metodologia de COLLARES (2000) com a finalidade de avaliar as alterações ambientais ocorridas em três sub-bacias hidrográficas da porção média da Bacia do Rio Capivari. Os objetivos principais deste trabalho são:

- Verificar a adequabilidade do uso de bacias hidrográficas como unidades de estudo ambiental e a aplicação da metodologia acima citada na escala 1:25.000;
- Determinar as alterações ocorridas nas sub-bacias hidrográficas, com base na análise temporal de aerofotos, por meio da caracterização morfométrica da rede de drenagem;
- Avaliar a influência das características de uso e ocupação do solo nas alterações registradas;
- Estabelecer procedimentos analíticos que permitam verificar a relação entre as alterações temporais da rede de drenagem e aquelas decorrentes das atividades antrópicas com as características do meio físico;
- Avaliar a utilização e a funcionalidade de programas apropriados ao tratamento digital de imagens e ao processamento das informações levantadas (ENVI® e AutoCAD Map®).

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

2.1.1 – INTRODUÇÃO

Para SILVEIRA (1993), a bacia hidrográfica é considerada como uma área finita da superfície terrestre com captação natural de água precipitada, onde os escoamentos convergem para um único ponto. Apresenta como constituintes básicos o conjunto de vertentes, o canal principal de drenagem e seus tributários (FIGURA 01).

FIGURA 01 – Representação de uma bacia hidrográfica (LOMBARDI NETO et al., 1994)

A partir da definição do seu *outlet* ou ponto de saída, esta unidade natural pode ser delimitada a partir da utilização de: (i) base cartográfica que contenha cotas altimétricas, como as cartas topográficas; (ii) fotografias aéreas, as quais possibilitam uma visão tridimensional da paisagem e (iii) imagens de satélite: a

precisão da delimitação, neste caso, dependerá não só do tamanho da bacia a ser mapeada, como, principalmente, da qualidade e riqueza de informações da imagem considerada.

As bacias hidrográficas podem ser consideradas, em um enfoque sistêmico, como um sistema aberto caracterizado pela atuação dinâmica de processos naturais ou antrópicos no ambiente, os quais podem promover mudanças no meio físico. O *input* de energia deste sistema é constituído pelo clima e as forças endogenéticas, gerando o transporte de água e sedimentos, tanto no interior do sistema do sistema quanto nas vertentes, canais e abaixo da superfície. O *output* é caracterizado pela evapotranspiração e pela vazão de água e sedimentos pela foz da bacia (WALLING & GREGORY, 1973).

Muitos pesquisadores tratam a bacia hidrográfica como unidade natural de análise da superfície terrestre, onde é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação.

PROCHNOW (1990) relata que, devido à importância alcançada pelo recurso natural água para a sociedade moderna, e por integrar qualquer área de terreno, por menor que seja, a bacia hidrográfica é tida como referencial geográfico quando utilizada como unidade de estudos ambientais. Desta forma, a expressão “bacia hidrográfica” cabe tanto para grandes como para pequenas áreas, bastando somente localizá-las no espaço. Normalmente, uma bacia é nomeada com base na denominação de seu principal curso d'água.

Para ROSS & DEL PRETTE (1998), independentemente da ordem de ramificação, a bacia hidrográfica constitui um sistema natural cujo referencial é a água e os canais de drenagem os elementos integradores. Conforme estes autores, devem ser considerados conjuntamente os componentes dos recursos naturais (solos, relevo, atmosfera, substrato rochoso, fauna e flora) e os componentes sócio-econômicos, levando-se em conta sua interação regional e sua articulação com os problemas nacionais. Compreendida dessa forma, a bacia hidrográfica representa uma unidade ideal de planejamento.

Segundo OYEBANDE & AYOADE (1986), a utilização da bacia hidrográfica como unidade formal ocorreu pioneiramente nos Estados Unidos, com a criação da *Tennessee Valley Authority* (TVA), em 1933, e a partir de então é adotada no Reino Unido, França, Nigéria e em outros países.

No Brasil, a adoção de bacia hidrográfica como unidade básica de pesquisa - em detrimento da adoção de unidades político-administrativas (municípios, etc.) ou aquelas definidas em cartas topográficas e delimitadas por linhas de coordenadas cartográficas - vem sendo implementada desde 1976 por meio de projetos-piloto, sendo posteriormente incorporada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (lei nº 9433), com base no modelo francês.

O pioneirismo do estado de São Paulo em adotar uma política efetiva de recursos hídricos utilizando-se de bacias hidrográficas como unidade de planejamento, foi instituído quando da formulação do Plano Estadual de Recursos Hídricos, promulgado como lei em 1991. Nessa lei foram estabelecidos os seguintes pontos: adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento; gerenciamento descentralizado, participativo e integrado dos recursos hídricos; e cobrança pelo uso da água.

Para servir de experiência piloto em suas disposições transitórias, foram estabelecidos dois comitês de bacias em regiões diferenciadas e críticas: um para as bacias do Alto Tietê e Baixada Santista e outro para as bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

2.1.2 – O CONCEITO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL

A expressão planejamento ambiental (*environmental planning*) tem sido cada vez mais incorporada à linguagem dos profissionais que trabalham em meio ambiente.

ALMEIDA et al. (1993) identificaram duas linhas principais de planejamento: a linha de demanda, onde o “planejamento ambiental consiste em um grupo de metodologias e procedimentos para avaliar as conseqüências ambientais de uma ação proposta e identificar possíveis alternativas à esta ação”; e a linha de oferta,

onde existe “um conjunto de metodologias e procedimentos que avalia as contraposições entre as aptidões e usos dos territórios a serem planejados”.

A adoção da bacia hidrográfica como uma unidade básica para estudos ambientais e trabalhos de planejamento é decorrente, principalmente, das características biogeofísicas desta unidade, as quais apresentam sistemas ecológicos e hidrológicos coesos (PIRES & SANTOS, 1995). A FIGURA 02 apresenta, de forma simplificada, os principais usos do solo e suas possíveis interferências nos recursos hídricos. Nota-se que, independente do grau ou da forma de utilização de água, todo o uso do solo interfere diretamente no ciclo hidrológico.

FIGURA 02 – Prováveis alterações provocadas nos recursos hídricos por atividades humanas (PIRES & SANTOS, 1995)

LANNA (1993) destaca algumas vantagens e desvantagens quando considera a bacia hidrográfica como uma das alternativas para o planejamento e gerenciamento ambiental. Dentre as vantagens, o autor destaca a importância da rede de drenagem como um dos caminhos preferenciais das relações de causa-

efeito que envolvem o meio hídrico. Dentre as desvantagens comenta que nem sempre os limites municipais e estaduais respeitam os divisores da bacia.

Para LAZLO (1986) apud SALATI (1996), planejar uma bacia hidrográfica corresponde à estruturação de um conjunto de procedimentos capazes de assegurar um uso ambiental correto dos recursos naturais, cujos principais objetivos são: promover o desenvolvimento sustentado da bacia; melhorar a qualidade de vida das populações e garantir a preservação ambiental.

Desse modo, percebe-se que o planejamento ambiental de bacias hidrográficas deve abranger, além do recurso hídrico, todos os fatores ambientais e sócio-econômicos para a avaliação das possibilidades de uso do terreno e/ou dos recursos naturais, ainda que seja dada ênfase em um determinado fator, a depender dos objetivos e das metodologias de cada estudo.

CHADWICK (1971) e LEE (1975) apud LOPES (2001) conceituam gestão ambiental como sendo a etapa seguinte ao planejamento. O processo de gestão é compartimentado em cinco etapas distintas, a saber:

- identificação e descrição do sistema;
- definição dos objetivos com base nos problemas atuais e futuros, além de suas inter-relações;
- geração de soluções que satisfaçam os objetivos sem violar as restrições dos sistemas;
- escolha das soluções adequadas;
- execução e controle.

Este processo pode ser entendido como uma sequência de atividades (condução, direção e controle) desenvolvidas por órgãos gestores (federais, estaduais e municipais) por meio de instrumentos que incluem medidas econômicas, regulamentos e normalizações, investimentos, requisitos judiciais e inter-institucionais. Tais atividades resultam na recuperação e na manutenção de ecossistemas, de modo a adequar a utilização dos recursos naturais pelo homem e, conseqüentemente, assegurar sua produtividade prolongada.

Segundo AGUIAR (1994), o termo “gestão ambiental” está relacionado à incorporação da dimensão ambiental ao planejamento e ao processo de tomada de decisão, criando uma ligação como plano de ação de desenvolvimento do planejamento.

No entendimento de ZUQUETTE (1993), a gestão ambiental refere-se à administração integrada de uma região (ambiente) com critério de equilíbrio, promovendo o desenvolvimento e o bem estar harmonioso dos seres humanos sem esgotar e/ou deteriorar os recursos renováveis e sem destruir os não renováveis.

2.1.3 – CONDICIONANTES DE ALTERAÇÕES AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

As principais alterações registradas no meio ambiente são, preferencialmente, originadas ou potencializadas por atividades antrópicas. Tais atividades alteram propriedades ou características do meio físico e podem interferir em usos preexistentes de um determinado ambiente (FORNASARI FILHO et al., 1992).

PROCHNOW (1990) relata que os fatores de degradação ambiental de uma bacia hidrográfica refletem as condições ambientais predisponentes e as condições sócio-econômicas da área. Estes fatores são subdivididos em dois grupos:

- Fatores naturais: são os fatores associados à predisposição do meio físico à degradação ambiental.
- Fatores de natureza antrópica: são os fatores resultantes das atividades humanas vinculadas à organização e à ocupação do meio físico.

2.1.3.1 – Fatores naturais

As características climáticas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas, da rede de drenagem e da vegetação são os principais fatores de ordem natural que condicionam o meio físico frente aos processos de degradação ambiental em uma bacia hidrográfica. A seguir, é feita uma abordagem sucinta da participação destas variáveis em estudos ambientais de bacias hidrográficas.

Clima

A análise de dados climáticos (principalmente temperatura média anual, temperaturas máxima e mínima médias anuais, total pluviométrico anual e totais máximo e mínimo médios anuais e distribuição da precipitação) revela informações muito importantes, como período de maior potencialidade erosiva das chuvas, riscos de estiagens, geadas, etc.

Além disso, a partir da análise do sistema do balanço hídrico (THORNTON & MATHER, 1995 apud BOTELHO, 1999), é possível conhecer as perdas de água do solo por evapotranspiração que podem caracterizar ou não períodos de excedente de água no solo e/ou deficiência hídrica. Tais dados revelam-se de grande valor, especialmente quanto ao uso e à ocupação agrícola das terras.

Geologia

As características geológicas (tipo de substrato rochoso, estrutura, textura, mineralogia, etc.), os processos superficiais e tectônicos que atuam e atuaram em uma bacia hidrográfica são os principais condicionantes que interferem na definição dos limites entre as bacias e que controlam tanto a formação de solos como o fluxo de água superficial e subsuperficial. Desta maneira, a informação geológica permite a reconstrução histórica da evolução da paisagem e do seu comportamento atual.

O estudo de atributos como as propriedades mineralógicas e texturais das rochas, existência de fraturas, diáclases, foliação e bandamento composicional e posição estratigráfica permite a compreensão do avanço da frente de intemperismo, o caminho preferencial percorrido pela água e a existência de descontinuidades mecânicas, que vão definir, por exemplo, a maior ou menor estabilidade das encostas (FERNANDES & AMARAL, 1996).

Além disso, o tipo de substrato rochoso e o controle estrutural dos canais de uma bacia hidrográfica definem os padrões ou modelos de drenagem (ver capítulo 2.2.2).

Geomorfologia

Sob o ponto de vista ambiental, as formas de relevo são consideradas fatores que exercem influência sobre as condições locais e criam condições hidrológicas (e topoclimáticas) específicas em uma bacia hidrográfica.

São inúmeros os trabalhos que destacam a importância dos mapeamentos geomorfológicos em projetos de planejamento ambiental (ROSS, 1996; CHRISTOFOLETTI, 1998). Segundo BOTELHO (1999), o uso da cartografia e das informações geomorfológicas objetiva a representação da fisionomia da paisagem, tendo em vista a identificação dos elementos ou ambientes de acumulação e transporte, caracterização dos processos morfogenéticos e as implicações da ação antrópica.

Na concepção de RITTER et al. (1995), uma bacia hidrográfica representa um sistema geomorfológico no qual sua configuração e seus mecanismos seguem os seguintes requisitos:

- a interação de *landforms* e processos (climáticos, geológicos, hidrológicos e pedológicos) na busca de um equilíbrio constituem um sistema integrado.
- o equilíbrio entre processo e forma é criado pela interação de energia e massa.
- Mudanças nos processos atuantes podem levar o sistema a limites definidos de estabilidade. Quando esses limites são excedidos, o sistema entra em desequilíbrio e uma nova situação de ajuste entre o balanço energético é promovida, levando à mudança no meio físico.
- Os processos atuantes estão interligados de tal modo que os efeitos de um podem iniciar uma ação em outro.
- As respostas dos sistemas podem ser observadas em distintos intervalos de tempo.

Solos

Vários são os fatores que exercem influência sobre a paisagem, porém o material intemperizado (solo) é o material dinâmico a ser erodido, transportado e depositado a curto prazo, ou mesmo curtíssimo prazo, se houver interferência antrópica não planejada.

Rede de drenagem

O estudo da rede hidrográfica, suas nascentes, padrão, densidade, tipos de canais fluviais e seus perfis longitudinais aliados à velocidade, à turbidez e à qualidade da água, entre outros parâmetros, permitem avaliar desde a disponibilidade de recursos hídricos para irrigação até o estado de degradação das áreas adjacentes, em função da constatação da alta carga de sedimentos transportados e/ou assoreados no leito do rio.

É sabido que o arranjo da rede de drenagem é reflexo da interação de um conjunto de variáveis físicas, como clima, relevo, solos, substrato rochoso e vegetação. Assim sendo, torna-se possível tecer considerações acerca dessas variáveis, a partir da análise criteriosa da rede de drenagem.

CHRISTOFOLETTI (1970) comenta que o comportamento hidrológico de rochas e do regolito em um mesmo ambiente climático será refletido na estruturação da rede de drenagem, onde:

- as texturas mais grosseiras (com maior espaçamento entre os canais) estão associadas a rochas mais permeáveis, onde a infiltração é facilitada.
- as texturas mais finas (com menor espaçamento entre os canais) permitem um maior escoamento superficial e, desta forma, uma maior densidade de canais de drenagem.

BOTELHO (1999) comenta que medidas hidrológicas, como vazão média dos cursos d'água, granulometria dos sedimentos transportados, pH e qualidade da água, exigem pesquisa de campo, coleta de amostras e análises laboratoriais específicas e, de acordo com as finalidades do estudo e das características da área

(presença de agricultura com uso de agrotóxicos, lançamento de resíduos industriais, etc.), podem assumir papel fundamental no planejamento de bacias hidrográficas.

Cobertura vegetal

A identificação dos diferentes tipos de cobertura vegetal informa, principalmente, sobre o nível de proteção do solo, já que a cobertura vegetal é responsável pela proteção contra a ação do impacto das gotas da chuva (*splash*), pela diminuição da velocidade de escoamento superficial (*runoff*), através do aumento da rugosidade do terreno, e pela maior estruturação do solo, que passa a oferecer maior resistência à ação dos processos erosivos.

O levantamento de dados sobre a cobertura vegetal, em geral, vem acompanhado pela informação sobre o uso atual do solo, já que ambos estão estreitamente relacionados. Este fato permite criar, após o estabelecimento das atribuições ou alterações de uso do solo, um confronto ou incongruência de uso, decorrentes da conjugação das informações sobre o uso e cobertura do solo atual e aquele considerado mais adequado (BOTELHO, 1999). Deste modo, é possível eleger áreas prioritárias para implantação de projetos de planejamento ambiental.

2.1.2.2 – Fatores de natureza antrópica

As principais alterações ambientais são, em geral, causadas ou potencializadas por atividades humanas. Segundo FORNASARI FILHO et al. (1992), estas atividades alteram as propriedades ou características do meio físico e podem interferir em usos preexistentes de um determinado ambiente.

Como principais atividades modificadoras do meio podem ser citadas:

- atividades agropecuárias e agro-industriais
- ocupação humana
- desmatamento
- alterações no relevo / topografia

Atividades agro-pecuárias e agro-industriais

Estas atividades causam, principalmente, a erosão das terras cultivadas e a poluição dos aquíferos, por meio do uso de fertilizantes, pesticidas, herbicidas e o lançamento de dejetos de animais. Como consequências secundárias, podem ser citados o desmatamento e a diminuição de florestas geradas pelo processo de abertura de clareiras e criação de animais; a perda e o desperdício de água utilizada para irrigação de terras, e a diminuição de nutrientes do solo, decorrente do uso excessivo deste recurso natural.

Nas áreas rurais, as indústrias sucroalcooleiras também promovem alterações significantes em bacias hidrográficas, pois adotam com frequência práticas agrícolas de monocultura prejudiciais ao solo. As usinas de açúcar e de álcool produzem grandes quantidades de resíduos líquidos (vinhoto) potencialmente poluidores, que causam a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água, levando os rios à condições anaeróbicas e comprometendo a vida aquática (SIQUEIRA, 2001). As alterações ambientais provocadas por indústrias produtoras de álcool são mostradas na TABELA 01.

TABELA 01 –Alterações ambientais provocadas pela produção do álcool (modificada de MOTA, 1997).

Etapas	Impactos ambientais
Plantação	Prática de monocultura – esgotamento do solo
Extração	Queima do canaviais: poluição atmosférica e danos ao solo
Refinamento	Efluentes líquidos: vinhoto e águas de lavagem
Transporte e armazenamento	Poluição do ar (veículos de transporte) e perdas de álcool nas manobras de armazenamento
Uso nos veículos	Poluição atmosférica (aldeídos, óxidos de nitrogênio, peroxiacetilnitrato)

CORSON (1993) exemplifica, de modo mais abrangente, os diversos efeitos que as práticas agrícolas podem causar ao meio ambiente, mostrados na TABELA 02.

TABELA 02 – Exemplos de efeitos diversos provocados pela prática agrícola (CORSON, 1993);

Práticas Agrícolas	Recurso Afetado				
	Solo	Água Subterrânea	Água Superficial	Flora e Fauna	Outros (ar, paisagem, produtos agrícolas)
Programas de consolidação da terra	Direção inadequada levando à degradação do solo	Outra direção da água influenciado pelo excesso de consumo		Perda de espécies	Perdas no ecossistema, perda da diversidade biológica
Irrigação, drenagem	Sais em excesso, represamento de água	Perda da qualidade, fornecimento de água potável afetado	Degradação do solo, sedimentação, poluição da água com partículas de solo	Ressecamento de elementos naturais afetando o ecossistema dos rios	Degradação da terra se a atividade não for apropriada à localidade
Lavoura	Erosão causada pelo vento e/ou pela água				
Mecanização equipamentos grandes ou pesados	Compactação do solo, erosão do solo				Gases com a combustão, barulho
Uso de Fertilizantes:	- nitrogênio - fosfato	Acúmulo de metais pesados (Cd)	Lixiviação do nitrato afetando a água	Escoamento, lixiviação ou degradação levando à eutrofização	Efeitos sobre a microflora do solo
	- esterco, adubo animal	Acúmulo de fosfato de cobre (esterco de porco)	Nitrato, fosfato (através do uso excessivo de esterco)		Eutrofização levando a diminuição do oxigênio
	- adubo com matéria de esgoto, composto	Acúmulo de metais pesados contaminadores			Resíduos
	Aplicação de pesticida	Acúmulo de pesticidas e produtos degradantes	Lixiviação de resíduos de pesticidas móveis e de produtos degradantes		Afeta a microflora do solo; envenenamento; resistência de algumas ervas daninhas

Ocupação humana

Segundo SALOMÃO & IWASA (1995), a ocupação humana constitui um fator decisivo de modificação de processos geradores de impacto, tais como erosão, assoreamento e escorregamentos. A deflagração deste processo é iniciada por atividades como o desmatamento, o cultivo de terra, a construção de estradas e a criação ou a expansão de cidades.

Uma das principais consequências da erosão, além da perda de terrenos, é o assoreamento que ocorre nos cursos d'água e nos reservatórios. Por sua vez, o

principal impacto provocado pelo assoreamento é o desequilíbrio das condições hidráulicas, gerando enchentes, perda de capacidade de armazenamento d'água, incremento de poluentes e o prejuízo no abastecimento e na produção de energia (COLLARES, 1996).

Desmatamento

A vegetação constitui um elemento regularizador da biodiversidade, do clima, da composição atmosférica e do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. TUCCI & CLARKE (1997) reportam que modificações causadas por processos naturais e antrópicos na cobertura vegetal das bacias hidrográficas têm produzido alterações significativas.

Com a retirada da vegetação, os fluxos envolvidos no ciclo hidrológico se alteram trazendo as seguintes conseqüências (TUCCI & CLARKE, op.cit.; NASA, 1998 apud COLTRINARI, 1996):

- Aumento do albedo
- Maiores flutuações de temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies das áreas desmatadas
- Volume evaporado é menor devido à redução da interceptação vegetal
- Menor variabilidade da umidade das camadas profundas do solo, já que a floresta pode retirar umidade de profundidades superiores a 3,6m, enquanto que a vegetação rasteira como pasto age sobre profundidades de cerca de 20cm
- Mudanças na distribuição espacial e temporal da precipitação, se a precipitação local não for dependente dos movimentos de massas de ar globais
- Redução da capacidade de armazenamento, da infiltração de água e de recarga dos aquíferos subterrâneos.
- Alterações no escoamento superficial, o que pode ocasionar cheias e enchentes
- Alterações na descarga de água e de sedimentos
- Alterações na morfologia dos canais de drenagem
- Erosão hídrica, caracterizada pela presença de sulcos, ravinas e boçorocas.

Segundo TUCCI & CLARKE (1997), os principais elementos do desmatamento são o tipo de cobertura pelo qual a floresta é substituída e o procedimento utilizado para sua execução. A seguir, são comentados os principais:

- Extração seletiva de madeira – o maior impacto sobre esse sistema está ligado à construção de estradas, devido à área envolvida e a capacidade erosiva gerada pela superfície desprotegida.
- Plantio de subsistência – o desmatamento é realizado manualmente e seguido por queimada antes do período chuvoso ao qual se sucede o plantio sobre as cinzas. Após alguns anos, a produtividade diminui, a área é abandonada e o agricultor se desloca para outra área. Num primeiro estágio, neste tipo de desmatamento, ocorre aumento na vazão média, com redução da evapotranspiração, devido à retirada da vegetação. Com o crescimento da vegetação, ocorre a recuperação de suas condições prévias (cerca de 20 anos).
- Culturas permanentes - tipo de cultura caracterizada por não sofrer alterações freqüentes na sua estrutura principal (café, fruticultura, etc.). Durante o processo de transformação da cobertura, o impacto sobre o escoamento pode ser importante. Após o seu desenvolvimento, o balanço hídrico dependerá do comportamento da cultura, tendendo a se estabelecer num outro patamar.
- Culturas anuais – este tipo de cultura caracteriza-se pela mudança anual ou sazonal da cobertura, com diferentes plantios. Este processo envolve a preparação do solo (aragem) em determinadas épocas do ano, resultando na falta de proteção do solo em períodos chuvosos e que podem produzir erosão ou modificar as condições de infiltração do solo.

O uso do solo para plantio, após o desmatamento, depende muito do preparo do solo e dos cuidados com o escoamento gerado. O plantio realizado sem práticas conservacionistas tende a aumentar consideravelmente a erosão, com grande aumento no escoamento em relação às condições prévias de floresta.

Adicionalmente, as estradas e as divisas de propriedades são geradoras de alterações do solo devido à erosão e à compactação.

Alterações no relevo / topografia

As diferentes obras executadas pelo homem, principalmente as de engenharia, tais como escavações, aterros, construções, etc., podem resultar em diversos problemas ambientais (MOTA, 1997):

- Alterações do escoamento natural de água, causando problemas de drenagem com possibilidade de inundações.
- Aumento da erosão do solo, desagregação do terreno e assoreamento dos recursos hídricos.

2.1.4 – INDICADORES AMBIENTAIS

Em 1992, a “International Union of Geological Sciences” – IUGS, por meio do grupo de trabalho denominado “Comission on Geological Science for Environmental Planning”– COGEOENVIRONMENT, definiu os “geoindicadores” como medidas de taxas, de magnitude, de frequência e de tendência de processos ou fenômenos geológicos que ocorrem na superfície da terra (ou próximo desta) dentro de um período de 100 anos ou menos (tempo de vida do homem), sujeitos a variações significativas para a compreensão das mudanças ambientais rápidas.

Estes indicadores descrevem processos e/ou parâmetros ambientais que podem provocar alterações com ou sem interferência da ação antrópica (SIMÕES, 1997) e têm sido utilizados, com base em tendências internacionais, no monitoramento ecológico e ambiental das mais diversas situações terrestres (ambiente fluvial, desértico, montanhoso, etc.) com o objetivo de avaliar o estado em que se encontra o meio ambiente frente a rápidas mudanças ou à sua estabilidade no tempo.

BERGER (1996) relata que estes tipos de indicadores permitem descrever tanto os eventos catastróficos quanto os eventos graduais, mas com a evidente

influência da vida humana. De acordo com NEIMANIS & KERR (1996), os indicadores ambientais devem seguir os seguintes critérios de análise:

- Validade científica: o indicador deve ser consistente quanto ao entendimento científico do sistema ou do elemento a ser descrito.
- Disponibilidade de dados: os dados avaliados pelo indicador devem corresponder a diferentes períodos no tempo.
- Respostas a mudanças: o indicador deve sofrer modificações quando houver mudanças no ambiente.
- Representatividade: a informação que o indicador fornece sobre um fenômeno deve ser representativa da condição como um todo.
- Entendimento: a compreensão do indicador deve ser simples e clara, a fim de facilitar seu entendimento para pessoas não especialistas.
- Relevância: os dados a serem adquiridos devem ser de fácil obtenção e fundamentais ao usuário potencial.
- Limite: devem ser estabelecidos limites para avaliação dos valores obtidos
- Aplicabilidade: o indicador deve apresentar aplicação regional.

A TABELA 03 apresenta uma listagem proposta por ITC (1996) contendo 27 tipos de geoindicadores, suas tendências naturais e as influências antrópicas nas alterações destes atributos. Neste mesmo trabalho, estão descritas as principais características destes geoindicadores (TABELA 04).

Em uma análise enfocando a interação meio ambiente – geoindicadores, SIMÕES (1997) ressalta a importância da utilização dos geoindicadores como subsídio em programas de monitoramento e avaliação de impactos ambientais. Contudo, este autor comenta que, geralmente, torna-se necessário utilizar a

avaliação conjunta de mais de um geoindicador, devido à dinâmica ambiental de uma determinada região.

TABELA 03 – Geoindicadores: influências natural e humana (ITC, 1996).

GEOINDICADOR	INFLUÊNCIA NATURAL	INFLUÊNCIA HUMANA
Corais – química e padrões de crescimento	(1)	(1)
Crostras superficiais de deserto e fissuras	(1)	(2)
Formação e reativação de dunas	(1)	(2)
Magnitude, duração e frequência de tempestades de poeira	(1)	(2)
Atividade em terreno congelado	(1)	(2)
Flutuação de geleiras	(1)	(3)
Qualidade da água subterrânea	(2)	(1)
Química da água subterrânea em zona insaturada	(1)	(1)
Nível de água subterrânea	(2)	(1)
Atividade cárstica	(1)	(2)
Nível de lagos e salinidade	(1)	(1)
Nível relativo do mar	(1)	(2)
Seqüência sedimentar e composição	(1)	(1)
Sismicidade	(1)	(2)
Posição da linha de costa	(1)	(1)
Ruptura de taludes (deslizamentos)	(1)	(1)
Erosão de solos e sedimentos	(1)	(1)
Qualidade do solo	(2)	(1)
Escoamento / fluxo d'água	(1)	(1)
Morfologia dos canais	(1)	(1)
Transporte e deposição dos sedimentos	(1)	(1)
Comportamento de temperaturas em subsuperfície	(1)	(2)
Deslocamento superficial	(1)	(2)
Qualidade da água superficial	(1)	(1)
Atividade vulcânica	(1)	(3)
Extensão, estrutura e hidrologia de terras alagadas	(1)	(1)
Erosão eólica	(1)	(2)
(1) influenciado fortemente por, ou com importante utilidade para		
(2) pode ser influenciado por, ou tem alguma utilidade para		
(3) não tem influência substancial sobre ou utilidade para		

TABELA 04 – Importância dos geoindicadores em diferentes processos do meio ambiente (modificado de ITC, 1996)

GEOINDICADOR	Sh	Dn	Rt	Ag	De	Bd	As
Corais – química e padrões de crescimento	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(2)	(3)
Crostras superficiais de deserto e fissuras	(3)	(3)	(2)	(3)	(3)	(3)	(3)
Formação e reativação de dunas	(3)	(3)	(2)	(3)	(3)	(1)	(3)
Magnitude, duração e frequência de tempestades de poeira	(3)	(2)	(2)	(1)	(3)	(2)	(3)
Atividade em terreno congelado	(3)	(2)	(2)	(3)	(2)	(1)	(3)
Flutuação de geleiras	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(2)	(2)
Qualidade da água subterrânea	(1)	(3)	(3)	(2)	(2)	(2)	(1)
Química da água subterrânea em zona insaturada	(2)	(3)	(3)	(2)	(3)	(3)	(3)
Nível de água subterrânea	(2)	(3)	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)
Atividade cárstica	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(1)	(2)
Nível de lagos e salinidade	(2)	(3)	(2)	(1)	(3)	(1)	(1)
Nível relativo do mar	(3)	(2)	(1)	(3)	(3)	(3)	(3)
Seqüência sedimentar e composição	(2)	(3)	(3)	(3)	(3)	(1)	(3)
Sismicidade	(3)	(1)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
Posição da linha de costa	(3)	(1)	(1)	(3)	(3)	(2)	(3)
Ruptura de taludes (deslizamentos)	(3)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)	(3)
Erosão de solos e sedimentos	(3)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)
Qualidade do solo	(1)	(2)	(2)	(1)	(1)	(1)	(2)
Escoamento / fluxo d'água	(2)	(1)	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)
Morfologia dos canais	(3)	(2)	(2)	(2)	(3)	(3)	(3)
Transporte e deposição dos sedimentos	(2)	(2)	(2)	(1)	(2)	(2)	(2)
Comportamento de temperaturas em subsuperfície	(3)	(3)	(3)	(2)	(2)	(2)	(3)
Deslocamento superficial	(3)	(1)	(3)	(3)	(2)	(1)	(3)
Qualidade da água superficial	(3)	(3)	(3)	(1)	(1)	(1)	(1)
Atividade vulcânica	(1)	(1)	(2)	(2)	(3)	(2)	(2)
Extensão, estrutura e hidrologia de terras alagadas	(1)	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)	(1)
Erosão eólica	(3)	(3)	(1)	(1)	(3)	(3)	(3)
(1) grande relevância; (2) relevância potencial; (3) relevância imediata limitada							
Sh – saúde humana; Dn – desastres naturais; Rt – recursos terrestres; Ag – agricultura;							
De – desmatamento; Bd – biodiversidade; As – água superficial							

2.2 – ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

2.2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A bacia hidrográfica, unidade básica do sistema fluvial, tem sido o foco de pesquisas que envolvem o entendimento da geometria de seu sistema de drenagem e a sua inserção em estudos ambientais. A morfometria de uma bacia é definida por sua geometria.

A importância da análise morfométrica em tais estudos deve-se ao fato de que o desenvolvimento e a estruturação das redes hidrográficas resultam de processos pretéritos e presentes, sendo que o presente refere-se ao período de tempo no qual as condições de *input* e *output* de energia e de matéria têm permanecido constante (KNIGHTON, 1984).

Estas condições atuais e passadas de *input* e *output* de energia na bacia hidrográfica refletem a interação de diversos elementos do ambiente, tais como a natureza geológica, o relevo, as condições climáticas, as coberturas pedológica e vegetal e as propriedades hidrodinâmicas do relevo (CHORLEY et al. 1984; PIRES NETO, 1991), conforme é mostrado na FIGURA 03.

FIGURA 03 – Variáveis que afetam a morfologia e a dinâmica fluvial (MORISAWA, 1985 apud PIRES NETO, 1991).

Além disso, a rede de drenagem pode ser caracterizada como um geoindicador das alterações ocorridas no interior de uma bacia (COLLARES, 2000), refletindo as mudanças na sua composição, na forma ou na quantidade de canais, condicionadas por processos naturais ou por atividades antrópicas recentes.

Por meio de estudo realizado na região de Ribeirão Preto (SP), POLITANO et al. (1995) concluem que os valores das características quantitativas de bacias hidrográficas não variam proporcionalmente com a mudança de sua classificação hierárquica. Desta forma, os estudos ambientais que envolvem a comparação de bacias hidrográficas devem, necessariamente, ser referentes a uma mesma ordem de magnitude.

Neste sentido, SILVA (2000) relata que as bacias de terceira ordem são melhor estruturadas e estáveis em relação aos canais de segunda e de primeira ordem e, desta forma, fornecem dados mais representativos para fins de comparação temporal. Exemplos de estudos onde foi efetuada análise morfométrica em bacias hidrográficas de terceira ordem são encontrados em MORISAWA (1964), CAMPOS et al. (1994), POLITANO et al. (1995) e CANALI & OKA-FIORI (1998).

2.2.2 – A HIERARQUIA FLUVIAL E OS PADRÕES DE DRENAGEM

O entendimento do tipo e do desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia, o qual é constituído pelo rio principal e seus tributários, torna-se importante por indicar a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

Um parâmetro fundamental a ser considerado inicialmente no processo de caracterização morfométrica é a classificação da bacia conforme a ordem de seus cursos d' água, estabelecendo assim a hierarquia fluvial. HORTON (1945) foi o pioneiro no estudo morfométrico de bacias hidrográficas. Este autor desenvolveu uma análise quantitativa num sistema de drenagem, estabelecendo o seguinte sistema de classificação (FIGURA 04A):

- os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários;

- os canais de segunda ordem recebem somente tributários de primeira ordem;
- os canais de terceira ordem recebem tributários de segunda e de primeira ordens;
- os canais de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e de ordens inferiores e assim sucessivamente e
- o rio principal é representado pelo canal de maior ordem, o qual permanece neste grau hierárquico desde a sua nascente até a foz.

STRAHLER (1957) propôs uma sistemática de classificação com modificações à hierarquização dos canais proposta por HORTON (1945), onde:

- os canais de primeira ordem são considerados os canais menores sem tributários, estendendo-se da nascente até a confluência;
- os canais de segunda ordem surgem a partir da confluência de dois canais de primeira ordem;
- os canais de terceira ordem surgem a partir da confluência de dois canais de segunda ordem e podem receber tributários de primeira ordem e assim sucessivamente;
- o canal principal apresenta o maior número de ordens variáveis, pois a cada confluência ele passa a apresentar uma posição hierárquica superior (FIGURA 04B). Este é o sistema mais utilizado na análise morfométrica de bacias hidrográficas, devido à maior facilidade de classificação dos cursos d'água (COLLARES, 2000).

FIGURA 04 – Hierarquia fluvial: (A) HORTON (1945) e (B) STRAHLER (1957).

Os padrões de drenagem são classificados de acordo com o arranjo espacial dos cursos fluviais. De acordo com CHRISTOFOLETTI (1974), podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região.

As bases para o estudo dos padrões de drenagem foram propostas por ZERNITZ (1932) e posteriormente complementadas por HOWARD (1967), os quais consideram esta análise uma ferramenta útil à interpretação das formas de relevo e da estruturação geológica de uma região. Segundo estes autores, cada padrão ocorre em uma ampla variação de escala. A terminologia utilizada inclui padrões básicos de drenagem (FIGURA 05) e suas principais modificações (FIGURA 06).

FIGURA 05 – Padrões de drenagem básicos: 1– dendrítico, 2– paralelo, 3– trelíça, 4– retangular, 5– radial, 6– anelar, 7– multibasinal e 8– contorcido. Fonte: HOWARD (1967).

FIGURA 06 – padrões de drenagem modificados (9 - subdendrítico, 10 - pinado, 11 - anastomosado, 12 - distributário (dicotômico), 13 - subparalelo, 14 - colinear, 15, 16, 17, 18 - treliça direcional, recurvado, falha e junta, respectivamente, 19 - angular e 20 - centrípeto); complexos (21), compostos (22) e palimpsésicos (23 - 24). Fonte: HOWARD (1967).

PIRES NETO (1991) ressalta a importância do estudo dos padrões de drenagem na análise geomorfológica por permitir a compreensão dos distintos compartimentos morfoestruturais do relevo. A rede hidrográfica deve ser representada detalhadamente, já que a mesma também define a dimensão e a orientação dos distintos *landforms*. O autor enfatiza que a observação de anomalias locais nos padrões de drenagem pode fornecer indícios a respeito de feições estruturais ou de mudanças locais no regime hidrológico de bacias hidrográficas.

Além da caracterização de formas anômalas diferentes do arranjo geral dos elementos (canais) de drenagem, as quais devem ser investigadas quanto ao seu

significado, SOARES & FIORI (1976) citam outras cinco propriedades importantes que podem ser analisadas por meio do traçado sistemático e uniforme da rede de drenagem, a saber:

- densidade de textura de drenagem;
- sinuosidade dos elementos texturais de drenagem;
- angularidade;
- tropia e
- assimetria dos canais de drenagem.

A TABELA 05 e a FIGURA 07 apresentam, respectivamente, a terminologia descritiva e a representação gráfica de cada uma das propriedades acima citadas.

TABELA 05 – Descrição das propriedades da rede de drenagem, modificada de SOARES & FIORI (1976)

PROPRIEDADE		DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
1	Densidade de textura	Convencional (FIGURA 07A)	- alta; - média e - baixa.
2	Sinuosidade	Classificação visual dos canais de drenagem (FIGURA 07B)	- predominantemente curvos; - predominantemente retilíneos e - curvos e retilíneos (mistos).
3	Angularidade	Ângulo de confluência dos canais (FIGURA 07C)	- baixa (ângulos agudos: $< 60^\circ$); - média (ângulos retos: 60° - 120°) - alta (ângulos obtusos: $> 120^\circ$)
4	Tropia	presença de 1 ou mais direção preferencial de linha de drenagem predominante (FIGURA 07D)	- unidirecional; - bidirecional; - tridimensional e - multidirecional: ordenada ou não
5	Assimetria	Presença de elementos com tamanho e/ou estrutura desiguais, de um lado e de outro, do elemento maior (FIGURA 07E)	- fraca: caracterizada somente por diferença no tamanho dos canais e - forte: caracterizada pelo tamanho e forma dos canais

A- DENSIDADE	B- SINUOSIDADE	C- ANGULARIDADE	D- TROPIA	E- ASSIMETRIA	F- FORMAS ANÔMALAS
 ALTA	 CURVOS	 ALTA	 UNI DIRECIONAL	 FRACA	 MEANDROS ISOLADOS
 MED.	 MISTOS	 MEDIA	 BIDIRECIONAL	 FORTE	 EM ARCO
 BAIXA	 RETILÍNEOS	 BAIXA	 DESORDENADA	 FORTE	 COTOVELO
			 ORDENADA		

FIGURA 07 – Visualização das propriedades da rede de drenagem (SOARES & FIORI, 1976)

2.2.3 – DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

Em geral, a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é efetuada por meio da utilização de variáveis lineares e areais que descrevem o aspecto dos canais de drenagem e da superfície do terreno.

Neste trabalho, a descrição das variáveis morfométricas foi efetuada, principalmente, com base na consulta dos trabalhos de HORTON (1945), STRAHLER (1952; 1957), GANDOLFI (1968), CHRISTOFOLETTI (1970), FONTES (1997), COLLARES (2000) e MENEZES (2000).

Na avaliação comparativa das alterações internas ocorridas na rede de drenagem de microbacias hidrográficas durante um período de 23 anos, COLLARES (op. cit.) dividiu as variáveis morfométricas analisadas em dois conjuntos. O primeiro refere-se às variáveis relativas à morfologia, as quais não sofreram variações temporais de curto tempo, e o segundo engloba as variáveis relacionadas à composição do sistema de drenagem, sujeitas a alterações temporais de curto tempo e que, conseqüentemente, refletem potencialmente as variações ocorridas nas bacias.

2.2.3.1 – Variáveis referentes à morfologia

Área (A) e Perímetro (P) da Bacia

A área e o perímetro constituem elementos primários para o cálculo de outras variáveis de uma bacia. A área compreende a projeção horizontal da região inserida entre os divisores topográficos da bacia, enquanto o perímetro compreende o comprimento total do divisor de águas, ambos expressos em quilômetro.

Maior Comprimento (L) e Largura Média (dm)

O maior comprimento da bacia é representado pela distância entre o ponto da foz do canal principal e o ponto mais distante situado sobre o divisor, em uma direção aproximadamente igual a do vale principal, sendo expresso em quilômetro (HORTON, 1945). A largura média é resultante da divisão da área pelo maior comprimento (FONTES, 1997).

Amplitude Altimétrica Máxima (Hm)

Esta variável foi definida por SCHUMM (1956), originalmente denominada de relevo máximo da bacia, correspondendo à diferença em metros entre a altitude do ponto mais alto da divisória topográfica (maior cota) e a altitude da desembocadura (menor cota) da bacia.

CHRISTOFOLETTI (1987) recomenda o seguinte procedimento para a obtenção deste parâmetro, com o objetivo de evitar resultados que mascarem o significado real da movimentação topográfica das bacias de drenagem: a cota máxima seria determinada pela média resultante de dez pontos mais elevados entre os canais de primeira ordem do trecho superior da bacia. Se a magnitude da mesma for pequena, todos os pontos devem ser considerados.

Relação de Relevo (Rr)

O índice relação de relevo foi definido originalmente por SCHUMM (op.cit.), é expresso em metros por quilômetro e representa a relação entre a amplitude

altimétrica máxima e a maior extensão da bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem .

Esta variável é representativa da movimentação topográfica da área e controla boa parte da velocidade de escoamento superficial afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para se concentrar nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem. Em outras palavras, quanto maior a relação de relevo , mais elevadas serão os desníveis entre as cabeceiras e ao foz (declividades gerais).

Índice de Forma (K)

Este índice adimensional é dependente apenas da forma da bacia e resulta da razão entre o perímetro da bacia e a área da mesma (GANDOLFI, 1968), podendo ser calculado pela expressão:

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

onde K = índice de forma; P = perímetro da bacia e A = área da bacia

Índice de Circularidade (Ic)

Este índice adimensional foi proposto inicialmente por MILLER (1953) apud SCHUMM (1956), sendo considerado como a relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro. A fórmula utilizada para o cálculo é a seguinte:

$$Ic = \frac{A}{Ac} \quad (2)$$

onde Ic = índice de circularidade; A = área da bacia considerada (em km²) e Ac = área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada (em km²)

Esta variável expressa a forma da bacia assumindo um valor máximo de 1, quando o perímetro da bacia corresponde ao perímetro do círculo de área similar à da bacia. Este índice morfométrico Ic associado à densidade hidrográfica e à relação de relevo expressa o fator topográfico, o qual constitui um indicativo de

maior ou menor tendência para enchentes em uma bacia (MORISAWA, 1962) e pode ser definido pela seguinte equação:

$$Ft = Ic.Dd.Rr \quad (3)$$

onde Ft = fator topográfico; Dh = densidade hidrográfica; Ic = índice de circularidade e Rr = relação de relevo.

2.2.3.2 – Variáveis referentes à composição da rede de drenagem

Razão de bifurcação (Rb)

HORTON (1945) estabeleceu a lei do número de canais como uma série geométrica inversa constituída pela soma dos números de canais de cada ordem de ramificação, cujo primeiro termo é a unidade de primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação.

A razão de bifurcação é geralmente constante para as diversas ordens de canais e representa a relação entre o número de canais de uma certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior:

$$Rb = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (4)$$

onde N_i é o número de canais de uma certa ordem e N_{i+1} é o número de canais de ordem imediatamente superior.

Para STRAHLER (1952), a razão de bifurcação é altamente estável e mostra pequenas taxas de variação de uma região para outra, exceto em áreas com forte controle estrutural. Em regiões com homogeneidade geológica, esta variável adimensional apresenta valores que variam entre 3 e 5.

Número total de canais (Nt) e número de canais por ordem (Ni)

Segundo COLLARES (2000), estas variáveis morfométricas possibilitam uma avaliação primária das alterações ocorridas em uma bacia (perda ou ganho de canais) e tornam-se especialmente importantes quando se analisa suas inter-relações, por intermédio da razão de bifurcação.

Comprimento total da rede de drenagem (Lt), comprimento total dos canais por ordem de ramificação (Li) e comprimento médio dos canais por ordem de ramificação (Lmi)

Estas variáveis dimensionais podem ser expressas em quilômetro (km) ou metro (m) e permitem uma avaliação primária de modificações (redução ou aumento) na extensão de caminhos para o escoamento linear das águas em uma bacia (COLLARES, 2000).

O comprimento médio dos canais é caracterizado pela razão entre seu comprimento total e o número total dos canais desta ordem. É expresso pela equação:

$$Lmi = \frac{Li}{Ni} \quad (5)$$

Razão de comprimento Médio (Rlm)

De modo similar à razão de bifurcação, HORTON (1945) estudou a razão entre os comprimentos médios e estabeleceu a lei dos comprimentos dos canais como uma série geométrica direta cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem e a razão é a razão entre os comprimentos médios.

A razão de comprimento médio é expressa pela relação entre o comprimento médio dos canais de determinada ordem e o dos canais de ordem imediatamente inferior. Pode ser obtido pela seguinte equação:

$$Rlm = \frac{Lm_i}{Lm_{i-1}} \quad (6)$$

onde Lm_i é o comprimento médio dos canais de determinada ordem e Lm_{i-1} é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

COLLARES (op.cit.) ressalta que tanto a razão de bifurcação como a razão entre comprimentos médios são de grande valia quando utilizadas em avaliação temporal comparativa. As mudanças (taxa de redução ou aumento expressa em porcentagem) podem indicar alterações internas nas bacias, mesmo com variações pouco significativas no número de canais ou variáveis dimensionais.

Densidade de Drenagem (Dd)

A densidade de drenagem é reconhecida como uma das variáveis mais significativas na análise morfométrica das bacias de drenagem, expressando as disponibilidades de canais de escoamento para o fluxo de água e materiais detríticos e o grau de dissecação do relevo, resultante da atuação da rede de drenagem.

Inicialmente definida por HORTON(1945) e utilizada por FREITAS (1952), esta variável correlaciona o comprimento total dos canais de drenagem, o qual deve englobar tanto os canais perenes como os intermitentes (CHRISTOFOLETTI, 1969 e 1970), e a área da bacia hidrográfica. Pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (7)$$

onde Dd é a densidade de drenagem, em km/km², Lt é o comprimento total dos canais, em km, e A é a área da bacia considerada, em km²

Na evolução de uma bacia de drenagem, SCHUMM (1977) relatou que a diminuição da densidade de drenagem é inversamente proporcional ao comprimento dos canais. Isto pode ser observado na medida em que próximo aos divisores há uma tendência de maior densidade de drenagem, a qual decresce para o interior da bacia, visto a redução dos declives das vertentes e do gradiente da corrente e consequente alargamento dos principais vales.

STRAHLER (1964) propôs uma classificação para a descrição da densidade de drenagem de uma bacia hidrográfica, apresentada na TABELA 06. Para CHRISTOFOLETTI (1974), baixos valores de densidade de drenagem estão quase sempre associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade.

Segundo a FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO (1995), a urbanização e a agricultura constituem os únicos processos antrópicos capazes de promover alterações significativas na densidade de drenagem em uma bacia hidrográfica.

Densidade Hidrográfica (Dh)

Este índice foi originalmente definido por HORTON (1945) com a denominação de frequência de rios, como sendo a relação existente entre o número de cursos de água e a área da bacia hidrográfica. É determinado pela seguinte expressão:

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (8)$$

onde N é o número de cursos de água e A é a área da bacia, em km²

CHRISTOFOLETTI (1969) recomenda a adoção de N como o número de canais de primeira ordem, correspondentes à classificação de STRAHLER (1957) para esta variável, levando a um resultado mais real frente ao comportamento hidrológico de uma bacia, o qual reflete a capacidade de gerar novos cursos d'água.

LOLLO (1995) sugeriu uma divisão em faixas de valores para a classificação da densidade hidrográfica de uma bacia, mostrada na TABELA 06.

TABELA 06 - Classificação da densidade de drenagem (Dd) e da densidade hidrográfica (Dh) em uma bacia. Fonte: STRAHLER (1964) e LOLLO (1995).

Dd (km/km ²)	Denominação	Dh (N1/km ²)	Denominação
< 7,5	Baixa	<3	Baixa
7,5-10	Média	3-7	Média
>10	Alta	7-15	Alta
		>15	Muito alta

Coeficiente de Manutenção (Cm)

Este índice foi definido por SCHUMM (1956) como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem. Representa a área mínima em uma bacia para manter em funcionamento um metro de canal de escoamento e varia em função da oscilação da densidade de drenagem. Desta

forma, à medida que o relevo é dissecado, diminui a área disponível para entalhamento dos canais, havendo uma correlação inversa entre os valores do coeficiente de manutenção com os da densidade de drenagem e da densidade hidrográfica (POLITANO et al., 1991).

De acordo com a modificação de TOLENTINO, GANDOLFI & PARAGUASSU (1968), o valor da densidade de drenagem foi multiplicado por 1000 para que o resultado fosse expresso em m²/m, isto é, a quantidade de área para cada metro de escoamento:

$$Cm = \frac{1}{D_d} 1000 \quad (9)$$

onde Cm é o coeficiente de manutenção e Dd é a densidade de drenagem

Extensão do Percurso Superficial (Eps)

Este índice foi apresentado primeiramente por HORTON (1945) e, em cunho nacional, por GANDOLFI (1968). Representa a distância média percorrida pelo escoamento superficial antes de encontrar um canal permanente e pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$Eps = \frac{1}{2xD_d} \quad (10)$$

onde Eps é a extensão do percurso superficial e Dd é a densidade de drenagem

CHRISTOFOLETTI (1969) comenta a similaridade dos valores obtidos pelo cálculo dos parâmetros extensão de percurso superficial (Eps) e coeficiente de manutenção (Cm), em termos interpretativos. Segundo o autor, a diferença reside no fato de que o índice Cm expressa a área mínima para a existência de um canal, enquanto que o índice Eps indica o comprimento do caminho percorrido pelas águas pluviais até se estabilizarem ao longo de um canal.

Textura Topográfica (Tt)

O cálculo da textura topográfica foi feito primeiramente por SMITH (1950), expressando o espaçamento entre os canais de drenagem e o perímetro da bacia,

onde este espaçamento é efetuado com base em uma curva de nível que apresente o maior número de inflexões. Seu valor numérico representa o grau de entalhamento e dissecação do relevo, revelando o poder de energia da drenagem na esculturação da paisagem.

Com base em SMITH (op.cit.), FREITAS (1952) considera que a textura topográfica pode ser determinada por meio da densidade de drenagem, com a seguinte relação logarítmica:

$$\log Tt = 0,219649 + 1,115 \log D_d \quad (11)$$

onde Tt é a textura topográfica e Dd é a densidade de drenagem

FRANÇA (1968) estabeleceu classes de texturas topográficas, indicadoras do grau de dissecação da topografia devido ao número de canais da bacia, por meio da determinação de intervalos de variações desta variável (TABELA 07).

TABELA 07 – Classes de textura topográfica (modificada de FRANÇA, 1968)

CLASSES DE TEXTURA TOPOGRÁFICA	RAZÃO DE TEXTURA
Grosseira	<2,5
Média	entre 2,5 e 6,2
Fina	>6,2

2.3 – UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DE GEOPROCESSAMENTO EM ESTUDOS AMBIENTAIS

Diante da necessidade de conhecer melhor o meio que o envolve, o homem tem desenvolvido progressivamente técnicas que objetivam facilitar os seus trabalhos na busca constante desse conhecimento. Entre outras, as que utilizam o sensoriamento remoto, têm assumido importância cada vez maior em estudos ambientais de bacias hidrográficas, onde se destacam os levantamentos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso e ocupação do meio físico.

Em tais levantamentos, a interpretação de imagens representa uma ferramenta usada com o objetivo de otimizar a aquisição de dados devido à maior rapidez e/ou melhorar a qualidade das informações obtidas, além de apresentar menor custo.

2.3.1 – SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto pode ser definido como a ciência e a arte de se obter informações sobre um determinado objeto, área ou fenômeno, através de dados coletados por um equipamento, que não entra em contato direto com o objeto, área ou fenômeno estudado (CREPANI, 1993).

Segundo YOUNG (1976), do ponto de vista de utilidade, as técnicas de sensoriamento remoto podem ser divididas em dois grupos: (1) fotografias aéreas, obtidas em avião (tanto pancromáticas como coloridas) e (2) técnicas que compreendem o uso de outros tipos de sensores instalados em plataformas aéreas (aviões) ou orbitais (satélites).

A utilização de fotografias aéreas, imagens de satélite e de radar, que exprimem grandes feições localizadas em áreas extensas, possibilitam o levantamento e monitoramento de informações ambientais, dentre as quais, o dimensionamento de áreas ocupadas por atividades urbanas, rurais e respectivas distribuições geográficas. Neste sentido, as imagens de satélite têm sido muito utilizadas na obtenção de produtos cartográficos sobre o uso e ocupação do meio físico inerentes ao planejamento e análise de bacias hidrográficas, tanto em escala regional (OLIVEIRA, 1993; VALÉRIO FILHO, 1998; VEDOVELLO et al., 1998; WEBER et al., 1998; TONIOLO & KAZMIERCZAK, 1999 e COLLARES, 2000), quanto em escala local (SILVA et al., 1993; WATRIN et al., 1998; SILVA, 2000 e SOUSA, 2000).

2.3.2 – FOTOINTERPRETAÇÃO

O processo de fotointerpretação pode ser definido define fotointerpretação como a ato de se examinar imagens fotográficas de objetos com o propósito de identificá-los e avaliar o seu significado. Para COLWELL (1952), a fotointerpretação deve apoiar-se no “princípio da convergência de evidências”, segundo o qual vários elementos de reconhecimento levam a uma determinada conclusão, que provavelmente será a correta.

O estudo de fotografias aéreas é geralmente feito em duas etapas, conforme sugeriram RICCI & PETRI (1965). A primeira consiste na observação, coleta de dados, medição e identificação das imagens tridimensionais nas fotografias aéreas. A segunda consiste na indução e ou dedução de fenômenos ou de relações, incluindo a aplicação das informações obtidas na solução de problemas.

SOARES & FIORI (1976) relata que o termo fotointerpretação é usado de um modo indistinto, aplicável a três procedimentos diferentes: fotoleitura, fotoanálise e fotodedução, descritos a seguir:

- Fotoleitura: refere-se ao reconhecimento direto pelo homem dos objetos e das feições comuns da superfície do terreno. O leitor utiliza as fotografias aéreas da forma como se faz a leitura de um mapa comum, empregando os símbolos convencionais deste. É a técnica mais simples de uso das imagens.
- Fotoanálise: consiste em separar as várias distintas que compõem o o todo da aerofoto examinada. Obviamente, inclui todos os aspectos de fotoleitura, acrescentados de uma avaliação das características diferenciais. Fazendo-se uso da estereoscopia, visa a identificação de áreas homogêneas que evidenciam diferentes condições de um determinado atributo do meio físico examinado. As áreas similares deverão ter a mesma designação e simbologia.
- A fotodedução, ou fotointerpretação “stricto sensu”, é a mais complexa de todas as técnicas, incluindo tudo o que diz respeito à fotoleitura e, ainda, à avaliação da estrutura geomorfológica da área, bem como um exame detalhado de todos os elementos constantes da imagem. As características principais, todavia, são as deduções referentes aos elementos de reconhecimento da aerofoto.

Em relação ao uso da fotointerpretação em geotecnia, o procedimento confiável é combinar o estudo das aerofotos com um programa de verificação de campo, possibilitando a caracterização das unidades geotécnicas e a correlação dos padrões visualizados nas imagens.

Como em regiões tropicais o manto de intemperismo é bastante espesso e a vegetação é bem desenvolvida, MARCHETTI & GARCIA (1977) e RICCI & PETRI (1965) discorrem que, em geral, o processo de fotointerpretação deve ser realizado com base nos seguintes elementos de reconhecimento: tonalidade, textura, formas de relevo, padrões de drenagem, forma e tamanho das feições, sombreamento e as mudanças de algumas destas características com o tempo, o que possibilita a delimitação de uma área maior em zonas homogêneas menores.

Esta técnica é bastante utilizada nos mais variados campos de aplicações, incluindo a identificação de “hazards” (BONUCELLI, 1999), os levantamentos geológicos (RODRIGUES & NISHIYAMA, 2001), o mapeamento geotécnico em geral (PEJON, 1992; LOLLO, 1995); as obras de engenharia (BRYANT, 1982), o planejamento de cidades (FERRANTE & GANDOLFI, 1984; RUEDA & MATOS, 1994), o zoneamento do uso da terra (CHIARINI & DONZELLI, 1973; ROCHA et al., 1985; FIORIO, 1998) e os estudos ambientais em bacias hidrográficas (VALÉRIO FILHO & PINTO, 1990; OLIVEIRA, 1991; COLLARES, 2000).

Em relação às escalas das fotografias aéreas, ZUQUETTE (1987) cita que escalas maiores que 1:10.000 são úteis para estudos detalhados de áreas pequenas. Escalas entre 1:10.000 e 1:60.000 são adequadas para o estudo de grandes cidades ou áreas extensas, enquanto que escalas menores que 1:60.000 são indicadas para os estudos regionais ou para a visualização de grandes estruturas.

2.3.3 - PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS

O termo “imagem” tem significado bastante amplo, podendo referir-se às vezes ao simples reflexo de objetos no espelho, na água ou qualquer superfície polida, ou então se concretizar nas formas de expressão artística, tais como a pintura, a escultura e a fotografia.

No domínio do sensoriamento remoto, o termo se refere ao registro contínuo ou discreto de uma vista bidimensional (CURRAN, 1988). O registro é feito por um sensor geralmente acoplado a uma plataforma aérea ou orbital. Dependendo das

características do sistema sensor utilizado na aquisição dos dados (sistema fotográfico, imageamento eletro-óptico), a imagem será registrada na forma contínua ou discreta.

Quando se trata de imagem contínua, significa que a informação é registrada como um sinal contínuo que representa a exposição sobre a cena observada por um sensor fotográfico, cujo produto final apresentado para análise são dados analógicos, como as imagens em cópias de papel. Um exemplo de imagem contínua é a fotografia aérea.

Diferentemente do formato contínuo, na imagem discreta os detalhes são mantidos em unidades digitais ou discretas, que não podem ser vistas, mas que podem ser tratadas e manipuladas quantitativamente (CURRAN, 1988). Isto significa que a informação da cena observada pelo sensor é registrada em várias parcelas discretas, que são transformadas em impulsos elétricos e então codificadas e armazenadas em meio magnético na forma digital, onde somente podem ser tratadas e manipuladas por programas de computador. O conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para processar essas informações, com o objetivo de torná-las adequadas à interpretação, é conhecido como “processamento digital de imagens”.

As imagens multiespectrais adquiridas pelos sensores dos satélites Landsat e Spot, por exemplo, são registradas no formato digital. Neste caso, porém, a imagem pode ser transformada para o formato contínuo, onde cada banda registrada pelo sensor é convertida em níveis de cinza e/ou composições coloridas, a critério do usuário.

ROCHA et al. (1996) comenta que, apesar de distintas, as áreas de sensoriamento remoto e de processamento de imagens desenvolveram várias tecnologias, as quais vêm sendo muito utilizadas nos últimos anos, tornaram-se interdependentes e integradas em estudos geoambientais. Atualmente, não se concebe a utilização de uma sem o apoio da outra.

2.3.3.1 – Digitalização de imagens

Apesar de seus processos de registros serem totalmente diferentes, não há uma divisão rígida entre cada tipo de imagem, de modo que uma imagem digital pode ser convertida numa imagem contínua e vice-versa.

Na descrição do fluxo de dados em processamento de imagens, QUINTANILHA (1990) analisa o processo de digitalização dos sistemas sensores, como a amostragem da cena imageada através de uma malha hipotética, e a atribuição de valores inteiros (que correspondem aos níveis de cinza) a cada ponto dessa malha, ao que chama de processo de quantização.

O processo de digitalização de imagem analógica (fotografias, mapas, etc.) pode ser implementado através de um “scanner”, periférico que transforma a imagem em uma matriz bidimensional com o número de linhas e colunas e tamanho de cada célula pré-definidos, atribuindo a cada célula um valor de nível de cinza proporcional à tonalidade da imagem original (CRÓSTA, 1992). Esta matriz é então convertida para o formato gráfico, podendo ser lida e manipulada por sistemas de processamento digitais.

É importante frisar que a matriz bidimensional acima citada, equivale a malha hipotética referida por QUINTANILHA (op. cit.), bem como os pequenos elementos da imagem, que carregam valores de níveis de cinza associados, são mais freqüentemente referidos como *pixels* (*pixel* no singular, que representa uma forma abreviada de “picture element”).

Como a cada *pixel* corresponde uma única combinação de linha e de coluna, associou-se um sistema de coordenadas (x,y) para o espaço bidimensional da imagem, com origem no seu canto superior esquerdo, onde cada pixel tem um endereço único definido pelas distâncias ao longo da linha (x) e da coluna (y), a partir da origem. Além disso, o nível de cinza associado a cada *pixel* é registrado como um número digital ou DN (“Digital “Number”).

CURRAN (1988) comenta que o valor do DN depende do nível de energia eletromagnética proveniente da superfície da terra que o sensor recebe e do

número de níveis de intensidade que tiver sido usado para descrever a escala de intensidade da imagem. A maioria das imagens de sensoriamento remoto são codificadas em 8 “bits” (2^8), que representa uma amplitude de intensidade de 256 níveis de cinza, distribuídos no intervalo de 0 a 255.

Para imagens digitalizadas por meio de *scanner*, o princípio de atribuição de DN é similar, ou seja, a quantidade de níveis de cinza será sempre representada por uma potência de 2. Desta forma, uma fotografia digitalizada e codificada em 8 “bits” será exibida com 256 níveis de cinza. Já uma fotografia digitalizada com apenas 2 níveis de cinza (1 “bit”), resulta numa imagem binária da fotografia original, onde só se distinguem áreas totalmente pretas ou totalmente brancas.

2.3.3.2 – Técnicas de processamento digital de imagens

As técnicas de geoprocessamento permitem a integração de dados cartográficos e tabulares (não espaciais) e a rápida execução de qualquer tipo de operação sobre a mesma base de dados. CRÓSTA (1992) e PISANI (1989) comentam que tais técnicas evoluíram aceleradamente a partir do advento da série de satélites Landsat, em 1972, e da consequente modernização tecnológica dos sistemas de computação digital e redução de custos envolvidos no processamento de dados de imagens digitais geradas por sensores de maior resolução.

O processamento de imagens digitais refere-se aos procedimentos inerentes à manipulação numérica de imagens. QUINTANILHA (1990) e VALÉRIO FILHO (1994) subdividem estes procedimentos em:

- (i) técnicas de pré-processamento, que incluem a correção das imperfeições radiométricas, geométricas e atmosféricas. Depois de corrigidas, as imagens devem passar pelo processo de georeferenciamento.

- (ii) técnicas de realce, que são utilizadas no melhoramento visual das imagens.

- (iii) técnicas de classificação digital, as quais envolvem a extração de informações temáticas.

No caso específico de fotografias aéreas, a correção geométrica objetiva a minimização das distorções geométricas provenientes das características do sensor

utilizado e das variações decorrentes do seu movimento durante a captação da imagem, tais como as deformações devido às variações de latitude, posição e velocidade de voo da plataforma do sensor, efeito da curvatura da terra e deslocamento do relevo.

Este tipo de correção é feita por programas específicos que têm a função de organizar os pixels da imagem em relação a determinados sistemas de projeção cartográfica, através de técnicas de reamostragem. Após o ajuste geométrico, se faz necessário o cálculo dos novos níveis de cinza da imagem corrigida. Segundo QUINTANILHA (1990), os métodos de interpolação mais comuns para resolver este problemas são os seguintes:

(i) alocação do vizinho mais próximo: seleciona o nível de cinza mais próximo e o atribui ao pixel da imagem de saída. Este método de reamostragem tem a vantagem de ser computacionalmente eficiente e de preservar o valor do pixel.

(ii) interpolação bilinear: utiliza os valores de nível de cinza dos quatro vizinhos do pixel (ponderados pela distância deste a cada vizinho) para calcular seu valor de saída.

(iii) convolução cúbica: utiliza os valores dos dezesseis vizinhos do pixel.

2.3.3.3 – Georeferenciamento de imagens

Uma vez que fotografias aéreas estejam no formato digital (disponibilizado pelo uso do *scanner*), suas feições podem ser digitalizadas diretamente em tela, de forma manual, utilizando-se o cursor do computador.

Devido as distorções geradas por alterações dinâmicas (atitude, altitude e velocidade) sofridas pelo sistemas de imageamento, as imagens de sensoriamento remoto não se ajustam diretamente a um sistema de gradeamento cartográfico. Para CRÓSTA (1992), esta série de distorções a que estão sujeitas imagens de sensores remotos de qualquer tipo, ocasionam a falta de precisão cartográfica e, conseqüentemente, de posicionamento de objetos. Portanto, dependendo da precisão requerida para aplicação em mapeamentos e/ou da necessidade de junção de imagens (mosaicagem), essas distorções precisam ser corrigidas e um sistema de projeção cartográfica de referência precisa ser estabelecido.

Segundo OLIVEIRA (1988), na projeção UTM não existe deformações de ângulos e em decorrência disto não deforma áreas por menores que sejam, de maneira que a escala é a mesma em qualquer ponto e as distâncias são corretamente representadas.

Para a correção geométrica, CRÓSTA (1992) cita duas formas pelas quais é calculada a relação entre os dois sistemas de coordenadas. A primeira delas refere-se ao chamado “modelo de geometria orbital”, onde faz-se necessário o conhecimento exato dos parâmetros geométricos da órbita do satélite e de outras variáveis. A segunda, e mais comum, se faz através da definição de pontos de controle no terreno (GCPs, de *ground control points*), que têm de ser reconhecíveis tanto no mapa como na imagem.

Para a obtenção de um nível adequado de exatidão, CROSTA (op.cit.) e WOLF (1983) comentam que o uso de GCPs sobre a imagem (fotografia) em combinação com coordenadas conhecidas (mapa) possibilita estabelecer as diferenças de posicionamento de alguns pontos na imagem e no mapa, a partir das quais pode ser estimada a natureza da distorção presente na imagem e uma transformação adequada pode ser computada, no sentido de corrigi-la.

JONES et al. (1993) comentam que a maioria dos programas de digitalização apresentam uma forma de estimativa de precisão do processo de digitalização (sistema de mesa ou *display*). Esta estimativa compreende uma análise estatística na forma do erro médio quadrático (*RMS error – Root Mean Square error*), que expressa o grau de variação entre as medidas de coordenadas do sistema da mesa e do programa. Parte, portanto, da suposição que os erros ocorrem ao acaso e, desta forma, serão distribuídos normalmente ao redor das coordenadas definidas como verdadeiras. Assim, o RMS equivale ao desvio padrão desta distribuição, sendo determinado pela seguinte expressão:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (x-t)^2}{n-1}} \quad (12)$$

onde: x = medida da coordenada na direção de um dos eixos (x ou y) do sistema de mesa; t = medida da coordenada na direção do mesmo eixo acima, no sistema escolhido e n = número de pontos de controle da digitalização.

No caso de digitalização em tela, as coordenadas do sistema da mesa devem ser substituídas pelas coordenadas do sistema de *display*, isto é, as coordenadas que são lidas na tela, quando o cursor percorre a imagem.

A distribuição e quantidade desses pontos no terreno devem ser planejadas para que o georeferenciamento seja confiável. FARRET (1996) e FARRET & GIOTO (1997), em estudo relacionado ao georeferenciamento de fotografias aéreas de escala, testaram várias geometrias para quatro pontos de controle bem definidos e verificaram que o menor valor de RMS ocorreu com a distribuição dos pontos nos quatro cantos da fotografia. Além desta, a geometria que definiu os quatro pontos localizados na metade dos lados apresentou RMS próximo ao menor valor.

Sobre a escolha do número de pontos de controle e um determinado RMS, em georeferenciamento de imagens, JONES et al. (1993) relatam que a decisão de aceitar um certo valor de RMS (no limite do erro aceitável) é provavelmente mais segura quando este é calculado sobre uma amostragem mais ampla de pontos do que sobre quatro pontos de controles.

3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 – LOCALIZAÇÃO, ACESSOS E CONSIDERAÇÕES GERAIS

As sub-bacias hidrográficas do Ribeirão do Aterrado (RA), do Córrego Água Suja (AS) e do Ribeirão do Pombal (RP) ocupam uma área de aproximadamente 56Km² e estão situadas na região centro-leste do Estado de São Paulo, entre os meridianos 47°15'00" e 47°22'50"W e paralelos 22°53'52' e 22°58'11"S, na Folha topográfica Americana (SF-23-M-IV-3) escala 1:25.000 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1970).

Estas sub-bacias englobam a parte central do município de Monte Mor e integram a porção média da bacia hidrográfica do Rio Capivari (FIGURA 08). Em termos do Plano Estadual de Recursos Hídricos, localizam-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 5 – UGRHI 5 (Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – CBH-PCJ, 1996).

FIGURA 08 – Localização da Área, onde RA: sub-bacia do Ribeirão do Aterrado, AS: sub-bacia do Córrego Água Suja e RP: sub-bacia do Ribeirão do Pombal

De acordo com o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM (1977), o clima local é do tipo Cwa (classificação de Koeppen), tropical mesotérmico, de inverno seco e temperaturas médias acima de 24°C no verão.

A pluviosidade média anual na região de Monte Mor varia entre 1100 e 1300mm, concentradas no período de maior precipitação, que corresponde ao período entre outubro e março. Os meses com índices pluviométricos mais elevados são janeiro e dezembro, com precipitações de aproximadamente 200mm (Departamento de Água e Energia Elétrica -DAEE, 1998).

As sub-bacias RA, AS e RP estão integradas à Região Metropolitana de Campinas, que é considerada o segundo maior parque industrial do Estado de São Paulo. Estão próximas de importantes eixos rodoviários (Rodovias Anhanguera e Bandeirantes) por onde se processa a interiorização da Região Metropolitana de São Paulo. As principais rodovias de acesso à área são: a Rodovia do Açúcar (SP-308), a partir de Piracicaba e a Rodovia Jornalista Francisco Proença (SP-101), que liga Campinas à Capivari (FIGURA 09).

FIGURA 09 – Principais acessos à área, modificado de GONÇALVES (1989)

Predominam na área pastagens e cultivo de cana-de-açúcar nas porções centro e oeste e expansão urbana da cidade de Monte Mor (bairros de periferia, condomínios residenciais e chácaras) na porção leste da área.

3.2 – RECURSOS HÍDRICOS

A Bacia do Rio Capivari drena uma área de 1560km² e seu curso principal define o limite sul das três sub-bacias hidrográficas abordadas nesta pesquisa (Ribeirão do Aterrado, Córrego Água Suja e Ribeirão do Pombal). O Rio Capivari nasce em Jundiáí, deságua na margem direita do Rio Tietê e recebe parcial ou totalmente os esgotos urbanos e/ou industriais das cidades de Campinas, de Monte Mor, de Valinhos, de Vinhedo e de Louveira (CBH-PCJ, 1996).

As características de vazões superficiais e de precipitação na Bacia do Rio Capivari são mostradas na TABELA 08, elaborada por LOPES (1994) com base na regionalização hidrológica do Estado de São Paulo desenvolvida pelo DAEE em 1988.

TABELA 08 - Vazões naturais na bacia do Rio Capivari (modificada de LOPES,1994)

Bacia	A (km ²)	P (km)	Deflúvio médio anual		Vazão mínima		
			(10 ⁶ m ³ /ano)	(mm)	(10 ⁶ m ³ /ano)	(mm)	(m ³ /s)
Capivari (até Monte Mor)	752	1250	202,05	268	42,42	56	1,3
Capivari (total)	1655	1201	373,43	226	78,37	47	2,5

Legenda: A – área de drenagem e P – perímetro

MONTICELLI & MARTINS (1993) relatam que os terrenos das bacias dos Rios Piracicaba e Capivari são pouco explorados em termos de água subterrânea, sendo que somente pequenos municípios e algumas indústrias têm sua demanda atendida. A vazão média constatada em poços profundos é de 5.000l/h por poço. Este baixo potencial é evidenciado pelo fato de que somente 3,5% do consumo total de água dos municípios provém dos poços; o restante é captado nos rios e ribeirões.

3.2.1 – HIDROGEOLOGIA

O principal sistema de aquífero que ocorre na região de Monte Mor é o Tubarão, ocorrendo de forma restrita o aquífero Diabásio. De acordo com LOPES (op.cit.), os dados destes aquíferos são mostrados a seguir:

3.2.1.1 – Aquífero Tubarão

O Aquífero Tubarão ocorre em uma região da Bacia do Rio Capivari onde estão situados importantes eixos de conurbação e empreendimentos industriais, com alta taxa de crescimento e que demonstra escassez de recursos hídricos.

Este aquífero é constituído por rochas sedimentares do Subgrupo Itararé, representadas por uma complexa associação de litofácies de ambiente predominantemente glacial, com contribuições fluviais, lacustres, deltáicas e marinhas, as quais se sucedem vertical e lateralmente. Sua condição inadequada como aquífero é agravada na medida em que o Subgrupo Itararé é atravessado por intrusões de diabásio.

Tais aspectos conferem a este aquífero uma baixa permeabilidade, decorrente da matriz lamítica sempre presente nos arenitos, resultando em uma potencialidade limitada para o atendimento alternativo de demandas superiores a 50m³/h. As principais características deste aquífero são:

Características físicas:

- Área de ocorrência nas Bacias do Rio Piracicaba e do Rio Capivari: 3250 km² (correspondente a 22,5% da área das bacias);
- Espessura: 350m (coluna de 1100m de sedimentos);
- Propriedades do meio: extensão regional, porosidade granular, livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico.

Características geológicas:

- É constituído por depósitos glaciais e trabalhos fluviais e lacustres com predomínio de sedimentos siliciclásticos, que se interdigitam lateralmente;
- As litologias predominantes são: arenitos lamíticos, diamictitos e siltitos.

Características dinâmicas:

- Permeabilidade aparente: 0,002 a 0,7 m/dia

- Transmissividade: 0,3 a 40 m³/dia

Potencialidade

- Capacidade específica: 0,03 a 6m³/h/m;
- Vazões verificadas nos poços: 2 a 80 m³/h;
- Profundidades verificadas em poços: 100 a 400m

3..2.1.2 – Aquífero Diabásio

O Aquífero Diabásio é constituído por rochas intrusivas básicas, associadas à Formação Serra Geral, que atravessam a sequência sedimentar do Subgrupo Itararé. Suas principais características são:

Características físicas:

- Área de ocorrência nas Bacias do Rio Piracicaba e do Rio Capivari: 890 km² (correspondente a 6,5% da área das bacias);
- Espessura: até 180m;
- Propriedades do meio: aquífero de extensão limitada, porosidade de fissuras, heterogêneo, descontínuo, anisotrópico, livre a semi-confinado.

Características geológicas:

- É constituído por corpos intrusivos de rochas básicas na forma de diques, lacólitos, *sills* e corpos irregulares;
- A litologia predominante é o diabásio.

Características dinâmicas:

- Transmissividade: 0,2 a 50 m³/dia

Potencialidade

- Capacidade específica: < 0,001 a 4m³/h/m;

- Vazões verificadas nos poços: 2 a 30 m³/h;
- Profundidades verificadas em poços: 50 a 150m

3.2.2 – HIDROLOGIA

O Município de Monte Mor é dotado de vários corpos d' água como rios, córregos, cursos intermitentes, represas e barragens. Os cursos d' água mais representativos presentes na área de estudo e no seu entorno (FIGURA 10), são:

- a) o Ribeirão do Aterrado, o Córrego Água Suja, o Ribeirão do Pombal e o Córrego Monjolinho, situados na margem direita do Rio Capivari;
- b) o Rio Capivari Mirim, o Córrego Chapadão e o Córrego Azul, pertencentes à margem esquerda do Rio Capivari e
- c) as porções superiores do Ribeirão do Quilombo e do Ribeirão dos Toledos, pertencentes à Bacia do Rio Piracicaba.

FIGURA 10 – Principais corpos d'água presentes na área de estudo e no seu entorno, modificado de DAEE (1981), onde: ○ - pontos de captação, ● - pontos de lançamento, 1 – Ribeirão do Pombal, 2 – Córrego Água Suja, 3 – Ribeirão do Pombal, 4 – Córrego Monjolinho, 5 – Rio Capivari Mirim, 6 – Córrego Chapadão, 7 – Córrego Azul, 8 – Ribeirão do Quilombo e 9 – Ribeirão dos Toledos.

Com a realização de estudos nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari, MONTICELLI & MARTINS (1993) fizeram as seguintes constatações:

1) as indústrias da região são supridas, essencialmente (93%), por captação direta em mananciais superficiais. Apenas 5% (estabelecimentos de pequeno porte) são abastecidos pela rede pública e uma parcela ainda menor de 2% utiliza mananciais subterrâneos;

2) a captação de águas pelas indústrias foi de 14328 l/s (51580 m³/h), em 1992. Deste total, cerca de 11925 l/s (42930 m³/h) retornam aos rios na forma de efluentes. A TABELA 09 mostra a projeção das vazões industriais no Rio Capivari, para os próximos anos.

TABELA 09 – Projeção das vazões industriais no Rio Capivari para os próximos dez anos (MONTICELLI & MARTINS, 1993)

ANO	1995	2000	2010
Captação (m ³ /h)	8742	9137	9367
Lançamento (m ³ /h)	7272	7606	7759

O desenvolvimento da região, o contínuo aumento do uso das águas (indústrias, cidades e agricultura) e a redução das vazões causada pela ausência das matas ciliares têm causado um desequilíbrio que leva à redução da quantidade de água dos rios.

Segundo COLLARES (2000), os principais condicionantes que tornam inadequada a qualidade das águas dos principais mananciais superficiais da Bacia do Rio Capivari são: a ausência de tratamentos de esgotos municipais, a produção de cargas orgânicas e inorgânicas geradas na indústria, a produção de resíduos sólidos e o uso indiscriminado de agrotóxicos.

A análise integrada dos dados acima expostos revela a necessidade de um melhor aproveitamento dos mananciais de água subterrânea permitindo, desta forma, a diminuição do percentual de captação e a implantação de sistemas de despoluição das águas superficiais.

3.3 - GEOLOGIA

A área pesquisada está inserida na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná. O arcabouço geológico é dividido em dois conjuntos estratigráficos: o

Grupo Tubarão, representado pelo Subgrupo Itararé, composto por arenitos de granulação variada, diamictitos, siltitos e argilitos e, subordinadamente, por corpos intrusivos ou extrusivos de rochas básicas da Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento.

3.3.1 – GRUPO TUBARÃO

O termo Tubarão foi utilizado por WHITE (1908 apud SOUZA FILHO, 1986) para denominar rochas com evidência glacial e contendo carvão ocorrentes no estado de Santa Catarina.

A partir de trabalho realizado na região do Vale do Rio Tietê em São Paulo, BARBOSA & ALMEIDA (1949) dividiram o Grupo Tubarão em 5 formações, a saber (da base para o topo): Itu, Capivari, Gramadinho, Tietê e Itapetininga. Estes autores consideraram as quatro primeiras formações de origem glacial e, a superior, pós-glacial.

PETRI (1964) comentou que a divisão estratigráfica proposta por BARBOSA & ALMEIDA (op.cit.) para o Grupo tubarão dificilmente poderia ser estendida a todo o Estado de São Paulo, visto a inexistência de detalhes. O autor propôs a denominação de Subgrupo Itararé para toda a seqüência glacial e de Formação Tatuí para as rochas pós-glaciais.

Para ROCHA CAMPOS (1967), os sedimentos do Grupo tubarão foram aparentemente depositados sobre uma superfície sujeita a um longo período de erosão seguida por abrasão causada por deslocamento de geleiras continentais. Onde as rochas deste Grupo afloram no estado de São Paulo, esta superfície é em geral constituída por rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino.

Por sua vez, o termo Itararé surgiu com OLIVEIRA (1916) para denominar os sedimentos glaciais da Série Tubarão proposta originalmente por WHITE (1908, apud SOUZA FILHO, 1986).

Segundo SOUZA FILHO (op.cit.), a denominação estratigráfica de Subgrupo Itararé é a mais aceita para São Paulo, devido à identificação de diversas unidades

dentro do Itararé, que podem resultar na sua divisão em formações ou fácies sedimentares.

Diversas tentativas de subdivisão dos sedimentos do Itararé foram realizadas (SAAD, 1977; SOARES et al., 1977; COTTAS et al., 1981; LANDIM et al., 1986; MANIAKAS, 1986; SOUZA FILHO, 1986; STEUVAUX, 1987; PIRES & PETRI, 1991; PETRI & PIRES, 1992). Na realidade, a falta de correlação entre si e de continuidade lateral das unidades identificadas tornam todas essas propostas pouco aplicáveis.

Neste sentido, PIRES (2001) propõe a designação do Subgrupo Itararé como unidade indivisível, já que seus depósitos não permitem uma subdivisão em unidades litoestratigráficas formais. O autor sugere, ainda, a manutenção do Grupo Tubarão para toda a seqüência deposicional, porém com isenção de qualquer conotação paleoambiental. Esta seqüência é subdivida em Formação Tatuí, restrita ao topo da seqüência, e Subgrupo Itararé para as sedimentos clásticos mais inferiores.

3.3.2 – GRUPO SÃO BENTO

A ocorrência de rochas básicas correlacionadas à Formação Serra Geral é muito restrita na área de estudo e, por isso, as referências bibliográficas desta unidade são sucintas.

Os diversos tipos de texturas e do modo de ocorrência (soleiras, apófises e diques) das rochas básicas da Formação Serra Geral são descritos por SOARES et al. (1973). Os autores comentam a dificuldade em definir o tipo das estruturas associadas e citam que as relações de campo, especialmente do contato superior, são os indicativos mais eficazes da natureza intrusiva ou extrusiva dos corpos.

3.4 – GEOMORFOLOGIA

A região de Monte Mor está situada na Província Geomorfológica da Depressão Periférica, conforme a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo proposta por ALMEIDA (1964). De nordeste para sudoeste, esta província é

subdividida em três unidades morfológicas limitadas pelos divisores das bacias hidrográficas dos Rios Pardo/Mogi-Guaçu (Zona do Mogi-Guaçu), Tietê (Zona do Médio Tietê) e Paranapanema (Zona do Paranapanema), respectivamente.

As principais características da Zona do Médio Tietê (FIGURA 11), onde está localizada a área de estudo, são:

- a) a ocorrência predominante de rochas do Grupo tubarão e de porções descontínuas de corpos (*sills* e diques) de diabásio;
- b) o sistema de drenagem apresenta-se bem organizado, com padrão geral dendrítico e certo controle estrutural, evidenciado por diáclases e pela presença de corpos de diabásio ;
- c) o predomínio de relevo de “... colinas baixas, de formas suavizadas, separadas por vales jovens, sem planícies aluviais importantes, determinadas pela interseção dos perfis convexos das encostas” (ALMEIDA, 1964).

FIGURA 11 – Compartimentação geomorfológica do Estado de São Paulo (PONÇANO et al., 1981)

ROSS & MOROZ (1997) elaboraram um mapa geomorfológico do Estado de São Paulo e mantiveram a subdivisão da Província Depressão Periférica (ALMEIDA, 1969 e PONÇANO et al., 1981), devido às características próprias das grandes bacias de drenagem que cortam esta morfoescultura. Estes autores consideraram a região de Monte Mor como uma área de denudação com relevo medianamente dissecado e densidade de drenagem média, constituída essencialmente por colinas convexas de topos amplos e planos. Os vales

apresentam um grau de entalhamento muito baixo (<20m), as altimetrias predominantes estão entre 500 e 650m e as declividades variam entre 5 e 10%.

3.5 – VEGETAÇÃO NATURAL E OCUPAÇÃO DO SOLO

A distribuição primitiva da vegetação na região foi estudada por CHRISTOFOLETTI (1968). Existiam três tipos de vegetação:

- floresta latifoliada tropical, relacionada aos solos argilosos provenientes da decomposição das intrusivas básicas;
- cerrado, associado a áreas de depósitos neoceno-zóicos e solos arenosos residuais das rochas do Subgrupo Itararé e
- mata ciliar, que acompanhava os canais de drenagem.

Estes tipos de vegetação natural foram quase que extintos pelos processos de ocupação e, atualmente, ocorrem como manchas isoladas (capões) ou estão restritos às margens das principais drenagens. Em Monte Mor, foram substituídos por pastagens e plantações de cana-de-açúcar e, de modo subordinado, por culturas anuais (milho, feijão, batata) e hortifrutigranjeiros (Instituto Geográfico e Cartográfico - IGC, 1980). A distribuição das atividades agrárias de Monte Mor e de outras cidades localizadas no setor central da Bacia do Rio Capivari é apresentada na TABELA 10.

TABELA 10 – Dados agropecuários dos municípios que compõem o setor central da bacia do Rio Capivari, modificado de IBGE (1994)

Dados agropecuários dos municípios do setor central da Bacia do Rio Capivari					
	Capivari	Elias Fausto	Mombuca	Monte Mor	Rafard
Bovinos (cabeças)	4200	3600	1123	13100	2486
Suínos (cabeças)	30900	5450	1288	5570	1000
Granjeiro (frangos)	305000	88700	493677	561592	83000
Lavoura permanente (%)	0,1	0,6	0,2	1,3	0,05
Lavoura temporária (%)	58,8	3,3	39,1	33,7	64,9
Lavoura total (%)	58,9	3,9	39,3	35	64,9
Principais culturas (% da área total)	cana (57%)	Milho (2%) Tomate (1%)	Cana (37%) Milho (2%)	Cana (18%) Milho (10%) Batata (3%) Tomate (2%)	Cana (60%) Milho (4%)

4 – METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA

4.1 – ASPECTOS METODOLÓGICOS

Esta dissertação foi desenvolvida segundo a proposta metodológica de COLLARES (2000), a qual já norteou os trabalhos de SILVA (2000) e de SIQUEIRA (2001) em sub-bacias hidrográficas urbanas e rurais da Bacia do Rio Capivari, respectivamente.

A metodologia de COLLARES (op.cit.) preconiza a avaliação e determinação das modificações ocorridas em bacias hidrográficas, por meio da abordagem e caracterização de atributos referentes ao terreno (dados do meio físico) , à bacia hidrográfica (rede de drenagem) e à ocupação do meio físico (dados de atividades antrópicas).

Neste sentido, deve ser salientado que, devido à ausência de informações compatíveis com a escala de trabalho, a caracterização do meio físico seguiu a metodologia de mapeamento geotécnico de ZUQUETTE (1987 e 1993). Os documentos obtidos foram utilizados, posteriormente, na análise das alterações temporais de componentes da paisagem.

De forma integrada, esta pesquisa foi elaborada de acordo com três linhas básicas de trabalho representadas na FIGURA 12 e descritas a seguir.

FIGURA 12 – Sequência de procedimentos metodológicos empregados

4.2 – OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES

4.2.1 – DADOS DO MEIO FÍSICO

O procedimento metodológico adotado nesta etapa consistiu em etapas de escritório, de campo e de laboratório e permitiu a elaboração dos documentos cartográficos.

Ferramentas como a “Técnica de Avaliação de Terreno”, seguindo a sistemática proposta por LOLLO (1996), foram utilizadas para auxiliar no desenvolvimento do trabalho.

Os mapas temáticos foram elaborados na escala 1:25.000 , levando-se em conta as finalidades propostas para a área e são apresentados no formato A3, integrados no texto, para agilizar seu manuseio.

Os documentos produzidos foram: mapa de documentação, carta de declividade, mapa de *landforms*, mapa de substrato rochoso, mapa de materiais inconsolidados, mapas da rede de drenagem (1972 e 1995) e mapas de uso e ocupação (1972 e 1995).

A forma e as etapas realizadas para a elaboração de cada mapa ou carta são descritas detalhadamente no capítulo referente aos documentos cartográficos elaborados (capítulo 5).

4.2.1.1 – Trabalhos de campo

Após o reconhecimento preliminar da área, em cada ponto de observação foi realizada a caracterização dos materiais inconsolidados, do substrato rochoso, das formas de relevo locais (*landforms*) e o tipo de uso e ocupação. Foram realizados registros fotográficos em todas as etapas.

Os afloramentos rochosos foram descritos considerando-se a relação de contato com o material inconsolidado, a forma e atitude do topo rochoso, a descrição textural e o grau de alteração da litologia, as relações de contato entre litologias e a definição da unidade de mapeamento (associações litológicas).

Os materiais inconsolidados foram descritos por meio de análise tátil-visual, coloração, espessura, presença de linhas de seixos, origem (residual ou retrabalhado) e posição no relevo.

Num segundo momento, foi adotada uma sistemática de sondagem a trado com o objetivo de determinar com mais acuracidade a geometria e a espessura dos materiais inconsolidados, baseada na distribuição dos *landforms*. A realização deste procedimento é justificada pelo fato de que as exposições mais representativas (cortes de estradas) dos materiais inconsolidados geralmente situam-se nos interflúvios, dificultando e/ou mascarando a determinação da espessura real e da relação entre a cota de ocorrência do material inconsolidado e sua posição no perfil de alteração de cada unidade de terreno.

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas dos materiais inconsolidados. Para cada ponto de coleta, foram retirados aproximadamente três quilos de amostra deformada e, quando possível, uma amostra indeformada.

As amostras indeformadas foram coletadas conforme o “Método do Anel” (ZUQUETTE, 1987), onde uma amostra indeformada é retirada em um cilindro de PVC de 10cm X 5cm (diâmetro/altura) e devidamente conservada, a fim de evitar deformações e a perda de umidade.

Para agilizar o levantamento e cadastramento dos dados de campo foi elaborada uma planilha adequada às características da área mapeada (FIGURAS 13 e 14), a partir do modelo original sugerido por AGUIAR (1989) e acrescida de modificações conforme COLLARES (1994) e SOUZA(1996).

4.2.1.2 – Trabalhos de laboratório

A seleção dos ensaios foi feita com base em sua importância intrínseca à pesquisa, relativa rapidez de execução, simplicidade e custos.

Os seguintes ensaios foram realizados nos laboratórios do Departamento Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos – USP: ensaios físicos

(granulometria conjunta, massa específica dos sólidos (ρ_s) e massa específica seca de campo ($\rho_{d_{campo}}$) e ensaios químicos (CTC).

[illegible]

FIGURA 13 – Ficha utilizada nos trabalhos de campo (frente)

SUBSTRATO ROCHOSO	
Rocha	
Mineralogia	
Grau de Alteração	
Grau de Fraturamento	
Espessura	
Continuidade Lateral	
Estruturas	
Limites	
MATERIAL INCONSOLIDADO	
Textura	
Cor	
Gênese	Litologia
Espessura	
Grau de Alteração	
Amostragem	☐ Ausente ☐ Deformada ☐ Anel ☐ Trado ☐ Amostra de rocha
Fotografia	☐ Não ☐ Sim
Filme	Nº Foto
Croqui	

FIGURA 14 - Ficha utilizada nos trabalhos de campo (verso)

A TABELA 11 apresenta o total das informações obtidas nas atividades de campo (pontos de observação e furos de trado) e de ensaios de laboratório.

TABELA 11 – Resumo quantitativo das informações de campo e de laboratório

TIPO DE INFORMAÇÃO		QUANTIDADE
Pontos de Observação	Total	151
	Média	0,37 pontos/km²
Sondagem a trado	Total de furos	54
	Metragem total (m)	135,0
	Profundidade máxima (m)	5,8
	Profundidade média (m)	2,5
	Profundidade mínima (m)	0,6
Ensaio de laboratório	Amostras deformadas	76
	Amostras indeformadas	37

4.2.2 – DADOS DAS REDES DE DRENAGEM DAS SUB-BACIAS

O levantamento dos dados referentes à rede de drenagem das sub-bacias foi realizado por meio de fotointerpretação para duas épocas distintas (1972 e 1995). Os seguintes materiais foram utilizados: cartas topográficas na escala 1:10.000 (IGC, 1979), fotografias aéreas na escala 1:25.000 das duas datas citadas (TABELA 12), transparência (tipo *overlay*), estereoscópios de espelho e de bolso (Carl Zeiss) e os softwares ENVI 3.0® e Autocad MAP 3.0®

TABELA 12 – Relação das fotografias utilizadas (Fonte: Base Aerofotogrametria e Projetos S.A .)

ANO	FOTOGRAFIAS AÉREAS			
1972	36322, 36323, 36324, 36325, 36326, 36327 e 36328			
	37104, 37105, 37106, 37107, 37108, 37109, 37110 e 37111			
1995	1921	2022	2121	2223
	1922	2023	2122	2224
	1923	2024	2123	2225
		2025		

A obtenção e o processamento destas informações foram realizados por meio de cinco etapas: fotointerpretação, escaneamento, mosaicagem, georeferenciamento e digitalização, descritas a seguir.

Esta sistemática possibilitou a elaboração dos mapas da rede de drenagem (1972 e 1995) e a caracterização morfométrica das sub-bacias hidrográficas RA, AS e RP e, constitui parte dos procedimentos gerais da metodologia de COLLARES (2000) utilizada para determinar as alterações ambientais ocorridas nestas sub-bacias em um período de 23 anos.

4.2.2.1 – Fotointerpretação

A etapa de interpretação das fotografias aéreas consistiu na observação e na identificação dos cursos de drenagens. O principal resultado obtido foi a rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas e na escala 1:25.000, em dois períodos (1972 e 1995).

Os canais de drenagens foram extraídos manualmente das fotografias aéreas originais por meio da utilização de estereoscópios de espelho e de bolso, de canetas coloridas de ponta fina e de películas transparentes, sobre as quais foram efetuados os traçados das drenagens.

Estes canais foram hierarquizados de acordo com a classificação de STRAHLER (1957), com modificações, pois foram considerados todos os canais capazes de permitir o escoamento linear das águas, ou seja, os canais fluviais e pluviais.

Além dos canais de drenagem, outras informações foram registradas por meio da fotointerpretação tais como os limites das sub-bacias e as diferentes classes de atividades antrópicas.

4.2.2.2 – Escaneamento

Nesta etapa foi efetuado o escaneamento de cada conjunto de fotografia aérea e seu respectivo *overlay*, o qual foi salvo como arquivo de imagem (formato JPEG) com resolução de 300dpi.

Com o objetivo de eliminar as regiões que apresentavam deformações mais elevadas, obteve-se para os arquivos um aproveitamento de cerca de 90% da área total das aerofotos, devido ao recorte de suas bordas.

4.2.2.3 – Georeferenciamento

O georeferenciamento de cada fotografia aérea foi efetuado dentro do programa ENVI 3.0®, específico para o processamento de imagens. Após a inserção do arquivo de imagem (aerofoto) como imagem externa, foram realizados os seguintes procedimentos:

a) Com a sequência de comandos (registro→ selecionar pontos de controle→imagem para mapa) foram selecionados de cinco a dez pontos de controle por foto, com coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) baseadas em mapas topográficos de escala 1:10.000 (IGC, 1979). O arquivo foi

salvo com as opções (coordenadas de mapa, UTM 23, zona sul e tamanho do pixel: 10m).

A precisão obtida pode ser checada por meio da avaliação dos erros obtidos nos ajustes entre os pontos de controle cartográficos e os equivalentes na imagem, com base nos valores de *RMS error* (erro médio quadrático). Este índice é uma medida do desvio dos valores calculados em relação aos valores originais, com base no tamanho do *pixel* (SULSOFT, 2000). Em cada arquivo de imagem foi obtido um valor do índice RMS menor que 0,7. Isto significa que a diferença máxima entre as coordenadas reais de um conjunto de pontos e seus equivalentes na imagem foi de sete metros (70% do tamanho do pixel), compatível com a escala de trabalho.

b) A imagem tornou-se georeferenciada por meio da utilização dos comandos (registro→retificar imagens com pontos pré-definidos→retificar imagem mapa) adotando-se como opção de interpolação o método polinomial e reamostragem por convolução cúbica.

4.2.2.4 – Mosaicagem

Esta etapa permitiu a obtenção de uma imagem única (mosaico) correspondente à área total das sub-bacias RA, AS e RP para cada uma das épocas analisadas.

Os mosaicos foram elaborados segundo as recomendações de SULSOFT (2000), por meio da utilização dos seguintes recursos do programa ENVI 3.0®:

a) Inicialmente, as imagens georeferenciadas foram redimensionadas, por meio do recorte de suas bordas, utilizando-se os comandos (ferramentas→ferramentas de arquivo→ redimensionar imagem→ redimensionamento espacial→redimensionamento pela imagem);

b) os arquivos de imagem foram então carregados no *display* em duas janelas. Com o objetivo de homogeneizar as características de contraste (intensidade de brilho e de tons de cinza) foi selecionada uma região comum nas

imagens e, com a aplicação dos comandos (função→ realce de contraste →contraste interativo) para as duas regiões, o histograma de contraste da imagem base foi adicionado na imagem a ser homogeneizada;

c) após a execução de todas estas rotinas, partiu-se para a etapa de mosaicagem propriamente dita com o uso dos comandos (registro→mosaicar imagem→imagem georeferenciada). Este processo foi repetido até que os mosaicos de 1972 e 1995 estivessem completos.

Finalmente, foi criado um arquivo de pontos de controle para cada mosaico, o qual serviu de base para o georeferenciamento deste mosaico no programa Autocad MAP 3.0®.

A rotina da seleção dos pontos de controle foi a mesma adotada no item 4.2.2.3 (a). Para a criação do arquivo de pontos do tipo ROI (*region of interest*) utilizou-se os comandos (função→ região de interesse→ ROI). Os pontos previamente retirados da base topográfica foram selecionados no *display* e o arquivo foi salvo com as opções coordenadas de mapa, UTM 23, zona sul. O arquivo de pontos gerado foi então transformado do formato ROI para DXF por meio dos comandos (ferramentas→ferramentas de vetor→converter ROI/DXF).

O posterior processamento dos dados contidos nos mosaicos justificou a adoção deste procedimento no programa ENVI, já que a importação de imagens pelo programa Autocad MAP é efetuada no formato figura (JPEG), perdendo, desta forma, as georeferências.

4.2.2.5 – Digitalização e processamento dos dados

O processo de digitalização das informações incluídas nos mosaicos foi efetuado diretamente no *display* com o uso do *mouse*, utilizando-se o programa Autocad MAP 3.0®, o qual possibilitou maior rapidez e precisão na etapa de digitalização, pela possibilidade do uso de aumentos (*zoom*).

Para o processo de georeferenciamento do mosaico no Autocad MAP 3.0®, inicialmente a tela do programa foi dividida em duas janelas, com o uso dos

comandos (view→ tiled→ viewpoints→ 2viewpoints→ V). A seguir, o arquivo do mosaico (salvo no formato DWG) e dos pontos com as coordenadas georeferenciadas foram inseridos no programa utilizando-se os comandos (insert→ raster image→ attach).

Utilizando-se os comandos (map→ maptools→ rubber sheet) o georeferenciamento dos mosaicos foi efetuado por meio da seleção de pontos coincidentes nos arquivos de pontos e da imagem. O arquivo foi salvo por meio dos comandos (map→ save back→ save to source drawings), adicionando o arquivo de pontos ao arquivo imagem.

Desta forma, deu-se início à vetorização das demarcações efetuadas na fotointerpretação, as quais foram digitalizadas de forma isolada. Para cada sub-bacia hidrográfica foi criado um *layer* específico para cada ordem de canal de drenagem e outras informações.

Este procedimento otimizou o processamento das informações e a obtenção da dados numéricos por meio do processo de criação de topologia, o qual elaborado em duas etapas:

a) num primeiro momento, utilizando-se os comandos (map→ create→ create topology→ network / poligon) foram criadas topologias de rede para os canais de drenagem e de polígono para os traçados do limite de cada microbacia e tipos de atividades antrópicas, respectivamente. Desta forma, foram obtidos os seguintes parâmetros quantitativos : o número e o comprimento total dos canais, o número e o comprimento total dos canais por ordem de ramificação, a área das microbacias e das atividades antrópicas. As demais variáveis morfométricas foram calculadas a partir destas variáveis primárias.

b) Finalmente, estes dados puderam ser visualizados utilizando-se os comandos (map→ topology→ administrator).

A FIGURA 15 mostra os procedimentos adotados na obtenção dos dados da rede de drenagem de parte da área de estudo, os quais subsidiaram a realização da análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas (ver capítulo 6.1).

FIGURA 15 - Sequência de procedimentos adotada para a obtenção dos dados da rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas: (A) escaneamento de um conjunto de fotografia aérea e *overlay* contendo os canais de drenagem extraídos por meio de fotointerpretação; (B) mosaicação das aerofotos efetuada por meio da utilização do programa ENVI 3.0®. No detalhe, o círculo mostra cruzamento de estrada comum em (A) e (B). Observar a sobreposição das aerofotos (em pontilhado); (C) digitalização da rede de drenagem efetuada diretamente no *display* por meio da utilização do programa AUTOCAD MAP 3.0®.

4.2.3 - DADOS DE OCUPAÇÃO ANTRÓPICA

Os dados de atividades ou processos antrópicos foram obtidos, inicialmente, por meio da interpretação do conjunto de fotografias aéreas (escala 1:25.000) datadas de 1995 e de atividades de campo. Os critérios de fotointerpretação adotados foram os contrastes nos padrões de cinza, nos padrões texturais e nas formas associadas a cada tipo de atividade antrópica, exemplificados em BELCHER (1948) e SOARES & FIORI (1976). As observações de campo possibilitaram o registro das atividades antrópicas presentes na área e sua relação com as observações extraídas das aerofotos.

Na caracterização do terreno para o ano de 1972, de modo similar, se utilizou os critérios de diferenciação textural e de tons de cinza previamente estabelecidos na interpretação das aerofotos de 1995. Conjuntamente, os dados obtidos foram comparados aos diferentes tipos de atividades registradas em folhas topográficas, escala 1:10.000, do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, confeccionadas em 1979.

O processamento e a quantificação das diferentes classes de uso e ocupação foram efetuados por meio dos mesmos procedimentos adotados para os dados das redes de drenagem anteriormente descritos (item 4.2.2.). Essas informações serviram de base para a elaboração dos mapas de uso e ocupação e para a avaliação temporal das características de ocupação do terreno.

5 – PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS

5.1 – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXO I)

O mapa topográfico digital da área limitada pelas sub-bacias hidrográficas foi utilizado como base do Mapa de Documentação. Os documentos utilizados para a elaboração deste mapa foram as folhas topográficas Bairro Cruzeiro (SF-23-Y-A-V-3-SE-B), Monte Mor II (SF-23-Y-A-V-3-SE-D), Rio Capivari Mirim (SF-23-Y-A-V-3-SE-F), Bairro Santa Cruz (SF-23-Y-A-V-3-SE-A), Monte Mor I (SF-23-Y-A-V-3-SE-C), Bairro Sobradinho (SF-23-Y-A-V-3-SE-E), Bairro Terra Preta (SF-23-Y-A-V-4-SO-A), Córrego Campo Grande (SF-23-Y-A-V-4-SO-C) e Bairro Gonçalves (SF-23-Y-A-V-4-SO-E), na escala 1:10.000 (IGC, 1979).

Após o escaneamento de cada folha topográfica, foram digitalizadas as curvas de nível (com eqüidistância inicial de 5m) e a rede de drenagem simplificada, por meio da utilização do programa Autocad R14. Assim, foi gerado o mapa topográfico digital, transformado para a escala de trabalho (1:25.000).

As demais informações que estão inseridas no mapa de documentação (ANEXO I) são:

- as represas e os limites das microbacias (obtidos por meio de fotointerpretação),
- os pontos de controle, de amostragem e de sondagem a trado, efetuados durante os trabalhos de campo;
- o centro urbano de Monte Mor ,
- as vias de acessos (rodovias e estradas vicinais) e
- as coordenadas UTM.

5.2 – CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO II)

A Carta de Declividade foi elaborada a partir do mapa topográfico digitalizado, com a utilização do Sistema de Informação Geográfica IDRISI.

Num primeiro momento, o arquivo digital contendo as curvas de nível e pontos de cota isolados (no formato DXF) foi convertido para um arquivo texto (extensão TXT ou DAT), por meio do programa de conversão PGDXFCON (Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP). A partir deste arquivo texto, utilizou-se o programa SURFER 7.0 para a criação de uma malha retangular constituída por 1304 linhas e 801 colunas, onde são discriminadas as coordenadas UTM (X e Y) e a cota (Z). Esta malha foi então interpolada pelo método de mínima curvatura, com um espaçamento de 10/10m, dando origem a um modelo digital de terreno (MDT), como um arquivo de extensão GRD (TABELA 13 e FIGURA 16).

TABELA 13 - Distribuição das linhas do arquivo de extensão GRD

Direção	Mínimo	Máximo	Espaçamento
X	256981	270014	10
Y	7457995	7456998	10
Z	520	665	--

FIGURA 16 – Modelo Digital de Terreno gerado pela interpolação de curvas de nível de base topográfica 1:10.000, com exagero vertical de 5X, onde: RA – Ribeirão do Aterrado, AS – Córrego Água Suja e RP – Ribeirão do Pombal.

Este arquivo GRD foi convertido em um arquivo de imagem de extensão IMG, por meio da utilização do módulo de importação (File→Import/Export→Software Specific Formats→SRFIDRIS) do SIG IDRISI. A partir deste arquivo, por meio da sequência de comandos (Analysis→Context Operator→Surface→Slope→Reclass), foi gerada uma carta de declividade generalizada, em porcentagem, a qual foi posteriormente reclassificada em intervalos de classes definidas de declividade. Com o objetivo de melhorar a qualidade visual da carta de declividade para a subsequente interpretação visual, foi efetuada a filtragem digital da imagem reclassificada por meio dos comandos (Analysis→Context Operator→Filter→Mode).

As classes de declividade definidas foram cinco (TABELA 14), determinadas com base em ZUQUETTE (1987), DE BIASI (1970), trabalhos anteriores realizados na região (LIMA, 2000), análise das características fisiográficas da área e nas recomendações de IG(1993), mostradas na TABELA 15.

TABELA 14 – Classes de Declividade adotadas para a área de estudo

Classe	Intervalos (%)	Inclinações (°)	Área (Km²)
1	<2	<1,1	4,22
2	2-5	1,1-2,9	9,10
3	5-10	2,9-5,7	18,79
4	10-20	5,7-11,3	21,26
5	>20	>11,3	2,34

Na região estudada, predominam as áreas de declividade entre 5-10% e 10-20%. Subordinadamente, destacam-se as áreas de declividade baixa, representadas pelas taxas de declividade <2% e 2 –5%. De modo restrito, são registradas ainda áreas com faixas de declividade maiores que 20% associadas, em geral, às regiões das cabeceiras dos cursos de primeira ordem.

De modo comparativo, a FIGURA 17 ilustra parte da carta elaborada tanto segundo o IDRISI como utilizando a metodologia de DE BIASI (op.cit.) e de SANCHEZ (1993). A comparação entre elas mostra que a variação notada entre ambas é devida ao maior detalhamento realizado pelo programa. A carta de declividade adotada nesta pesquisa é apresentada no ANEXO II.

(A)

(B)

FIGURA 17 – Declividade de parte da região estudada (porção N da sub-bacia do Córrego Água Suja): (A) declividade obtida com a utilização do SIG IDRISI e (B) declividade manual obtida pela metodologia de DE BIASI (1970) e SANCHEZ (1993). Nota: mapas sem escala.

TABELA 15 - Características e atividades recomendadas nas diferentes classes de declividade, modificadas de IG (1993)

CLASSES DE DECLIVIDADES	RECOMENDAÇÕES DE USOS	RESTRIÇÕES E/OU PROBLEMAS ESPERADOS
<2%: terrenos planos ou quase planos, onde o escoamento superficial é muito lento ou lento	- Favorável à atividade agrícola intensiva e ao uso de máquinas agrícolas	- Impróprios as instalações de saneamento e canalizações subterrâneas de água; - Áreas sujeitas à inundação.
2-5%: terrenos com declividades suaves, nos quais o escoamento é lento ou médio	- Favorável ao uso agrícola mecanizado; à implantação de aeroportos locais, de rodovias e de ferrovias principais; - Terrenos mais indicados para a disposição de resíduos	- Problemas de erosão requerem práticas simples de conservação; - Limite urbano-industrial
5-10%: terrenos inclinados, com relevo ondulado, onde o escoamento é médio a rápido, porém com poucos problemas de erosão superficial	- Favorável ao uso de máquinas agrícolas	- Corresponde ao limite máximo para a implantação de saneamento, ferrovias e indústrias. - Exige práticas simples de conservação. No caso de utilização agrícola intensiva, devem ser tomadas medidas mais complexas.
10-20%: abrange os terrenos muito a fortemente inclinados, onde o escoamento superficial é rápido a muito rápido, respectivamente. Apresentam problemas de erosão superficial.	10-15%: áreas recomendadas para culturas perenes, pastagens ou reflorestamento	10-15%: limites de vias principais e loteamentos perpendiculares as curvas de nível e para implantação de projetos de engenharia simples e pouco complexos.
	15-20%: próprios para a implantação de sistema viário local e de lotes paralelos às curvas de nível	15-20%: classe limite para a implantação de residências individuais e estradas.
>20%: inclui os terrenos fortemente inclinados (20-30%) a íngremes (30-47%), com escoamento superficial muito rápido, susceptíveis a processos erosivos e movimentos de massa, respectivamente.		20-25%: limite para estruturas de engenharia;
		25-30%: limite máximo (Lei Lehmann Nº 6766/79) para ocupação de encostas sem restrições.
		30-47%: limite para operação de veículos tracionados e uso como área de recreação ou qualquer outro tipo de ocupação.
		>47%: não deve haver ocupação em declividades maiores que 47%. Limite máximo de corte raso a partir do qual só é permitida a exploração sustentada por abertura de florestas. (Lei Nº 4771/65 do Código florestal)

5.3 – MAPAS DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS (ANEXOS III e IV)

Os mapas de drenagens da área de estudo para os anos de 1972 e de 1995 são apresentados nos ANEXOS III e IV, respectivamente. Foram obtidos por meio da digitalização (vetorização) da rede de drenagem, traçadas manualmente com o auxílio de fotografias aéreas na escala 1:25.000, de acordo com os procedimentos pormenorizados no capítulo 4.2.2.

A partir do mapa de drenagem, os canais de drenagem e as sub-bacias hidrográficas foram ordenados segundo a classificação hierárquica de STRAHLER (1952) e, em seguida, analisados de acordo com os padrões de drenagem e sua morfometria.

A região estudada é compartimentada em três sub-bacias, com forma predominantemente alongada, dispostas longitudinalmente segundo a direção N20°W / S20°E. Quanto à ordem de ramificação, a sub-bacia RA é de sexta ordem, a sub-bacia RP é de quinta ordem e a sub-bacia AS é de quarta ordem. Apresentam um comprimento total da rede de drenagem de 217,0km (TABELA 16).

TABELA 16 – Dados da rede de drenagem das sub-bacias RA, AS e RP (1995)

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS		
	RA	AS	RP
Número total de canais	305	156	262
Número de canais de primeira ordem	226	117	205
Número de canais de segunda ordem	57	31	45
Número de canais de terceira ordem	15	7	9
Número de canais de quarta ordem	4	1	2
Número de canais de quinta ordem	2	-	1
Número de canais de sexta ordem	1	-	-
Comprimento total da rede de drenagem (km)	96.6	49.7	70.7

Os principais padrões de drenagem observados na área de estudo são: sub-dendrítico e retangular. As outras formas são: dendrítica, dicotômica e paralela. A densidade de drenagem é baixa ($<7,5 \text{ km/km}^2$) e a densidade hidrográfica é alta (7 a 15 N1/km).

5.4 –MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO (ANEXO V)

A região estudada está inserida quase que exclusivamente no Subgrupo Itararé, o qual é constituído por uma seqüência de rochas clásticas sedimentares de siltitos, lamitos, arenitos, diamictitos e argilitos (ANEXO V). De forma localizada, ocorrem rochas intrusivas básicas (diabásios) correlacionáveis à Formação Serra Geral.

Deve ser ressaltado que, pelo fato deste estudo não ter como objetivo uma descrição crono-estratigráfica, a área de ocorrência do Subgrupo Itararé foi dividida informalmente em distintas associações litológicas, levando-se em consideração as litologias predominantes e as freqüentes e complexas intercalações observadas em campo.

5.4.1 – SUBGRUPO ITARARÉ (CARBONÍFERO – PERMIANO)

Por meio da análise dos dados preexistentes e, principalmente das etapas de reconhecimento de campo e de fotointerpretação, tornou-se possível a caracterização de duas associações litológicas distintas, descritas a seguir:

5.4.1.1– Associação litológica I (siltitos, lamitos, argilitos e arenitos finos):

Nesta unidade há o predomínio de rochas de granulometria fina, com intercalações de siltitos, lamitos, argilitos e arenitos finos subordinados, sendo restrita a ocorrência de diamictitos. A FIGURA 18 mostra uma exposição desta associação.

Os siltitos são predominantes nesta associação, tendo sido observados pacotes de 1,0 a 3,0m de espessura aflorante. Apresentam coloração em geral acinzentada e ocorrências locais de tons amarelos e amarronzados. Assim como nos argilitos, é freqüente a presença de estratificação plano-paralela. É comum os siltitos mostrarem intenso empastilhamento, o que vem a dificultar a manutenção de taludes mesmo de pequena altura, quando expostos em cortes de estradas.

Os corpos de arenito que ocorrem intercalados normalmente exibem porção aflorante pouco espessa, em torno de 0,5 a 1,5m. Apresentam granulometria de areia fina a média e são pouco cimentados. Em geral, exibem estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno porte. Localmente, mostram-se friáveis e com grãos de feldspato caulinizados.

FIGURA 18 – Ponto de observação 11, junto à rodovia Monte Mor-Sumaré. Subgrupo Itararé - Associação litológica I: camadas de siltito com intercalações freqüentes de arenito fino e de argilito .

5.4.1.2 – Associação litológica II (siltitos arenosos, arenitos e diamictitos):

Esta unidade é constituída por intercalações de corpos tabulares e lenticulares de arenito com camadas de diamictitos, siltitos arenosos e, subordinadamente, argilitos e lamitos.

São mais freqüentes os arenitos de coloração esbranquiçada, de caráter maciço, granulometria fina a média, sendo observados arenitos médios a grosseiros, feldspáticos de coloração amarelada e arenitos argilosos de cor cinza esverdeada, quando associados aos diamictitos. Localmente foram observados corpos de arenitos deformados, mal selecionados, com presença de dobras atectônicas de dimensões métricas, associados a pacotes de siltito em lavra abandonada da Cerâmica Adogeri (ponto de observação 19 e FIGURA 19).

FIGURA 19 – Ponto de observação 19 (Cerâmica Adogeri). Lentes (?) de arenitos deformados associadas a siltitos e diamictitos da associação litológica II do Subgrupo Itararé.

São comuns as intercalações de camadas de diamictitos, com matriz silto-arenosa, com predominância desta última fração, com cores acinzentadas ou amareladas e seixos e blocos polimíticos (arenitos, metabasitos, quartzito e granito) dispersos de dimensões centimétricas a decimétricas, por vezes facetados, não tendo sido notada a presença de seixos estriados.

Estes corpos de diamictito apresentam formas e dimensões variadas, tendo sido observado pacotes de 2 a 3 metros de espessura. Entretanto, atinge localmente 10m em campo. Geralmente, apresentam pouca continuidade lateral. Nesta seqüência, os siltitos e argilitos são menos freqüentes e exibem normalmente estratificação horizontal e coloração marrom a avermelhada. Megablocos com 2 a 3 metros de diâmetro de migmatito referidos por MEZZALIRA (1972) foram observados cerca de 4 km a N-NE do núcleo urbano de Monte Mor, nas imediações do ponto de observação 26 (FIGURA 20).

MEZZALIRA (1969) comenta que referências sobre blocos erráticos de grande porte, como o visitado, são raríssimas na literatura glacial no Brasil.

FIGURA 20 – Vista de “bloco errático” de granito Pirituba (MEZZALIRA, 1969), associado aos níveis de diamictitos e de arenitos conglomeráticos da Associação Litológica II do Subgrupo Itararé. Proximidades do ponto de observação 26.

5.4.2 – ROCHAS INTRUSIVAS BÁSICAS (JURÁSSICO-CRETÁCEO)

As ocorrências de rochas intrusivas (diabásios) podem ser concordantes (*sills*) ou discordantes (diques pouco expressivos) e são bastante restritas na área pesquisada.

Os corpos concordantes ocorrem somente na porção inferior da sub-bacia do Ribeirão do Aterrado. Mostram-se muito intemperizados, formando pacotes com mais de 5m de espessura (FIGURA 21). Observações de campo indicam que os *sills* de diabásio guardam relações concordantes de contato com as rochas sedimentares das duas associações litológicas do Subgrupo Itararé.

Os diques de diabásio normalmente mostram-se bastante intemperizados, com orientação preferencial N30°W e N20-48°E, subverticalizados e com espessura de 0,7 até 1,5 metros. Podem ser observados em afloramentos cortando indistintamente as camadas das duas associações litológicas do Subgrupo Itararé. Por meio da análise macroscópica de *corestones*, notou-se o predomínio dos termos com textura fanerítica fina a afanítica. Os diques delgados de diabásio não foram assinalados no Mapa de Substrato Rochoso.

As melhores exposições destes corpos discordantes estão na mineração de argila da Cerâmica Milano (ponto de observação 02), na rodovia que liga Monte Mor a Sumaré (ponto de observação 11) e em acesso asfaltado nas imediações de Monte Mor (ponto de observação 51 e FIGURA 22).

FIGURA 21 – Solo residual espesso de diabásio, com coloração avermelhada típica e com raros fragmentos da rocha original. Ponto de observação 7b, localizado junto à rodovia Monte Mor – Sumaré.

FIGURA 22 – Dique de diabásio intemperizado, com cerca de 1,5m de espessura, subvertical (orientação N84°E/82°SW), cortando sequência de arenitos com intercalações de diamictitos e siltitos do Subgrupo Itararé (associação II). Ponto de observação 51.

5.5 – MAPA DE *LANDFORMS* (ANEXO VI)

5.5.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

O mapa de *landforms* foi elaborado a partir da aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, de acordo com a sistemática de LOLLO (1996), envolvendo trabalhos de fotointerpretação na escala 1:25.000, observações de campo e do mapa topográfico (mapa base) de mesma escala.

Esta técnica foi desenvolvida com o objetivo de avaliar as condições naturais do meio físico, compartimentando o terreno em unidades semelhantes (ou com heterogeneidades mínimas), o que possibilita um zoneamento do terreno em termos de feições do relevo e dos materiais associados (substrato rochoso e materiais inconsolidados).

LOLLO & ZUQUETTE (1996) adotaram uma conceituação exclusivamente fisiográfica para um *landform*, o qual caracteriza uma porção do terreno formada a partir de processos naturais e distinguível das porções vizinhas (demais *landforms*) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo. Para a subdivisão do terreno em termos de *landforms*, LOLLO & ZUQUETTE (op. cit.) propõem o uso de três níveis hierárquicos, conforme o objetivo da análise desenvolvida e a escala adotada (FIGURA 23). Os níveis hierárquicos são:

1 - Sistema de Terreno (*Land System*): são caracterizados como associações de feições de relevo que apresentam condições de processos evolutivos semelhantes e associações com materiais rochosos;

2 - Unidade de Terreno (*Land Unit*): representa uma feição individual, a qual se distingue por determinado subconjunto de processos diferentes dos demais. A delimitação das unidades é efetuada com base na morfologia do terreno, incluindo características como a declividade, a amplitude de relevo, o padrão de drenagem, entre outras;

3 – Elemento de Terreno (*Land Element*): este nível hierárquico corresponde à menor subdivisão do terreno, baseando-se na inclinação ou forma das vertentes, posição ou forma topográfica.

FIGURA 23 – Aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, modificada de COOKE & DOORNKAMP (1990 apud LOLLO, 1995).

5.5.2 – CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS *LANDFORMS*

A unidade de análise básica do mapa de *landforms* é a unidade de terreno. A caracterização das unidades foi efetuada com base no reconhecimento dos tipos e das formas dos trechos dos *landforms* e na descrição dos padrões de drenagem. Desta forma:

a) a terminologia utilizada para a descrição das unidades de terrenos seguiu os critérios de LOLLO (1996) e o sistema de classificação de relevo adotado por ALMEIDA (2000). Os trechos de *landforms* considerados na descrição foram: topo, vertente, fundo de vale e rupturas de declive (TABELA 17).

TABELA 17 – Unidades de terreno e seus critérios de descrição , modificado de LOLLO (1996) e ALMEIDA (2000)

TRECHOS DOS LANDFORMS	CLASSES	DIMENSÕES OU DESCRIÇÃO	CRITÉRIOS ADOTADOS
Expressão geográfica (colinas, morrotes e morros)	Pequeno	< 1km	Extensão maior (maior componente da forma)
	Médio	1 a 2 km	
	amplo	>2km	
Forma de seção transversal (colinas)	Ondulada	5 a 10%	Declividade ⁽¹⁾ das vertentes
	Suave ondulada	2 a 5%	
	aplainada	<2%	
Vertentes	09 combinações possíveis (extensão e perfil das vertentes). Fontes das definições utilizadas (FIGURA 24): RUHE(1975) apud MITCHELL (1991)		Intervalo desde o cume até o fundo do vale
Topos	Plano	Foi utilizada a terminologia adotada por ALMEIDA (2000), (FIGURA 25).	trechos das vertentes à montante de rupturas de declive positivas
	Achatado		
	Arredondado		
	Agudo ou anguloso		
Expressão geográfica (Vale)	Pequeno (estreito)	< 1km	Extensão (seção transversal do vale)
	Médio	1 a 2km	
	amplo	>2km	
Rupturas de declive	Convexa/ positiva: abrupta ou suavizada		FIGURA 26
	Côncava/negativa: abrupta ou suavizada Fonte: SOARES & FIORI (1976)		

⁽¹⁾Declividade generalizada: intervalo de declividade predominante na área de interesse.

b) descrição dos padrões de drenagem : os padrões de drenagem são descritos em relação ao seu arranjo espacial e à sua densidade relativa na área.

Os termos utilizados na descrição dos padrões de drenagem observados nas unidades de *landforms* estão listados no capítulo 2.2.2 e descritos na TABELA 18.

A densidade hidrográfica foi analisada de acordo com a terminologia de LOLLO (1996) mostrada na TABELA 19.

TABELA 18 - Descrição dos padrões de drenagem observados na área de estudo.

Fonte: ZERNITZ (1932) e HOWARD (1967)

PADRÃO	CARACTERÍSTICAS E SIGNIFICADO
Dendrítico	- Ramificações irregulares em todas as direções; as junções dos tributários e o canal principal de altos ângulos; - Substrato com resistência uniforme; sedimentos horizontais ou oblíquos; rochas cristalinas com declive regional suave
Subdendrítico	- Difere do padrão dendrítico apenas pela falta de perfeição; - Controle regionais secundários (estrutural e topográfico): padrão dendrítico inicial modificado por controle estrutural incipiente ou pelo encaixamento progressivo da drenagem em uma cobertura sedimentar
Paralelo	- Os canais apresentam-se em geral paralelos entre si; - Áreas de declive moderado a forte e substrato resistente; pode ser encontrado em formas de relevo alongadas ou subparalelas
Subparalelo	- Os canais orientados em uma direção similar, mas sem a regularidade do padrão paralelo; - Áreas com brando controle estrutural dados por estratos deformados e de resistência à erosão relativamente uniforme.
Retangular	- É caracterizado por junções de alto ângulo tanto no canal principal como em seus tributários. Difere do padrão treliça por ser mais irregular e por não apresentar canais perfeitamente paralelos - Áreas juntas e/ou falhas em ângulos retos.
Dicotômico	- Assemelha-se ao padrão dendrítico, contudo os tributários tendem a divergir do canal principal; - Em escala regional, é comum em áreas de deposição: leques e deltas aluviais.

TABELA 19 – Densidade hidrográfica das unidades de *landforms*, modificada de LOLLO (1996)

TERMO	DESCRIÇÃO	CRITÉRIO DESCRITIVO
Muito alta	$> 15 \text{ N1/km}^2$ ⁽¹⁾	Densidade hidrográfica
Alta	7 a 15 N1/km^2	
Média	3 a 7 N1/km^2	
Baixa	$< 3 \text{ N1/km}^2$	

⁽¹⁾ N1: número de canais de primeira ordem

FIGURA 24 – Formas das vertentes, com base nas distintas formas longitudinais e transversais (perfis), respectivamente, modificado de RUHE (1975) apud MITCHELL (1991)

FIGURA 25 – Perfil esquemático das formas de topos, onde: (A) plano, (B) achatado, (C) arredondado e (D) anguloso ou agudo. Fonte: ALMEIDA (2000).

FIGURA 26 – Esquema do perfil das rupturas de declive, onde: (A) convexa/positiva abrupta, (B) convexa/positiva suavizada), (C) côncava/ negativa abrupta e (D) côncava/negativa suavizada. Fonte: SOARES & FIORI (1976).

Devido à quase que totalidade da ocorrência de rochas sedimentares pertencentes ao Subgrupo Itararé e dos materiais inconsolidados delas derivados, a área de estudo foi englobada em um único sistema de terreno, o qual proporcionou formas de relevo colinosas comuns às três sub-bacias hidrográficas.

A região foi dividida em vinte unidades de relevo, condicionadas pelo formato e extensão dos topos, vales e vertentes, traçado de drenagem, declividade, grau de dissecação do terreno e amplitudes altimétricas. Esta compartimentação é reflexo da heterogeneidade e da alternância lateral e vertical dos principais litótipos do Subgrupo Itararé.

O mapa de *landforms* é apresentado no ANEXO VI, onde estão inseridas todas as unidades mapeadas, juntamente com a localização das seções que foram realizadas com o objetivo de mostrar a distribuição dos *landforms* nas sub-bacias RP, AS e RA (FIGURAS 27, 28 e 29, respectivamente).

Para cada unidade de relevo descritas a seguir, são apresentados um par estereoscópico e uma foto panorâmica (geralmente com vista parcial da unidade), com o objetivo de propiciar uma melhor visualização de algumas das principais características e observações referentes à cada *landform*.

A ocorrência dos padrões de drenagem retangular e paralelo e de feições anômalas do tipo cotovelo (ver item 2.2 – FIGURA 07) observadas no traçado da rede de drenagem sugerem um controle estrutural das formas observadas na região, em especial das sub-bacias AS e RP.

FIGURA 27 - Perfis topográficos transversais (A e B) e longitudinais (C e D) indicados no mapa de *landforms*, mostrando a disposição das unidades na sub-bacia RP. Os perfis foram elaborados com escala horizontal 1:25.000 e escala vertical 1:3.000.

FIGURA 28 - Perfis topográficos transversais (A e B) e longitudinais (C e D) indicados no mapa de *landforms*, mostrando a disposição das unidades na sub-bacia AS. Os perfis foram elaborados com escala horizontal 1:25.000 e escala vertical 1:3.000.

FIGURA 29 - Perfis topográficos transversais (A e B) e longitudinais (C, D e E) indicados no mapa de *landforms* (com escala horizontal 1:25.000 e escala vertical 1:3.000), mostrando a disposição das unidades na sub-bacia RA.

5.5.3 – DESCRIÇÃO DOS LANDFORMS

5.5.3.1 – Unidade 1

Localiza-se no limite norte (região de cabeceira) da sub-bacia AS e ocupa cerca de 1,02km² (1,5%) da área total estudada. De forma geral, constitui um relevo de colinas médias com vertentes convexo-retilíneas de pequeno comprimento (FIGURA 30), com predominância de declividade alta (10-20%) a localmente muito alta (>20%), ocorrendo entre as cotas 572m e 662m. O padrão de drenagem é subdendrítico e a densidade hidrográfica é muito alta ($D_h=31 \text{ N1/km}^2$). Os canais de segunda ordem apresentam vales fechados, com interflúvios sem direção preferencial e com topos variando de angulosos a arredondados. A ocorrência desta unidade é mostrada no perfil LM (FIGURA 28C).

FIGURA 30 – (A) Par estereoscópico da Unidade 1; (B) A seta indica a direção da vista panorâmica parcial desta unidade: observar canal de segunda ordem com vale fechado e curto, com vertentes de perfil retilíneo e de pequeno comprimento associadas.

Os materiais inconsolidados predominantes na Unidade 1 são:

- materiais residuais de textura arenosa, com espessuras mínimas observadas em campo de 1,0m a 2,5m, oriundos de arenitos e diamictitos (com intercalações de siltitos) da Associação Litológica II do Subgrupo Itararé e
- materiais retrabalhados de textura arenosa, com espessuras mínimas observadas em campo de 1,5m , chegando a atingir até 4,8m quando localizados à montante de quebra de relevo positiva abrupta (ponto de observação 14).

5.5.3.2 – Unidade 2

Esta unidade situa-se nos setores oeste e sul da sub-bacia RA, ocupando 5,28km² (9,5%) da área de estudo.

Geomorfologicamente é constituída por colinas amplas com vertentes retilíneo-convexas extensas, com comprimento variando entre 875m e 1250m. Ocorre entre as cotas 532m e 597m, com predominância de declividade baixa (2-5%) a média (5-10%), sendo a densidade hidrográfica muito baixa ($D_h=2,5 \text{ N1/km}^2$), conforme pode ser observado na FIGURA 31. Os perfis RS e VX (FIGURAS 29B e 29D, respectivamente) caracterizam a Unidade 2 e suas principais diferenças com outros *landforms* vizinhos.

As unidades de materiais inconsolidados associados são:

- materiais residuais de diabásio (latossolos), de textura argilosa e de coloração avermelhada típica. As observações de campo e sondagens a trado indicam espessuras superiores a 5 metros para estes materiais e
- materiais residuais de textura arenosa, com espessura de até 2,4 metros (ponto de observação 84), oriundos de arenitos (e intercalações de siltitos) da Associação Litológica I (Subgrupo Itararé). Estes materiais são restritos à parte baixa das vertentes.

(A)

(B)

FIGURA 31 – (A) Vista aérea parcial da Unidade 2: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando encosta típica desta unidade.

5.5.3.3 – Unidade 3

Esta unidade localiza-se na porção central da sub-bacia RA, possui 4,4km² em área, representando 7,9% da área de estudo.

Geomorfologicamente é constituída por colinas amplas com vertentes retilíneas e de perfil convexo a retilíneo (FIGURA 32), de extensão média (comprimento entre 425 metros e 750 metros) e com topos angulosos. Os vales associados são fechados, estreitos e bastante encaixados. A declividade predominante varia de média (5-10%) a

alta (10-20%) e ocorrem entre as cotas 543m e 625m. O padrão de drenagem é retangular, com densidade hidrográfica baixa ($D_h=11,1 \text{ N1/km}^2$) e interflúvios aplainados a arredondados. Localmente, são observados extensos canais de primeira ordem alinhados. O perfil PQ (FIGURA 29A) ilustra a ocorrência da Unidade 3.

(A)

FIGURA 32 – (A) Par estereoscópico da Unidade 3: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando vertentes de perfil convexo, típicas desta unidade.

Os materiais inconsolidados que ocorrem nesta unidade são:

- materiais com influência marcante da rocha original (neossolos), com espessura máxima verificada em campo de 0,5m. As intercalações mais frequentes são de diamictitos e de arenitos, ocorrendo localmente siltitos e argilitos;

- materiais residuais de textura siltosa, com espessura mínimas observadas em campo de 1,2 metros (ponto de observação 84), oriundos de siltitos com intercalações de arenitos friáveis e de argilitos;

- materiais residuais de textura argilosa, com espessura de até 0,9 metros (ponto de observação 81), oriundos de argilitos e siltitos da Associação Litológica I (Subgrupo Itararé). Estes materiais são restritos à parte baixa das vertentes e

- materiais retrabalhados de textura arenosa, com espessuras máximas (observações de campo e sondagens) de 4,0m e associados a trechos de vertentes com declividade alta (10-20%).

5.5.3.4 – Unidade 4

Situa-se na porção de cabeceira da sub-bacia AS. Sua área é de 1,49 km², representando 2,7% da área da região estudada.

Esta unidade é caracterizada por apresentar colinas pequenas com vertentes retilíneas a convexo-retilíneas, assimétricas e com ruptura de declive positiva abrupta. A declividade é alta (10-20%) a muito alta (>20%) e ocorre entre as cotas 560m e 632m. Apresenta alta densidade hidrográfica ($D_h=13,4 \text{ N1/km}^2$), onde os canais de primeira ordem mostram disposição paralela e estão encaixados em vales fechados (em “V”), pouco entalhados e com interflúvios arredondados (FIGURA 33). O perfil BI (FIGURA 28A) apresenta a ocorrência da Unidade 3.

As unidades de materiais inconsolidados presentes são:

- materiais com espessuras reduzidas (< 0,5 m), oriundos da alteração incipiente de diamictitos e arenitos da Associação Litológica II (Itararé) e

- materiais retrabalhados de textura arenosa, com coloração marrom avermelhada, com espessura mínima de 1,5m observadas em campo.

(B)

FIGURA 33 – (A) Par estereoscópico da Unidade 4: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando vertentes retilíneas com interflúvios arredondados e canais de primeira ordem paralelos.

5.5.3.5 – Unidade 5

Esta unidade apresenta uma área de 1,13km², o que representa 2,0% da região de estudo, ocorrendo na porção W do curso inferior da sub-bacia RP.

Caracteriza-se por apresentar colinas pequenas com vertentes retilíneas a retilíneo-côncavas, de declividade média a alta (FIGURA 34). Ocorre entre as cotas 528m e 592m. A densidade hidrográfica é muito alta ($D_h=30,1 \text{ N1/km}^2$) e os canais de

drenagem estão encaixados em vales fechados e entalhados (em forma de “V”). O padrão de drenagem é tipicamente dendrítico e os interflúvios são arredondados a aplainados. O perfil EF (FIGURA 27C) ilustra a ocorrência desta unidade.

FIGURA 34 – (A) Vista aérea da Unidade 5: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando vertentes (encostas) típicas desta unidade.

As unidades de materiais inconsolidados ocorrentes são:

- materiais residuais argilosos, com espessuras variando entre 1,1m e 2,3m, oriundos de siltitos e argilitos da Associação Litológica I (Itararé), localizados nas partes baixas das vertentes;

- materiais residuais de textura arenosa, pouco espessos (0,7m a 1,0m), oriundos de siltitos arenosos e situados à montante de quebra de relevo convexo/positiva suavizada e
- materiais com espessura < 0,5m (neossolos), restritos ao extremo W do *landform* e associados aos trechos superiores de quebra de relevo convexo/positiva abrupta.

5.5.3.6 – Unidade 6

Esta unidade apresenta uma área total de 2,50km², representando 4,5% da região estudada e ocorre nas porções média e inferior das sub-bacias RP e AS. O perfil JK (FIGURA 28B) apresenta uma ocorrência parcial desta unidade.

Geomorfologicamente é constituída por colinas amplas com vertentes convexas a retilíneas, de comprimento médio (300 metros a 750 metros) e topos em geral arredondados (FIGURA 35). Ocorre entre as cotas 523m e 578m, com declividade média (5-10%) a alta (10-20%). A densidade hidrográfica é média ($D_h=7,0 \text{ N1/km}^2$) e o padrão de drenagem predominante é paralelo, com alguns anfiteatros (áreas de cabeceira) apresentando canais de primeira ordem com padrão subdendrítico.

As unidades de materiais inconsolidados ocorrentes são:

- materiais residuais argilosos, com espessura observada em campo variando entre 1,1m e 1,6m, normalmente situados nas partes baixas das vertentes;
- materiais residuais de textura siltosa, com espessura máxima de 1,0m, situados nas regiões de meia encosta;
- materiais retrabalhados, de textura argilosa e com espessura mínima de 1,4m, geralmente associados às vertentes retilíneas de comprimento médio e
- neossolos (espessura < 0,5m) associados a vertentes convexo-retilíneas de topos angulosos.

FIGURA 35 – (A) Vista aérea parcial da Unidade 6: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando vertentes (encostas) típicas desta unidade.

5.5.3.7 – Unidade 7

Situa-se preferencialmente no curso inferior das sub-bacias RA, AS e RP. Sua área é de 3,76km², representando 6,8% da região estudada. O perfil GH (FIGURA 27D) apresenta uma ocorrência parcial desta unidade.

Esta unidade ocorre entre as cotas 528m e 582m e é caracterizada por colinas amplas constituídas por vales abertos e por vertentes convexo-retilíneas, de declividade média (5-10%) e topos arredondados a sub-angulosos (FIGURA 36). A

densidade hidrográfica é muito alta ($Dh=20,2 \text{ N1/km}^2$) e o padrão de drenagem varia de dendrítico a subdendrítico.

FIGURA 36 – (A) Par estereoscópico de parte da Unidade 7: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando vertentes retilíneas e declividade típica desta unidade.

Os materiais inconsolidados presentes nesta unidade são:

- materiais residuais arenosos, com espessuras que variam de 0,9m a 2,5m, oriundos de arenitos (e intercalações de diamictitos e de siltitos) da Associação Litológica II (Itararé);
- materiais residuais de textura siltosa, com espessura mínima (observações de campo e sondagem a trado) de 1,3m. Localmente, estes materiais encontram-se recobertos por material retrabalhado arenoso, com espessura máxima de 1,0m e
- neossolos (espessura < 0,5m), oriundos de arenitos e diamictitos levemente alterados.

5.5.3.8 – Unidade 8

Ocupa uma área de 0,94km² (1,7%) da região estudada e ocorre na porção central da sub-bacia RA, entre as cotas 537m e 608m. Apresenta limites com outros *landforms* por meio de divisores de drenagem com topos angulosos. O perfil VX (FIGURA 28D) mostra a distribuição desta unidade.

Geomorfologicamente é constituída por colinas médias com vales abertos associados a vertentes retilíneas a convexo-retilíneas, de declividade média a alta e com interflúvios levemente arredondados (FIGURA 37). Apresenta densidade hidrográfica muito alta ($D_h=24,5 \text{ N1/km}^2$) e padrão de drenagem dicotômico (espinha de peixe), com vales angulosos (em “V”), entalhados e de pequena extensão associados aos canais de primeira ordem.

Nesta unidade, é predominante a ocorrência de material inconsolidado arenoso e pouco espesso (< 1,0m), oriundo de arenitos e de diamictitos da Associação Litológica II do Subgrupo Itararé . Localmente, chega a atingir 2,45m de espessura (furo de trado 85), quando associado à parte baixa da vertente.

FIGURA 37 – (A) Par estereoscópico da Unidade 8: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando canal principal de drenagem deste *landform*, com vertentes retilíneas e vales estreitos e fechados associados.

5.5.3.9 – Unidade 9

Possui uma área de 2,45km² (4,4% da região estudada) e ocorre na porção N da sub-bacia RA. O perfil YZ (FIGURA 29E) mostra a distribuição desta unidade.

Caracteriza-se por colinas amplas com vales abertos (em forma de “U”) e com vertentes convexo-retilíneas, com comprimento variando de 500 metros a 700 metros, de declividade média a alta e com interflúvios sub-angulosos e moderadamente

orientados (FIGURA 38). Ocorrem entre as cotas 563m e 647m, com padrão de drenagem dendrítico e densidade hidrográfica muito alta ($Dh=21,6 \text{ N1/km}^2$).

(A)

(B)

FIGURA 38 – (A) Par estereoscópico de parte da Unidade 9: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando vertentes típicas desta unidade.

O perfil de alteração desta unidade é marcado pela ocorrência de materiais residuais de textura arenosa e com espessura alcançando até 5,0 m, sendo possível a verificação de estruturas reliquias da rocha original (como no furo de trado 101). Em alguns locais, são observados arenitos pouco intemperizados da Associação Litológica II (Itararé). Estes materiais encontram-se recobertos por materiais retrabalhados arenosos com espessura mínima de 1,7m, restritos à porção superior de ruptura de relevo convexa/positiva suavizada.

5.5.3.10 – Unidade 10

Apresenta uma área de 10,75km², compreendendo 19,3% da região estudada. Ocorre entre as cotas 548m e 638m, no setor leste da sub-bacia RA.

Geomorfologicamente é constituída por morrotes com vertentes convexas de comprimento médio a grande , variando de 550 metros a 1300 metros. Os topos são arredondados ou aplainados, com vales fechados e menos entalhados que aqueles associados à Unidade 12. A declividade generalizada é média a alta, sendo baixa nos segmentos superiores das vertentes. O padrão de drenagem é subdendrítico e a densidade hidrográfica é baixa ($D_h=5,1 \text{ N1/km}^2$).

Os perfis TU e YZ (FIGURAS 29C e 29E, respectivamente) ilustram a distribuição desta unidade.

Os materiais inconsolidados presentes nesta unidade são:

- materiais residuais de textura siltosa, com espessura máxima de até 2,0m, oriundos de siltitos e lamitos (com raras intercalações de arenitos) da Associação Litológica I do Subgrupo Itararé;
- materiais retrabalhados arenosos, com espessuras superiores a 5m (sondagens a trado nos pontos 3 e 30) quando associados aos segmentos superiores das vertentes. Por vezes, pode ser observada uma linha de seixos como limite entre estes dois materiais, como no caso do ponto de observação 28 e
- materiais retrabalhados argilosos, restritos aos topos de vertentes convexas de médio comprimento.

A FIGURA 39 apresenta uma vista aérea parcial e uma tomada panorâmica da Unidade 10, mostrando algumas de suas principais características.

FIGURA 39 – (A) Par estereoscópico da porção S da Unidade 10: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B). Observar o perfil tipicamente convexo e o grande comprimento das vertentes desta unidade. Visada da foto: E.

5.5.3.11 – Unidade 11

Esta unidade faz limites com os demais *landforms* por quebra de relevo côncava/negativa geralmente abrupta. É constituída pelas planícies de inundação e terraços aluviais de declividade muito baixa (<2%) associadas aos córregos principais das sub-bacias RA, AS e RP. Ocupa uma área de 4,27km² (7,7% da região estudada). Sua distribuição é mostrada na maior parte dos perfis das FIGURAS 28, 29 e 30.

5.5.3.12 – Unidade 12

Situa-se na porção N da sub-bacia RP. Sua área é de 2,35km², perfazendo 4,2% da região estudada. Esta unidade é caracterizada por colinas médias com vertentes preferencialmente convexas, de comprimento variando entre 525 metros e 875 metros, com topos arredondados e vales fechados (em forma de “V”) e entalhados (FIGURA 40). A declividade é média a alta e ocorre entre as cotas 563m e 637m. A densidade hidrográfica é alta ($D_h=9,0 \text{ N1/km}^2$) e o padrão é subdendrítico. Os perfis AB e EF (FIGURAS 27A e 27C, respectivamente) apresentam a distribuição desta unidade.

FIGURA 40 – (A) Par estereoscópico da Unidade 12: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), notar as vertentes convexas e os vales fechados associados.

O perfil de alteração desta unidade é caracterizado pela presença de materiais residuais arenosos com espessura que variam de 1,0m a 1,6m (tradagem nos pontos 131 e 132), os quais são recobertos por materiais retrabalhados arenosos com espessura máxima de 4,0m nos topos arredondados e que diminui em direção à base das encostas, onde localmente o substrato rochoso (arenitos da Associação Litológica II) se faz aflorante.

5.5.3.13 – Unidade 13

Sua área é de 0,75km², compreendendo 1,3% da região estudada. Ocorre de forma localizada nas sub-bacias AS e RP, entre as cotas 548m e 591m.

Geomorfologicamente esta unidade é constituída por morrotes e por colinas pequenas a médias com interflúvios de topos angulosos associados a vertentes convexo-retilíneas de pequeno comprimento (FIGURA 41). Apresenta declividade média a alta, densidade hidrográfica alta ($D_h=16,0 \text{ N1/km}^2$) e padrão de drenagem retangular.

Os perfis GH e BI (FIGURAS 27B e 27C) ilustram a distribuição desta unidade em relação aos demais *landforms*.

Os materiais inconsolidados presentes são:

- neossolos, com espessuras < 0,5m, associados aos segmentos superiores das vertentes e topos angulosos;
- materiais residuais de textura argilosa, oriundos de lamitos da Associação Litológica I (Itararé), com espessura média de 1,6m e associados à base das vertentes e
- de modo restrito, associados aos morrotes, materiais residuais arenosos com espessura máxima de 0,9m, oriundos de intercalações de siltito e de arenito da mesma associação.

FIGURA 41 – (A) Par estereoscópico da Unidade 13: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B), mostrando o pequeno comprimento das vertentes associadas.

5.5.3.14 – Unidade 14

Esta unidade apresenta uma área de 4,56km², compreendendo 8,2% da região estudada. Ocorre na porção W da sub-bacia RP, entre as cotas 533m e 626m.

Caracteriza-se por colinas amplas e vales fechados (em “V”), entalhados e sub-paralelos de canais de terceira ordem alongados, associados a vertentes retilíneas com comprimentos que variam de 475 metros a 900 metros (FIGURA 42). Apresenta

uma densidade hidrográfica alta ($D_h=14,4 \text{ N1/km}^2$) e um padrão de drenagem subdendrítico. Os perfis CD e EF (FIGURAS 27B e 28C) ilustram a distribuição desta unidade.

FIGURA 42 – (A) Vista aérea parcial da Unidade 14: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B): observar vales fechados e vertentes retilíneas associadas.

O perfil de alteração desta unidade apresenta materiais residuais de textura siltosa, oriundos de siltitos com intercalações de lamitos (Associação Litológica I) e com espessura visível de campo em geral $<1,0\text{m}$. Estes materiais estão recobertos, na porção N, por materiais retrabalhados arenosos de espessura máxima de $2,1\text{m}$ e, na porção S, por materiais retrabalhados argilosos com espessura variando entre $2,1\text{m}$ e $2,8\text{m}$.

5.5.3.15 – Unidade 15

Esta unidade está situada na porção E da sub-bacia AS. Sua área é de 2,37km², perfazendo 4,3% da região estudada.

Ocorre entre as cotas 538m e 602m e é constituída por colinas médias com vertentes convexas a retilíneas, de comprimento que varia de 300 a 700 metros. Apresenta declividade média a baixa e densidade hidrográfica média ($D_h=5,9 \text{ N1/km}^2$), associadas a vales abertos e à planície de inundação do Córrego Água Suja (FIGURA 43). Localmente, podem ser observados pequenos morrotes no sopé de tais vertentes. Os perfis JK e NO (FIGURAS 28B e 28D) mostram a distribuição desta unidade.

(A)

(B)

FIGURA 43 – (A) Vista aérea parcial da Unidade 15: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B): notar a forma convexa das vertentes. Na esquerda da foto, planície de inundação do Córrego Água Suja.

Nesta unidade, verifica-se o predomínio dos seguintes materiais inconsolidados, oriundos de siltitos e de argilitos da Associação Litológica I (Itararé):

- materiais residuais de textura argilosa, com espessura variando de 1,4m até 2,0m, quando associados aos segmentos inferiores de vertentes retilíneas e
- materiais residuais siltosos, com espessuras observadas em campo entre 0,9m e 1,9m, com contribuições descontínuas de material coluvionar, associados as vertentes convexas.

5.5.3.16 – Unidade 16

Esta unidade está situada na porção N da sub-bacia RP. Sua área é de 1,62km², perfazendo 2,9% da região estudada. Ocorre entre as cotas 555m e 637m e é constituída por colinas médias com vales fechados (em “V”) e sub-paralelos e associados a vertentes retilíneas a retilíneo-convexas, com comprimento variando de 220 metros a 410 metros, de declividade média e interflúvios alongados e geralmente arredondados, com nítida ruptura de relevo convexa/positiva abrupta (FIGURA 44). O padrão de drenagem é subdendrítico e a densidade hidrográfica é muito alta ($D_h=26,5 \text{ N1/km}^2$). Os perfis AB e GH (FIGURAS 27A E 27D, respectivamente) mostram a distribuição desta unidade na área.

As unidades de materiais inconsolidados predominantes são:

- neossolos, com espessuras < 0,5m, associados a encostas de perfil convexo pouco extensas ou situados à montante de quebra de relevo positiva abrupta;
- materiais residuais argilosos, com espessura de até 2,80m (observado na tradagem realizada no ponto 124), posicionados na meia encosta e segmentos inferiores de vertentes retilíneas e
- materiais retrabalhados arenosos, com espessura máxima de 4,3m associados às regiões de topos arredondados e de declividade baixa que recobrem materiais

residuais de diamictitos e de arenitos com espessura < 1,0m, como observado na sondagem do ponto de observação 138.

FIGURA 44 – (A) Para estereoscópico da Unidade 16: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B): observar as vertentes com quebra de relevo abruptas (tracejado).

5.5.3.17 – Unidade 17

Sua área é de 1,30km² (2,3% da região estudada) e ocupa a zona limítrofe das sub-bacias RP e AS, entre as cotas 535m e 582m.

Esta unidade é constituída por colinas amplas com vertentes retilíneas a côncavo-retilíneas, topos preferencialmente angulosos, com declividade média e comprimento variando entre 200 metros e 500 metros, associados a vales abertos e pouco entalhados (FIGURA 45). Possui densidade hidrográfica muito alta

($D_h=17,6 \text{ N1/km}^2$) e padrão de drenagem subdendrítico. A distribuição desta unidade e sua relação com os demais *landforms* são mostradas no perfil CD (FIGURA 27B).

FIGURA 45 – (A) Vista aérea da Unidade 17: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B): observar no detalhe a forma côncava da vertente.

As unidades de materiais inconsolidados observadas são:

- neossolos, com espessuras $< 0,5\text{m}$, oriundos de incipiente alteração de siltitos e de arenitos, associados às regiões com topos angulosos;

- materiais residuais siltosos , com espessura média de 1,0m (sondagem no ponto de observação 114), situados na zona de meia encosta e

- materiais residuais argilosos, com espessuras que variam de 1,3m a 2,1m (pontos 117, 118, 145 e 146), localizados preferencialmente na base das vertentes.

5.5.3.18 – Unidade 18

Esta unidade ocorre caracteristicamente na sub-bacia RA, entre as cotas 552m e 602m. Sua área é de 1,07km², perfazendo 1,9% da região mapeada. Geomorfologicamente, é constituída por colinas pequenas com vertentes côncavas pouco extensas. Apresenta densidade hidrográfica muito alta ($Dh=31,8 \text{ N1/km}^2$), declividade média a alta e padrão de drenagem dicotômico (FIGURA 46). O perfil RS (FIGURA 29B) ilustra caracteristicamente a ocorrência deste *landform*.

O perfil de alteração da Unidade 18 é composto por materiais residuais de textura arenosa, oriundos de intercalações de arenitos (e intercalações de siltitos) da Associação Litológica II (Itararé). As sondagens e observações de campo (pontos 94, 95 e 119) mostram que a espessura destes materiais varia desde 2,2m até 4,6m, quando associados aos segmentos inferiores das vertentes.

FIGURA 46 – (A) Par estereoscópico da Unidade 18: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B)

(B)

FIGURA 46 – Vista panorâmica de uma porção da Unidade 18, onde pode ser notada a forma côncava das vertentes típicas desta unidade. Foto tirada em estrada vicinal da sub-bacia RA (rumo N80°W).

5.5.3.19 – Unidade 19

Apresenta uma área de 1,11km² (2,0% da região mapeada) e é caracterizada por terrenos aplainados que ocorrem junto à planície de inundação do Córrego Água Suja, entre as cotas 545m e 610m. As vertentes associadas são retilíneas, pouco extensas e de declividade baixa, com densidade hidrográfica baixa ($D_h=3,6 \text{ N1/km}^2$). Localmente, podem ser observados canais de primeira ordem com padrão retangular e com vales fechados, estreitos e pouco escavados.

A FIGURA 47 apresenta uma visão estereoscópica e panorâmica desta unidade, enquanto que os perfis LM e NO (FIGURAS 28C e 28D, respectivamente) ilustram sua distribuição e relação com os demais *landforms*.

O perfil de alteração da Unidade 19 é constituído por materiais residuais arenosos pouco desenvolvidos (espessuras entre 1,0m e 1,6m) e oriundos de siltitos e arenitos da Associação Litológica I (Itararé), os quais estão recobertos por materiais retrabalhados de textura arenosa, com comportamento laterítico (observações de campo) e espessuras que variam de 1,3m até 3,2m, quando associados aos segmentos superiores das vertentes, de declividades menores.

FIGURA 47 – (A) Par estereoscópico da Unidade 19: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B); notar os terrenos rebaixados e vertentes retilíneas de baixa declividade típico deste *landform*.

5.5.3.20 – Unidade 20

Esta unidade possui uma área de 2,58km² (4,6% da região mapeada) e ocorre nos segmentos superiores das sub-bacias AS e RA, entre as cotas 560m e 628m. É constituída por colinas médias com vertentes retilíneas a retilíneo-convexas, de declividade alta (10-20%) a média (5-10%), com densidade hidrográfica alta ($D_h=14,3$ N1/km²) e padrão de drenagem retangular, associados a vales fechados pouco

entalhados (FIGURA 48). Os perfis NO e VX (FIGURAS 28D e 29C, respectivamente) ilustram a distribuição desta unidade.

O perfil de alteração é composto por materiais residuais silto-argilosos, oriundos de siltitos e lamitos da Associação Litológica I, com espessura desde 0,9m (base das vertentes) até 2,3m (meia encosta), na porção W e, por materiais residuais arenosos com espessura entre 3,0m e 5,0m, os quais são mais espessos e evoluídos quando associados às partes baixas das vertentes, na porção E da unidade. Similarmente à Unidade 19, estes solos residuais encontram-se recobertos por materiais retrabalhados arenosos, com maior espessura (até 3,4m) quando posicionados nas regiões de topos aplainados.

FIGURA 48 – (A) Par estereoscópico da Unidade 20: a seta indica a direção da vista panorâmica em (B); observar vertente retilínea que constitui esta unidade (seta branca).

5.6 – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

5.6.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

O mapa de materiais inconsolidados foi elaborado, em linhas gerais, de acordo com procedimentos de ZUQUETTE (1987), a saber: revisão bibliográfica, análise do mapa litológico, aerofotointerpretação com utilização do mapa de *landforms*, trabalhos de campo, classificação tátil-visual e ensaios laboratoriais.

Com o propósito de agilizar as observações de campo, buscou-se na literatura uma classificação em termos de perfil de alteração que retratasse a área de estudo adequadamente. A proposta adotada foi a de PRICE (1993), cuja terminologia para os distintos graus de alteração está baseada em características como textura, descoloração, porcentagem de materiais com sinais de decomposição, entre outras (TABELA 20).

TABELA 20 – Níveis de alteração do material rochoso (PRICE, 1993).

GRAU DE ALTERAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
VII	Solo residual	Toda a rocha está alterada para solo. Estruturas e texturas destruídas
VI	Completamente alterado	Todo maciço acha-se alterado para solo (saprolito). Estruturas e texturas intactas
V	Altamente decomposto	Mais de 50% da rocha está decomposta para solo (saprolito) e descolorida. Possibilidade da presença de alguma rocha fresca formando uma malha descontínua.
IV	Moderadamente alterado	Menos de 50% da rocha encontra-se totalmente decomposta e descolorida. Possivelmente a rocha fresca constitui uma malha contínua.
III	Levemente alterado	A alteração progride ao longo da maioria das descontinuidades, com leve alteração do maciço rochoso como um todo.
II	Fracamente alterado	Alteração limitada à superfície das descontinuidades maiores.
I	Rocha fresca	Nenhum sinal de alteração visível

De acordo com os critérios propostos por PRICE (1993), nota-se que as classes I, II, III e IV são mais características dos materiais líticos do substrato rochoso, enquanto que as classes V, VI e VII são as mais próximas aos materiais inconsolidados.

A divisão e classificação das unidades dos materiais inconsolidados foi realizada por meio de três atributos básicos: gênese, textura e espessura (TABELA 21).

TABELA 21 - Esquema adotado para a divisão dos materiais inconsolidados

ATRIBUTOS		CLASSES	OBSERVAÇÕES
1	Gênese	T – transportado R – residual Rx – rochoso	- os argilominerais de materiais residuais tendem a ser mais instáveis em relação à erosão e apresentam comportamento diferenciado frente às modificações da rede de drenagem
2	Textura	a – arenoso s – silteoso g – argiloso	- as informações sobre a textura foram obtidas principalmente a partir dos ensaios granulométricos - a divisão textural adotada foi baseada na ocorrência dos principais litotipos na área estudada (siltitos, arenitos, diamictitos e argilitos)
3	Espessura	1 – 0,5 a 1,0m 2 – 1,0 a 3,0m 3 – 3,0 a 5,0m 4 – > 5,0m	- a espessura dos materiais inconsolidados foi determinada por meio da realização de sondagem a trado. A sistemática para a locação dos furos foi: (i) a seleção de uma encosta representativa da morfologia da cada <i>landform</i> e (ii) a definição de três locações de sondagem: no topo, na meia encosta e no sopé da referida encosta - a profundidade máxima de cada furo foi limitada a seis metros, para agilizar a operacionalidade do equipamento em campo - as quatro classes de espessura dos materiais inconsolidados foram definidas com base na sondagem e nos caminhamentos preliminares de campo

5.6.2 – ENSAIOS REALIZADOS

Durante os trabalhos de campo foram descritos 151 pontos (ver mapa de documentação – ANEXO I), sendo selecionados 66 como os mais representativos e

amostrados em diferentes níveis de alteração. As amostras coletadas foram utilizadas para a caracterização textural, dos índices físicos e da fração fina pelo método de adsorção do azul de metileno.

5.6.2.1 – Caracterização textural

A caracterização textural dos materiais inconsolidados foi realizada por meio de análise granulométrica conjunta, segundo a Norma NBR – 7181/84 (ABNT MB-32). Em alguns casos, utilizou-se a caracterização tátil-visual de NOGUEIRA (1995).

5.6.2.2 – Índices físicos

Massa específica dos sólidos

O índice físico “ps” (massa específica dos sólidos) foi determinado segundo a Norma NBR-6508/84 (ABNT MB-28).

Massa específica seca de campo

O índice físico “pd” (massa específica seca) foi determinado a partir do “Método do Anel” (ZUQUETTE, 1987), onde uma amostra indeformada é retirada em um cilindro de PVC de 10 X 5cm (diâmetro X altura) e devidamente conservada, para não perder a umidade natural. Após a determinação em laboratório da massa e da umidade do solo coletado, foram efetuadas as seguintes relações:

$$\rho = \frac{M_w}{V_{anel}} \quad (13)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{(w + 1)} \quad (14)$$

onde:

M_w = massa do solo coletado, em g

V_{anel} = volume do anel, em cm³

W = umidade do solo coletado

ρ = massa específica do solo, em g/cm³

ρ_d = massa específica seca, em g/cm³

Índice de vazios e porosidade

A porosidade “n” e o índice de vazios “e” foram calculados por meio de fórmulas de correlação a partir dos dados obtidos anteriormente:

$$e = \left(\frac{\rho_s}{\rho_d} \right) - 1 \quad (15)$$

$$n = \frac{e}{(1 + e)} \quad (16)$$

5.6.2.3 – Método de adsorção de azul de metileno

O ensaio de adsorção de azul de metileno consiste em um método alternativo de caracterização da fração fina dos materiais inconsolidados, segundo PEJON (1992). Por meio deste ensaio é possível:

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

O procedimento deste método consiste em determinar a quantidade exata de uma solução de concentração conhecida de azul de metileno (cloridrato de metiltiamina – $C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$) que é necessária para saturar de cátions de azul de metileno uma amostra de solo (com peso e porcentagem de argila conhecidos). Os resultados dos ensaios são validados no instante em que os cátions de azul de metileno formam uma camada monocatiônica sobre as partículas de argila.

Conhecida a quantidade de solução gasta na saturação da amostra ensaiada, é possível calcular: a CTC da amostra (FÓRMULA 17), a superfície específica (SE) de 1g de amostra (FÓRMULA 18), os parâmetros de quantidade de adsorção de azul de metileno pelo solo – Vb (FÓRMULA 19) e a quantidade de adsorção de azul de metileno pela fração argila – Acb (FÓRMULA 20).

$$CTC = \frac{(V_x C_x 100)}{M} \quad (17)$$

$$SE = \frac{(3,67 \times V)}{M} \quad (18)$$

$$Vb = \frac{(c \times V)}{10 \times M} \quad (19)$$

$$Acb = \frac{(100 \times Vb)}{C_2} \quad (20)$$

onde:

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

SE = superfície específica, em m²/g;

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

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

V = volume da solução gasto, em ml;

M = massa do solo seco, em g;

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

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

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

Na TABELA 22 é apresentada a classificação da composição mineralógica da fração fina dos materiais, segundo BEAULIEU (1979 apud PEJON, 1992).

TABELA 22 - Composição mineralógica da fração fina dos materiais inconsolidados (BEAULIEU, 1979 apud PEJON, 1992)

ARGILA	CTC (meq/100g)
Caulinita	3 – 15
Haloisita (2H ₂ O)	5 – 10
Haloisita (4H ₂ O)	10 – 40
Ilita	10 – 40
Clorita	10 – 40
Atapulgita	20 – 30
Montmorilonita	80 – 150
Vermiculita	100 – 150

Com o uso do gráfico mostrado na FIGURA 49 (LAUTRIN, 1987 apud PEJON, 1992) é possível estimar possíveis teores de mistura de argilas, por meio do índice Vb . Na FIGURA 50 é apresentada a classificação de atividade das argilas adotada, baseando-se no parâmetro Acb.

FIGURA 49 – Influência da mineralogia das argilas sobre a adsorção de azul de metileno (LAUTRIN, 1987 apud PEJON, 1992)

FIGURA 50 – Diagrama da atividade das argilas pelo método do azul de metileno (LAUTRIN, 1989 apud PEJON, 1992)

Com o objetivo de estimar o comportamento laterítico ou não laterítico dos materiais inconsolidados, PEJON (1992) elaborou uma proposta de correlação entre os resultados dos ensaios de adsorção de azul de metileno e a Classificação Geotécnica MCT (miniatura, compactado, tropical) de NOGAMI & VILLIBOR (1981).

A correlação foi efetuada com o lançamento em gráfico dos índices Vb (FIGURA 51) e Acb (FIGURA 52) contra os teores de argila no solo. Segundo PEJON (op. cit.), os valores de Vb = 1,5 ou Acb = 4 indicariam os limites superiores para os solos de comportamento laterítico, enquanto que o valor de Acb = 5 mostraria o limite inferior para os solos de comportamento não laterítico.

FIGURA 51 – Estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico dos materiais inconsolidados, obtido com a classificação MCT: correlação do índice de adsorção de azul de metileno (Vb) e a porcentagem de argila do solo. Observar limite Vb = 1,5 (PEJON, 1992).

FIGURA 52 – Estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico dos materiais inconsolidados, obtido com a classificação MCT: correlação do índice de adsorção de azul de metileno da fração argilosa (Acb) e a porcentagem de argila do solo. Observar limites $A_{cb} = 4$ e $A_{cb} = 5$ (PEJON, 1992).

5.6.3 – DESCRIÇÃO DAS UNIDADES

Com base nos critérios adotados, foram definidas e delimitadas oito unidades de materiais inconsolidados. Para cada unidade, foi feita a caracterização do perfil de alteração, com informações sobre a gênese, a textura, as espessuras mínima e máxima observadas, os índices físicos e as características dos argilominerais.

Nas unidades dos materiais inconsolidados foi notado que os perfis são geralmente descontínuos e os níveis de alteração não apresentam limites bem definidos, devido à constante alternância tanto lateral como vertical dos litotipos principais (siltitos e arenitos), com intercalações de diamictitos, lamitos e argilitos.

O mapa de materiais inconsolidados é apresentado no ANEXO VII e as distintas unidades caracterizadas são descritas a seguir.

5.6.3.1 – Material retrabalhado arenoso

O material retrabalhado arenoso é o tipo de cobertura mais expressiva da região de estudo. Ocupa uma área de aproximadamente 16,6 km², representando 29,8% da área total. No mapa de materiais inconsolidados é representado pelas unidades a-4, a-1 e, principalmente, a-2 e a-3.

Esta unidade predomina nas porções leste, oeste e nos segmentos superiores da área estudada. De forma localizada, ocorre na porção central da sub-bacia RA. Está associada principalmente aos *landforms* 10, 12, 14, 16, 19 e 20 e é mais restrita nos *landforms* 1 e 4.

Os pontos de observação direta e os furos de trado executados indicam um perfil muito espesso a espesso (>5m e entre 3 a 5m) nos topos arredondados a aplainados de colinas amplas a médias e morrotes de vertentes convexas. Em direção aos vales preferencialmente fechados e encaixados e de declividade alta (10-20%) a muito alta (>20%), a espessura deste material diminui e, em alguns casos, o material residual se faz aflorante.

As exposições mais representativas do contato entre o material transportado e o material residual foram observadas nos pontos 12, 13, 14, 28, 63, 70 (FIGURA 53) e 90. Este material é classificado como areia argilosa, areia siltosa e silte arenoso, com porcentagens de argila variando de 7 a 28% (TABELA 23). Possui cor marrom avermelhada a vermelha em tons escuros a claros e eventualmente marrom amarelado.

Os valores de Vb menores que 1,5 g/100g indicam comportamento laterítico desta unidade e de Ac_b entre 1,5 a 8 g/100g de argila mostram que a fração fina varia de inativa a normal (TABELA 24). A CTC (capacidade de troca catiônica) e o Ac_b, calculados pelo azul de metileno, indicam a presença predominante de caolinita, haloisita e illita na composição mineralógica da fração argila.

FIGURA 53 - Ponto de observação 70, situado no limite NW da sub-bacia do Ribeirão do Pombal. Zona rural ocupada por plantações de cana. Neste local, o material transportado atinge 3,9m de espessura e cobre solo residual arenoso pouco espesso de arenito fino intemperizado. Observar feições de deslizamento do talude de corte de estrada (tracejado na foto).

TABELA 23 – Caracterização dos índices físicos dos materiais retrabalhados arenosos

Amostra	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e	n (%)
1	63	9	28	1,423	2,663	0,87	46,5
30	72	6	21	1,479	2,634	0,78	43,8
78	72	13	15	1,545	2,658	0,67	40,1
90tr.	67	19	14	1,454	2,603	0,79	44,1
77	57	29	14	1,492	2,600	0,74	42,5
12b	77	16	7	1,531	2,630	0,72	41,9
87	37	42	21	1,542	2,663	0,73	42,2
100	62	22	16	1,793	2,649	0,48	32,4
3	77	8	15	1,773	2,601	0,50	33,3
14	73	10	17		2,612		
63tr.	72	11	17	1,458	2,643	0,83	45,4
131tr.	58	28	14		2,624		
132tr.	70	29	1	1,792	2,626	0,49	32,9
120	64	9	27	1,683	2,637	0,58	36,7
121	60	16	24		2,618		
135	40	34	26		2,662		
138tr.	78	9	13		2,657		

TABELA 24 – Caracterização da fração fina dos materiais retrabalhados arenosos pelo método de adsorção do azul de metileno

Amostra	CTC _{solo} (meq/100g)	CTC _{argila} (meq/100g)	SE (m ² /g)	Vb (g/100g solo)	Acb (g/100g argila)	Atividade (1)	Comportamento Laterítico (2)
1	1,8	6,4	13,9	0,6	2,0	Inativa	Sim
30	1,0	4,7	8,1	0,3	1,6	"	"
78	2,0	13,3	15,6	0,6	4,3	Pouco ativa	"
90tr.	2,4	17,1	18,8	0,8	5,5	Normal	"
77	2,0	14,3	16,0	0,7	4,7	Pouco ativa	"
12b	0,7	10,0	5,2	0,2	3,0	Inativa	"
87	5,3	25,2	41,7	1,7	8,0	Normal	"
100	1,4	8,8	10,9	0,5	2,8	Inativa	"
3	1,0	6,7	7,8	0,3	2,1	Pouco ativa	"
14	0,8	4,7	6,2	0,3	1,5	Inativa	"
63tr.	1,8	10,6	14,2	0,6	3,4	Pouco ativa	"
131tr.	2,2	15,7	16,8	0,7	4,9	Pouco ativa	"
132tr.	1,5	**	11,8	0,5	48,1	**	"
120	3,1	11,5	24,1	1,0	3,6	Pouco ativa	"
121	4,6	19,2	35,9	1,5	6,1	Normal	"
135	5,4	20,8	42,4	1,7	6,7	Normal	"
138tr.	1,3	10,0	10,3	0,4	3,2	Pouco ativa	"

(1) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

(2) estimado por meio da relação entre o índice da adsorção de azul de metileno do solo (Vb) e a % de argila dos materiais inconsolidados. Fonte: PEJON (1992).

** amostra desconsiderada em função do % desprezível de argila

5.6.3.2 – Material retrabalhado argiloso

O material retrabalhado argiloso predomina na porção SW da área mapeada, mas também ocorre em mancha esparsa na porção central da sub-bacia RA. Ocupa uma área de aproximadamente 2,7 km², representando 4,8% da área total. No mapa de materiais inconsolidados é representado pela unidade g-2.

Ocorre nos *landforms* 6 e 14, sendo subordinado nos landforms 7 e 10, associados a colinas de vertentes retilíneas a convexas de médio a grande comprimento.

Estes materiais são menos espessos que os retrabalhados arenosos e sua espessura varia entre 1,3 e 2,1m , chegando a atingir cerca de 3m quando associados às partes altas de vertentes convexas de amplitude média, como observado no ponto 4 (FIGURA 54). A observação do contato deste material com o

substrato rochoso (siltitos argilosos com intercalações de argilitos) foi possibilitada com a execução dos furos de trado 129 e 136.

FIGURA 54 – Ponto de observação 4. Local de exploração de solo para uso como material de empréstimo. Notar limite entre solo residual de siltito e solo transportado argiloso, caracterizado por linha seixos descontínua. Os seixos variam de 3 até 20cm de tamanho.

Esta unidade é classificada texturalmente como argila siltosa, com porcentagens de areia variando entre 5 a 30% (TABELA 25). Apresenta fragmentos milimétricos e angulosos de quartzo e possui coloração variegada, com predomínio de tons avermelhados.

TABELA 25 – Caracterização dos índices físicos dos materiais retrabalhados argilosos

Amostra	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e	n (%)
110tr	10	42	48		2,681		
136tr	27	31	42		2,701		
129tr	5	46	49	1,503	2,680	0,77	43,5
4tr*	30	30	40	1,262	2,842		

* esta amostra não foi submetida ao ensaio de azul de metileno

As informações fornecidas pelo azul de metileno (TABELA 26) mostram que esta unidade apresenta comportamento não laterítico, com a fração fina variando de normal a ativa, indicando uma mistura de illita e caulinita na composição mineralógica da fração argila.

TABELA 26 – Caracterização da fração fina dos materiais retrabalhados argilosos pelo método de adsorção do azul de metileno

Amostra	CTC _{solo} (meq/100g)	CTC _{argila} (meq/100g)	SE (m ² /g)	Vb (g/100g solo)	Acb (g/100g argila)	Atividade (1)	Comportamento Laterítico (2)
110tr	10,7	22,3	83,56	3,4	7,1	Normal	Não
136tr	9,1	21,7	70,85	2,9	6,9	"	"
129tr	16,7	34,1	130,49	5,3	10,9	Ativa	"

(1) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

(2) estimado por meio da relação entre o índice da adsorção de azul de metileno do solo (Vb) e a % de argila dos materiais inconsolidados. Fonte: PEJON (1992).

5.6.3.3 – Material residual arenoso

Ocupa uma área de aproximadamente 8,9 km², representando 16,0% da área total. No mapa de materiais inconsolidados é representado pelas unidades a-1, a-2 e a-3.

Este material ocorre nas porções SW e NW da região e, principalmente, nas porções norte e central da sub-bacia RA, sendo característico da área de afloramento do Subgrupo Itararé, em especial da alteração de arenito e intercalações de siltito da associação litológica II.

Está associado às vertentes convexas e retilíneas dos *landforms* 1, 7, 8 e 9, às encostas retilíneas do *landform* 20 e às vertentes côncavas do *landform* 18. De modo mais restrito, encontra-se exposto nos trechos inferiores e de declividade muito alta das vertentes relacionadas aos *landforms* 12 e 16.

As observações de campo mostram que a interface substrato/material inconsolidado é irregular e transicional. É mais freqüente um perfil onde o substrato apresenta grau de alteração IV a V, sendo que o material residual possui cores variadas, com predomínio do amarelo e variações de tons rosados, alaranjados e arroxeados. As espessuras variam entre 1,2 a 3,0m.

Este material é classificado texturalmente como areia siltosa ou areia argilosa, com porcentagem de finos variando entre 18 e 62% (TABELA 27). As informações fornecidas pelo azul de metileno (TABELA 28) indicam o predomínio de comportamento não laterítico nesta unidade, com a fração fina variando de pouco a muito ativa. Quanto à composição mineralógica da fração argila, ocorrem misturas em diferentes proporções de caulinita e illita e, subordinadamente, de illita e esmectita (montmorilonita).

São freqüentes as exposições em cortes (taludes) de estrada nas quais é notada a tendência erosiva e o comportamento não laterítico deste material residual, visto nos pontos de controle 12 (FIGURA 55), 13, 47 e 73. Além disto, durante a tradagem dos furos 94, 95, 101, 107 e 108, localizados ao longo de vertentes retilíneas, na parte baixa de encostas côncavas ou nos segmentos superiores de vertentes convexas de topos arredondados a aplainados, observou-se que o perfil torna-se mais espesso, atinge até 5,0m de espessura e inclui a presença de um horizonte saprolítico (VI) entre 0,6 e 3,7m de espessura.

TABELA 27 - Caracterização dos índices físicos dos materiais residuais arenosos

Amostra	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e	n (%)
90r	73	10	17	1,496	2,583	0,76	43,2
94	50	24	26		2,580		
82	39	38	23		2,634		
85	43	21	36	1,334	2,589	0,94	48,5
26	62	23	15	1,574	2,663	0,69	40,8
84	50	26	24	1,795	2,669	0,49	32,9
97	78	17	5	1,447	2,639	0,82	45,1
101	48	34	18	1,559	2,598	0,67	40,1
102	53	34	13		2,617		
95	57	12	31	1,528	2,630	0,72	41,9
12r	46	28	26		2,617		
63r	38	34	28	1,482	2,668	0,80	44,4
131r	50	37	13		2,636		
132r	82	12	6		2,637		
111	48	37	15	1,505	2,634	0,77	43,5
116	42	33	25	1,555	2,613	0,71	41,5
147	63	27	10		2,622		
148	77	17	6		2,589		
107	55	25	20	1,676	2,618	0,59	37,1
108	46	34	20	1,648	2,639	0,62	38,3

TABELA 28 – Caracterização da fração fina dos materiais residuais arenosos pelo método de adsorção do azul de metileno

Amostra	CTC _{solo} (meq/100g)	CTC _{argila} (meq/100g)	SE (m ² /g)	Vb (g/100g solo)	Acb (g/100g argila)	Atividade (1)	Comportamento Laterítico (2)
90r	3,5	20,6	27,0	1,1	6,5	Normal	Sim
94	6,8	26,2	53,1	2,2	8,4	Ativa	Não
82	5,0	21,7	39,4	1,6	7,0	Normal	"
85	6,6	18,3	52,0	2,1	5,9	"	"
26	4,6	30,7	36,4	1,5	9,9	Ativa	"
84	4,3	17,9	33,8	1,5	5,8	Normal	"
97	0,7	14,0	5,9	0,2	4,8	"	Sim
101	3,5	19,4	27,6	1,1	6,3	"	"
102	7,4	56,9	57,6	2,4	18,0	Muito ativa	Não
95	5,8	18,7	45,2	1,9	6,0	Normal	"
12r	3,7	14,2	29,3	1,2	4,6	Pouco ativa	Sim
63r	4,1	14,6	31,9	1,3	4,7	"	"
131r	2,2	15,7	16,8	0,7	4,9	"	"
132r	0,7	11,7	5,9	0,2	4,0	"	"
111	5,8	38,7	45,7	1,9	5,0	Normal	Não
116	6,3	25,2	???	2,0	8,1	Ativa	"
147	3,2	32,0	25,3	1,0	10,4	"	"
148	3,2	53,3	25,4	1,0	17,3	Muito ativa	"
107	4,5	22,5	35,5	1,5	7,3	Normal	"
108	4,1	20,5	31,8	1,3	6,5	"	"

(1) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas (gráfico Ac_b X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

(2) estimado por meio da relação entre o índice da adsorção de azul de metileno do solo (V_b) e a % de argila dos materiais inconsolidados. Fonte: PEJON (1992).

FIGURA 55 – Ponto de observação 12. Talude de corte de estrada, sentido Monte Mor – Sumaré. Notar que a incidência de sulcos erosivos é restrita aos materiais residuais de arenitos e intercalações de siltitos, de coloração avermelhada e com espessura variando entre 1,1 e 2,6m.

5.6.3.4- Material residual siltoso

O material residual siltoso ocupa uma área de aproximadamente 6,1 km², representando 11,0% da área total de estudo. No mapa de material inconsolidado, é representado pelas unidades s-1 e s-2.

A ocorrência desta unidade é predominante na porção centro-leste da área, oriundo da alteração de substrato de siltito e contribuições de arenito e de argilito, em particular da associação litológica I do Subgrupo Itararé.

Geomorfologicamente está vinculado ao longo das vertentes medianamente dissecadas dos *landforms* 3,10,15 e aos segmentos inferiores e médios das vertentes preferencialmente convexo a côncavo-retilíneas dos *landforms* 6,7,17 e 18.

Ocorrem ainda nas regiões mais aplainadas e de declividade baixa do *landform* 19 e como manchas dispersas (janelas) nos extremos das porções W e NE da área, onde pode ser observado um aumento da densidade hidrográfica (e ravinamento) em relação ao material retrabalhado sobreposto dos *landforms* 14 e 10.

O perfil de alteração é pouco desenvolvido, onde o material residual (VI-VII) mostra em geral coloração amarela e castanha, por vezes com mosqueamento em tons amarronzados ou esverdeados associados, sendo classificado como silte arenoso e de modo subordinado como areia siltosa, com porcentagem de argila variando entre 12 e 27% (TABELA 29). A espessura é menor que a do material residual arenoso, com valores entre 0,7 e 2,2m.

Os valores de Vb maiores que 1,5 g/100g indicam o comportamento não laterítico desta unidade e de Ac_b entre 4,1 e 23,5 g/100g de argila mostram que a fração fina varia de pouco ativa a nociva (TABELA 30). Quanto à composição mineralógica da fração argila, a CTC (capacidade de troca catiônica) e o Ac_b, calculados pelo azul de metileno, indicam a presença de misturas com diferentes proporções de illita – montmorilonita e de illita – caulinita.

Em campo, este material residual em geral mostra sulcamento erosivo quando exposto, como observado no ponto de controle 19 (FIGURA 56), podendo estar recoberto descontinuamente por material retrabalhado de cor amarronzada e de espessura reduzida (<1m).

TABELA 29 - Caracterização dos índices físicos dos materiais residuais siltosos

Amostra	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	E	n (%)
86	40	41	19		2,665		
2	33	39	28		2,661		
35r	57	30	13		2,609		
34	28	59	13		2,653		
112	40	48	12	1,603	2,635	0,66	39,8
113	31	46	23	1,413	2,617	0,89	47,1
114	18	69	13	1,505	2,600	0,77	43,5
126	30	55	15	1,553	2,735	0,71	41,5
138r	36	36	28		2,695		
136r	33	42	25		2,728		
65	18	68	14		2,659		

TABELA 30 – Caracterização da fração fina dos materiais residuais arenosos pelo método de adsorção do azul de metileno

Amostra	CTC _{solo} (meq/100g)	CTC _{argila} (meq/100g)	SE (m ² /g)	Vb (g/100g solo)	Acb (g/100g argila)	Atividade (1)	Comportamento Laterítico (2)
86	6,6	34,7	51,4	2,1	11,1	Ativa	Não
2	7,1	25,4	55,3	2,3	8,4	"	"
35r	5,3	40,8	41,6	1,7	13,1	Muito ativa	"
34	7,1	54,6	55,4	2,3	17,4	"	"
112	7,5	62,5	59,0	2,4	20,1	Nociva	"
113	5,6	24,3	43,6	1,8	7,8	Normal	"
114	5,6	43,1	43,7	1,8	13,8	Muito ativa	"
126	11,0	73,3	86,3	3,5	23,5	Nociva	"
138r	3,6	12,9	28,2	1,2	4,1	Pouco ativa	Sim
136r	10,4	41,6	81,5	3,3	13,3	Muito ativa	Não
65	6,0	42,9	46,8	1,9	13,7	"	"

(1) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

(2) estimado por meio da relação entre o índice da adsorção de azul de metileno do solo (Vb) e a % de argila dos materiais inconsolidados. Fonte: PEJON (1992).

FIGURA 56 – Ponto de observação 19. Mineração de argila inativa (Cerâmica Adogeri). Observar a incidência de processo erosivo (ravinamento) em materiais residuais de siltitos com intercalações decimétricas de argilitos.

5.6.3.5 – Material residual argiloso I

O material argiloso residual predomina nas porções central e oeste da área e ocorre ainda em duas manchas na parte norte e sul da sub-bacia RA. Ocupa uma área de aproximadamente 7,0 km², representando 12,6% da área total de estudo. No mapa de materiais inconsolidados, é representado pelas unidades g-1 e g-2.

Está associado às rochas sedimentares finas do Subgrupo Itararé e aos terrenos rebaixados do *landform* 5, aos segmentos inferiores das vertentes dos *landforms* 2,3 e 7 e ao relevo de colinas dos *landforms* 6,13,15,16 e 17.

A rocha original é o siltito, com intercalações freqüentes de argilito e subordinadas de arenito. Normalmente encontra-se levemente alterada (III) a moderadamente alterada (IV). O material residual apresenta alteração do tipo VII enquanto que os níveis saprolíticos encontram-se altamente decompostos (V) a completamente alterados (VI). Em campo, o material apresenta espessura pequena a moderada, variando entre 0,7 e 2,5m, e é freqüente a contribuição de materiais transportados ou misturas com outros materiais. A FIGURA 57 mostra um exemplo do perfil de alteração deste tipo de material.

O material é classificado como silte argiloso , com porcentagem de argila entre 20 e 45% ou argila siltosa e apresenta predominantemente cor marrom avermelhada com mosqueamento amarelo, alaranjado ou roxo, em tons claros ou escuros (TABELA 31).

FIGURA 57 – Ponto de observação 20. Vista parcial de ravina com cerca de 150m de extensão, observada nas fotografias aéreas de 1972 e de 1995, com materiais residuais argilosos pouco espessos (<1m) associados.

TABELA 31 – Caracterização dos índices físicos dos materiais residuais argilosos de rochas associadas ao Subgrupo Itararé

Amostra	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e	n (%)
4r	35	26	39	1,262	2,625	1,08	51,9
93	22	37	41		2,640		
11	17	57	26		2,570		
109	12	73	15		2,639		
115	18	55	27	1,569	2,590	0,70	41,2
110r	12	42	46		2,649		
117	5	44	51		2,661		
118	7	38	55		2,697		
128	8	47	45	1,360	2,659	0,96	49,0
137r	10	67	23	1,597	2,611	0,67	40,1
142	17	63	20		2,644		
20	21	39	40		2,663		
145	5	55	40		2,627		
124	18	47	35		2,644		
127	17	49	34		2,859		
129r	5	52	43		2,556		

As informações fornecidas pelo azul de metileno (TABELA 32) indicam o comportamento não laterítico desta unidade, dados os valores obtidos de Vb sempre maiores que 1,5g/100g. A fração fina varia de ativa a nociva, predominantemente, ocorrendo misturas em diferentes proporções de illita e montmorilonita e, subordinadamente, de caulinita e illita.

TABELA 32 – Caracterização da fração fina dos materiais residuais argilosos derivados de litologias do Subgrupo Itararé por meio do método de adsorção do azul de metileno

Amostra	CTC _{solo} (meq/100g)	CTC _{argila} (meq/100g)	SE (m ² /g)	Vb (g/100g solo)	Acb (g/100g argila)	Atividade (1)	Comportamento Laterítico (2)
4r	6,1	15,6	47,9	2,0	5,0	Normal	Não
93	24,0	58,5	187,9	7,7	18,7	Nociva	"
11	8,5	32,7	66,5	2,7	10,5	Ativa	"
109	10,3	68,7	80,7	3,3	22,0	Nociva	"
115	9,3	34,4	72,4	3,0	11,0	Ativa	"
110r	15,1	32,8	117,9	4,8	10,5	"	"
117	16,8	32,9	131,3	5,4	10,5	"	"
118	17,7	32,2	138,9	5,7	10,3	"	"
128	16,6	36,9	129,7	5,3	11,8	"	"
137r	12,0	52,2	94,3	3,9	16,8	Muito ativa	"
142	13,0	65,0	101,6	4,2	20,8	Nociva	"
20	12,6	31,5	98,7	4,0	10,1	Ativa	"
145	10,8	27,0	84,3	3,5	8,6	"	"
124	17,2	49,1	134,7	5,5	15,7	Muito ativa	"
127	14,9	43,8	116,8	4,8	14,0	"	"
129r	21,0	48,8	164,6	6,7	15,6	"	"

(1) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

(2) estimado por meio da relação entre o índice da adsorção de azul de metileno do solo (Vb) e a % de argila dos materiais inconsolidados. Fonte: PEJON (1992).

5.6.3.6 – Material residual argiloso II

Este material argiloso residual está ligado à ocorrência de substrato rochoso constituído de rochas intrusivas básicas (*sills* de diabásio) e ocupa uma área de aproximadamente 2,5 km², representando apenas 4,5% da área de estudo. No mapa de materiais inconsolidados, é representado pela unidade g-4.

Ocorre nas regiões de declividade baixa em nas regiões de declividade baixa (2-5%) a média (5-10%) das vertentes convexas associadas ao *landform* 2, localizado no setor sul da sub-bacia RA.

Em campo, o material é muito espesso (>5m). O perfil de alteração mostra coloração avermelhada, por vezes variegada, com ausência de estrutura e textura reliquiares da rocha, correspondendo ao grau de alteração VII (PRICE, 1993), com textura argila siltosa e porcentagem da fração areia entre 24 e 33% (TABELA 33).

Os resultados do método do azul de metileno (TABELA 34) apontam o comportamento não laterítico desta unidade. A atividade da fração argila é normal, ocorrendo misturas de illita e caulinita.

O contato com o substrato rochoso não foi observado diretamente, mas na execução do furo de trado 83 (FIGURA 58) e visita ao ponto de controle 91 foi observada a presença de fragmentos centimétricos a decimétricos de diabásio.

FIGURA 58 – Ponto de observação 83. Execução de sondagem a trado em materiais residuais de diabásio. A profundidade deste furo foi de 5,1m. Notar a coloração avermelhada típica deste tipo de material.

TABELA 33 – Caracterização dos índices físicos dos materiais residuais argilosos associados aos *sills* de diabásio

Amostra	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	E	n (%)
89	33	30	38	1,426	2,692	0,89	47,1
7b	24	30	46	1,057	2,738	1,59	61,4

TABELA 34 – Caracterização da fração fina dos materiais residuais argilosos associados aos *sills* de diabásio por meio do método de adsorção do azul de metileno

Amostra	CTC _{solo} (meq/100g)	CTC _{argila} (meq/100g)	SE (m ² /g)	Vb (g/100g solo)	Acb (g/100g argila)	Atividade (1)	Comportamento Laterítico (2)
89	8,9	23,7	69,73	2,9	7,6	Normal	Não
7b	7,0	15,2	54,99	2,3	5,0	"	"

(1) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

(2) estimado por meio da relação entre o índice da adsorção de azul de metileno do solo (Vb) e a % de argila dos materiais inconsolidados. Fonte: PEJON (1992).

5.6.3.7 – Afloramentos de rocha (neossolos)

Em função de sua ocorrência relativamente expressiva, os afloramentos de rochas sedimentares clásticas foram individualizadas como uma unidade distinta, associados principalmente a arenitos, diamictitos e siltitos da associação litológica II.

Esta unidade ocupa uma área de aproximadamente 7,6 km², representando 13,6% da área de estudo. No mapa de materiais inconsolidados, é representado pelo código N.

Ocorrem em trechos dos *landforms* 3, 4, 6, 7, 13, 16 e 18, relacionadas aos segmentos superiores de vertentes convexas a retilíneas de topos angulosos e as colinas pequenas com quebra de relevo positiva abrupta.

No perfil da unidade é marcante a influência da rocha original, estando por vezes recoberta descontinuamente por material retrabalhado arenoso ou então por saprolito, sempre de pequena espessura (<0,5m). Quando presente, o saprolito encontra-se moderadamente alterado (IV) e exibe textura predominantemente silte arenoso (TABELA 35). Em geral, a porção rochosa mostra-se levemente alterada

(III), com espessuras observadas em campo entre 0,5 e 5,0m. A FIGURA 59 apresenta uma ocorrência típica desta unidade.

FIGURA 59 – Exemplo de ocorrência de neossolos (espessura < 0,5 metro), com forte influência do substrato rochoso (intercalação de níveis de diamictito de coloração amarelada e de arenito com tons mais escuros). Corte de estrada vicinal, entre os pontos de observação 16 e 75.

Os valores maiores que 1,5g/100g (TABELA 36) apontam o comportamento não laterítico desta unidade, enquanto que os valores elevados de A_{cb} indicam que os argilominerais são predominantemente nocivos, quanto à sua atividade. A CTC (capacidade de troca catiônica) e o A_{cb} , calculados pelo azul de metileno, indicam a presença de montmorilonita, misturas de montmorilonita e illita e, subordinadamente, de illita e caolinita, na composição mineralógica da fração argila.

TABELA 35 – Caracterização dos índices físicos da unidade de afloramentos de rocha (neossolos)

Amostra	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	e	n (%)
81	14	51	35	1,524	2,640	0,73	42,2
122	28	62	10		2,571		
123	33	60	11		2,670		
141	13	75	12	0,965	2,674	1,76	63,8
143	35	52	13		2,660		
75	18	68	14		2,647		

TABELA 36 – Caracterização da fração fina dos neossolos por meio do método de adsorção do azul de metileno

Amostra	CTC _{solo} (meq/100g)	CTC _{argila} (meq/100g)	SE (m ² /g)	Vb (g/100g solo)	Acb (g/100g argila)	Atividade (1)	Comportamento Laterítico (2)
81	7,6	21,7	59,5	2,4	6,9	Normal	Não
122	10,4	104,0	81,2	3,3	33,2	Nociva	"
123	8,5	77,3	66,7	2,7	24,8	Nociva	"
141	4,7	39,2	36,8	1,5	12,5	Ativa	"
143	7,2	55,4	56,4	2,3	17,7	Muito ativa	"
75	11,7	83,6	91,8	3,8	26,8	Nociva	"

(1) estimado por meio do diagrama de atividade das argilas (gráfico Acb X % de argila) de LAUTRIN (1989) apud PEJON (1992).

(2) estimado por meio da relação entre o índice da adsorção de azul de metileno do solo (Vb) e a % de argila dos materiais inconsolidados. Fonte: PEJON (1992).

5.6.3.8 - Aluviões

Estes depósitos são constituídos por materiais finos e arenosos associados às planícies aluviais do Ribeirão do Aterrado, do Córrego Água Suja e do Ribeirão do Pombal (FIGURA 60).

FIGURA 60 – Áreas de várzea caracterizada pela região alagadiça associada à planície de inundação do Ribeirão do Aterrado.

Esta unidade ocupa uma área de aproximadamente 4,3 km², representando 7,7% da área de estudo e foi excluída do esquema geral de classificação alfanumérica por apresentar características bastante específicas e peculiares. No mapa de materiais inconsolidados é representada pelo código Al.

5.7 – MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO (ANEXOS VIII e IX)

Estes documentos foram elaborados com o objetivo de fornecer informações sobre os tipos de atividades ou processos antrópicos vigentes na área de estudo. Os mapas de uso e ocupação de 1972 e de 1995 são apresentados, respectivamente, nos ANEXOS VIII e IX.

Com base nas terminologias de CBH-PCJ (1996) e de COLLARES (2000), com modificações, foram determinadas onze classes de uso e ocupação do meio físico das microbacias hidrográficas do Ribeirão do Aterrado (RA), do Córrego Água Suja (AS) e do Ribeirão do Pombal (RP), descritas a seguir:

- Pastagem – esta classe corresponde aos tipos de uso vegetação rasteira (pastagem), comum em todas as porções das sub-bacias e, subordinadamente, vegetação pouco densa e de médio porte (capoeira). As pastagens constituem a principal atividade antrópica registrada e ocupam 36,8% da área de estudo (FIGURA 61).

FIGURA 61 – Vista parcial do extremo E da sub-bacia RA. Exemplo de ocorrência de pastagem. Sentido da foto: W

- Culturas indiferenciadas – esta classe corresponde às regiões ocupadas pelo cultivo de cana-de-açúcar, nos seus vários estágios de maturação (FIGURAS

62 e 63). Inclui, subordinadamente, culturas perenes (café) e temporárias (milho e sorgo). Esta classe é restrita na sub-bacia RA e ocupa 28,3% e 40,0% das porções central e norte das sub-bacias AS e RP, respectivamente.

FIGURA 62 – Área de declividade alta (10-20%) com cultivo de cana. Notar, em primeiro plano, decapeamento de solo para construção de represa no leito do Ribeirão do Pombal. Imediações do ponto de observação 137.

FIGURA 63 – Porção N da sub-bacia RP, nas imediações do ponto de observação 64. Região com predomínio de cultivo de cana-de-açúcar. Observar a instalação de processos erosivos (ravinamento) favorecida pela geomorfologia do terreno (colinas amplas e convexas) e pela exposição do material inconsolidado associado.

- Solo exposto – nesta classe foram agrupados as áreas de solo e de substrato rochoso expostos, caracterizadas pela ausência e/ou remoção da cobertura vegetal. As áreas mais representativas desta classe são as minerações de argila para cerâmica (FIGURA 64) e de material de empréstimo. Ocupam áreas restritas (<1%) das sub-bacias RA e AS.

FIGURA 64 – Exemplo de ocorrência de solo exposto. Nesta área foi registrado o desaparecimento de um canal de drenagem de aproximadamente 200m de extensão. Ponto de observação 02 (Cerâmica Milano).

- Cultivo de hortifruti – esta classe corresponde às regiões destinadas ao cultivo de hortaliças e frutas (FIGURA 65) e constituem áreas normalmente pouco extensas. Ocupa 2% da área total das sub-bacias RA e RP.

FIGURA 65 – Exemplo de ocorrência de área de cultivo de hortifruti. Visada para W, a partir do ponto de observação 5b. Sub-bacia hidrográfica RA.

- Mata nativa – esta classe abrange as áreas ocupadas por vegetação nativa, representada por capões esparsos, pela mata ciliar preservada ao longo dos principais canais de drenagem (FIGURA 66) e, subordinadamente, pela vegetação de cerrado. Ocupa apenas 12,6% da área total de estudo, devido à sua substituição por pastagem e cultivo agrícola nas sub-bacias AS e RP e ao processo de urbanização na sub-bacia RA.

FIGURA 66 – Ocorrência de vegetação nativa (mata ciliar) restrita aos canais de drenagem de primeira ordem e ao leito do Córrego Água Suja. Notar instalação de processo de ravinamento nas proximidades do ponto de observação 75.

- Reflorestamento – esta classe é constituída por formações florestais artificiais, homogêneas, representadas por plantações principalmente de eucalipto (FIGURA 67). É de ocorrência localizada e ocupa apenas 1,3% da área total das sub-bacias.

FIGURA 67 – Exemplo de área ocupada por reflorestamento

- Vegetação de várzea – esta classe compreende a vegetação arbustiva associada aos terraços e às planícies aluviais dos canais de drenagem. Ocorre nos vales abertos desprovidos de mata nativa das porções central e norte e nas zonas (*flats*) mais amplas e de aspecto pantanoso característico, ocorrentes nos segmentos inferiores das sub-bacias (FIGURA 68). Ocupa 5,8% da área total de estudo.

FIGURA 68 – Exemplo de ocorrência de vegetação de várzea. Planície de inundação do Ribeirão do Aterrado.

- Represas – esta classe engloba todos os corpos d'água (represas e lagoas) presentes na área estudada (FIGURA 69).

FIGURA 69 – Corpo d'água (represa) junto ao Ribeirão do Aterrado.

- Centro urbano – esta classe representa as zonas urbanas residencial e comercial e, subordinadamente, a zona industrial da cidade de Monte Mor (FIGURA 70). Caracteriza-se pela concentração de edificações, ruas pavimentadas e presença pouco pronunciada de áreas vegetadas. Ocupa uma área de 1.1km² nas porções sul das sub-bacias RA e AS.

FIGURA 70 – Ponto de observação 46, extremo SW da área de estudo. Observar, ao fundo, o centro urbano de Monte Mor.

- Ocupação urbana medianamente adensada – esta classe corresponde à área ocupada pelos diversos bairros de Monte Mor. Este tipo de ocupação urbana se desenvolve irregularmente e é caracterizado pelo predomínio de edificações residenciais e de ruas não pavimentadas (FIGURA 71). Ocorre expressivamente nas porções central e leste da sub-bacia RA, ocupando 11,1% de sua área total.

FIGURA 71 – Área de ocorrência de ocupação medianamente adensada.

- Ocupação urbana pouco adensada – esta classe corresponde às áreas de expansão do centro urbano de Monte Mor e às regiões pouco adensadas nas cabeceiras da porção NE da sub-bacia RA, ocupando 15,2% de sua área total. Caracteriza-se por uma baixa densidade de ocupação urbana, com esparsas edificações residenciais, chácaras e sítios e ausência de ruas pavimentadas (FIGURA 72).

FIGURA 72 – Área de ocorrência de ocupação urbana pouco adensada.

6 - AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES OCORRIDAS NAS SUB-BACIAS

6.1 – ANÁLISE MORFOMÉTRICA DAS REDES DE DRENAGEM

As variáveis morfométricas analisadas neste estudo comparativo das alterações ocorridas nas sub-bacias hidrográficas entre 1972 e 1995 foram tratadas separadamente, com base na divisão adotada por COLLARES (2000), devido ao fato de apresentarem comportamento diferenciado em relação à alteração de seus valores. Tais variáveis estão descritas detalhadamente no item 2.2.3 e encontram-se listadas na TABELA 37, mostrada a seguir.

TABELA 37 – Parâmetros morfométricos utilizados na avaliação temporal da rede de drenagem das sub-bacias RA, AS e RP

TIPO	VARIÁVEIS
VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS	Área de drenagem (A)
	Perímetro (P)
	Comprimento (L)
	Largura Média (dm)
	Índice de Circularidade (Ic)
	Amplitude altimétrica máxima (Hm)
	Relação de Relevo (Rr)
VARIÁVEIS RELATIVAS À COMPOSIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM	Número total de Canais (Nt)
	Número total de canais por ordem (Ni)
	Comprimento total da rede de drenagem (Lt)
	Comprimento total dos canais por ordem hierárquica (Li)
	Razão de Bifurcação (Rb)
	Razão de Comprimento Médio (RIm)
	Densidade de Drenagem (Dd)
	Densidade Hidrográfica (Dh)

6.1.1 – VARIÁVEIS REFERENTES À MORFOLOGIA

Inicialmente, são feitas considerações a respeito dos procedimentos adotados na obtenção de algumas das variáveis morfológicas, a saber:

- a) o índice de circularidade (I_c) foi calculado em função do enunciado de MILLER (1953) apud STRAHLER (1958), que considera a relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro.
- b) em relação à amplitude altimétrica máxima (H_m), os valores altimétricos da desembocadura e do ponto máximo no divisor de águas das microbacias foram retirados da base topográfica em escala 1:10.000 (IGC, 1979). Para evitar um resultado que mascarasse o significado real da movimentação topográfica das bacias de drenagem, a cota máxima foi determinada pela média resultante de dez pontos mais elevados entre os canais de primeira ordem do trecho superior das bacias consideradas, de acordo com o proposto por CHRISTOFOLETTI (1970).

Os valores obtidos das variáveis morfométricas referentes à morfologia das sub-bacias RA, AS e RP são apresentados na TABELA 38.

TABELA 38 – Dados obtidos para as variáveis morfológicas das sub-bacias RA, AS e RP.

VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS	SÍMBOLO	RESULTADOS		
		RA	AS	RP
Área (km ²)	A	28,436	11,852	15,417
Perímetro (km)	P	24,841	18,509	18,025
Comprimento (km)	L	8,350	6,175	6,600
Largura média (km)	dm	3,406	1,919	2,336
Índice de Circularidade	I_c	0,579	0,435	0,591
Amplitude altimétrica máxima (m)	H_m	110	102	89
Relação de Relevo (m/km)	Rr	13,2	16,5	13,5

Os dados apresentados na TABELA 38 indicam que as sub-bacias apresentam pequenas proporções, sendo que a sub-bacia RA é a que possui as maiores dimensões em área, comprimento e largura máxima. As variáveis relação de relevo e amplitude altimétrica são baixas, estando o maior desnível topográfico (110 metros) situado entre as cabeceiras e a foz da sub-bacia RA.

As sub-bacias RA, AS e RP apresentam índice de circularidade médio e valores abaixo de 1, mostrando que as bacias tendem a forma alongada, estando o maior eixo aproximadamente na direção N-NW nas sub-bacias AS e RP e na direção N-NE na sub-bacia RA, considerando-se seu maior comprimento.

6.1.2 – VARIÁVEIS REFERENTES À COMPOSIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM

Os parâmetros número total de canais (Nt) e por ordem de ramificação (Ni), extensões total da rede de drenagem (Lt) e por ordem de ramificação dos canais (Li) foram obtidos por meio do procedimento de criação de topologias de rede efetuado no programa Autocad Map 3.0® e descrito no item 4.2.2.5. As outras variáveis foram calculadas em função destas variáveis primárias.

Os resultados referentes às principais alterações ocorridas na rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas RA, AS e RP são mostrados na TABELA 39. As observações das redes de drenagem dos anos de 1972 e 1995 (FIGURAS 73A e 73B, respectivamente) e a análise comparativa dos valores das variáveis consideradas indicam a ocorrência de modificações negativas relacionadas ao número de canais e seus comprimentos correspondentes. Os valores de tais mudanças são maiores nas sub-bacias RA e RP.

FIGURA 73 – Redes de drenagem do ano de 1972 (A) e de 1995 (B)

TABELA 39 – Parâmetros morfométricos da rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas RA, AS e RP

Parâmetros morfométricos	1972			1995					
	RA	AS	RP	RA	D (%)	AS	D (%)	RP	D (%)
Nt	392	176	341	305	(-) 22	156	(-) 11	262	(-) 23
N1	294	130	257	226	(-) 23	117	(-) 10	205	(-) 20
N2	72	38	66	57	(-) 21	31	(-) 18	45	(-) 31
N3	18	7	13	15	(-) 17	7	-	9	(-) 31
N4	5	1	4	4	(-) 20	1	-	2	(-) 50
N5	2	-	1	2	-	-	-	1	-
N6	1	-	-	1	-	-	-	-	-
Lt (km)	105,685	50,530	76,269	96,570	(-) 9	49,619	(-) 2	70,651	(-) 7
L1 (km)	56,060	26,032	40,657	53,531	(-) 5	25,851	(-) 1	38,771	(-) 5
L2 (km)	22,861	11,461	17,272	18,685	(-) 18	10,875	(-) 5	16,181	(-) 6
L3 (km)	12,509	6,424	9,837	10,177	(-) 19	6,260	(-) 3	8,665	(-) 12
L4 (km)	4,609	6,613	4,880	4,353	(-) 6	6,633	-	3,619	(-) 26
L5 (km)	7,425	-	3,623	7,728	(+) 4	-	-	3,415	(-) 6
L6 (km)	2,221	-	-	2,096	(-) 6	-	-	-	-
Lm ₁ (km)	0,191	0,200	0,158	0,237	(+) 24	0,221	(+) 11	0,189	(+) 20
Lm ₂ (km)	0,318	0,302	0,262	0,328	(+) 3	0,351	(+) 16	0,360	(+) 37
Rb ₁₋₂	4,083	3,421	3,894	3,965	(-) 3	3,774	(+) 10	4,556	(+) 17
Rlm ₂₋₁	1,665	1,510	1,669	1,384	(-) 17	1,588	(+) 5	1,905	(+) 14
Dd (km/km ²)	3,717	4,263	4,947	3,396	(-) 9	4,187	(-) 2	4,583	(-) 7
Dh (N1/km ²)	10,339	10,969	16,670	7,948	(-) 23	9,872	(-) 10	13,297	(-) 20

Legenda: D: alteração registrada; Nt: número total de canais; N1 a N6: número de canais de 1^a a 6^a ordem de ramificação; Lt: comprimento total da rede de drenagem; L1 a L6: comprimento dos canais de 1^a a 6^a ordem de ramificação; Lm₁ e Lm₂: comprimento médio dos canais de 1^a e de 2^a ordem; Rb₁₋₂: razão de bifurcação entre os canais de 1^a e de 2^a ordem; Dd: densidade de drenagem e Dh: densidade hidrográfica.

Foi observada a redução no número de canais de primeira (N1) e de segunda ordens (N2) das três sub-bacias e em canais de terceira (N3) e de quarta ordens (N4) nas sub-bacias RA e RP. A redução de canais de primeira ordem foi de 23, 10 e 20% nas sub-bacias RA, AS e RP, respectivamente (FIGURA 74).

FIGURA 74 - Número de canais para os anos de 1972 e 1995

Quanto ao comprimento total das redes de drenagem (L_t) e aos comprimentos dos canais por ordem de ramificação (L1 a L6), observou-se que a diminuição foi menos acentuada (FIGURA 75). As sub-bacias RA, AS e RP apresentaram uma redução pouco significativa nos valores do comprimento total da rede de drenagem (9, 2 e 7%, respectivamente), decorrentes da diminuição do número de canais acima citados.

FIGURA 75 - Comprimento dos canais para os anos de 1972 e 1995

De acordo com os intervalos de variação estabelecidos por STRAHLER (1962), observa-se que a variável densidade de drenagem manteve-se baixa nas sub-bacias RA, AS e RP. Isto revela que as redes de drenagem sofreram uma alteração negativa pouco representativa, decorrente da pequena redução observada no comprimento dos canais de drenagem.

A diminuição no número de canais de primeira ordem (N_1), principalmente canais de pequena dimensão, provocou alterações internas dos canais nas sub-bacias, mostradas pelas taxas de variação da razão de bifurcação (Rb_{1-2}) e da razão de comprimento médio entre os canais de primeira e de segunda ordens (Rlm_{2-1}) e também pela redução do número de canais de ordens superiores. Parte de alguns canais de segunda ordem passou a ser classificada como de primeira ordem, processo este que também ocorreu em alguns canais de terceira e de quarta ordens, porém sem alterar a classificação hierárquica das sub-bacias RA, AS e RP (sexta, quarta e quinta ordem de ramificação, respectivamente).

A baixa taxa de variação de Rb_{1-2} (-3%) para a sub-bacia RA indica uma diminuição similar do número de canais de primeira e de segunda ordem de ramificação. Todavia, as variações positivas e mais elevadas deste parâmetro nas sub-bacias AS e RP (10% e 16%, respectivamente) mostram que a diminuição dos canais de segunda ordem foi relativamente mais acentuada do que a dos canais de primeira ordem.

Quanto à taxa de variação de Rlm_{1-2} , a diminuição de 17% no valor deste parâmetro na sub-bacia RA indica que houve um maior aumento no comprimento médio nos canais de primeira ordem, decorrentes de uma diminuição mais elevada no comprimento dos canais de segunda ordem comparada ao dos canais de primeira ordem. O aumento de 5% e 14% no valor desta variável nas sub-bacias AS e RP, respectivamente, mostra um aumento maior no comprimento médio dos canais de segunda ordem, em função da diminuição similar do comprimento dos canais de primeira e de segunda ordem.

Verifica-se que o número de canais de primeira ordem e o comprimento total da rede de drenagem condicionaram as alterações negativas na densidade de drenagem (Dd) e na densidade hidrográfica (Dh), respectivamente. Estas

alterações são atribuídas às atividades antrópicas, visto que as características do meio físico (*landforms*, declividade, substrato rochoso e materiais inconsolidados) não sofreram modificações significativas no período de tempo analisado, capazes de condicionar tais mudanças na rede de drenagem.

6.2 – AVALIAÇÃO TEMPORAL DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS

Por meio do processo de criação de topologias de polígonos descrito no item 4.2.2.5, foi possível efetuar o cálculo da porcentagem referente à área ocupada para cada atividade existente nas sub-bacias para os anos de 1972 e de 1995. Os dados topológicos obtidos são apresentados na TABELA 40.

TABELA 40 - Distribuição das categorias de uso e ocupação nas sub-bacias.

SUB-BACIA	CATEGORIA	DISTRIBUIÇÃO AREAL POR CLASSE			
		1972		1995	
		(km ²)	%	(km ²)	%
RIBEIRÃO DO ATERRADO (RA)	P/C	17,11	60,2	10,49	36,9
	CA	5,12	18,0	3,96	13,9
	M	3,04	10,7	2,73	9,6
	V	1,40	4,9	2,05	7,2
	URB	0,02	-	0,63	2,2
	OMA	-	-	3,16	11,1
	OPA	0,64	2,2	4,34	15,3
	H	0,59	2,1	0,25	0,9
	REF	0,41	1,5	0,37	1,3
	REP	0,08	0,3	0,23	0,8
	SO	0,02	0,1	0,23	0,8
ÁGUA SUJA (AS)	P/C	6,19	52,2	4,82	40,7
	CA	2,51	21,2	3,35	28,3
	M	1,55	13,1	1,86	15,7
	V	1,21	10,2	0,78	6,6
	URB	0,23	1,9	0,5	4,2
	OMA	-	-	0,11	0,9
	OPA	0,12	1,0	0,13	1,1
	REF	0,02	0,2	0,22	1,9
	REP	0,02	0,2	0,04	0,3
	SO	-	-	0,04	0,3
RIBEIRÃO DO POMBAL (RP)	P/C	7,88	51,1	5,27	34,2
	CA	5,15	33,4	6,17	40,0
	M	1,90	12,3	2,44	15,8
	V	0,33	2,1	0,39	2,5
	OPA	-	-	0,36	2,3
	H	0,05	0,3	0,63	4,1
	REF	0,07	0,5	0,13	0,9
	REP	0,04	0,3	0,03	0,2

LEGENDA: P/C: pastagem; CA: culturas indiferenciadas; M: mata nativa; V: vegetação de várzea; URB: centro urbano; OMA: ocupação urbana medianamente adensada; OPA: ocupação urbana pouco adensada; H: hortifrutí; REF: reflorestamento; REP: represa e SO: solo exposto.

As variações dos valores das categorias de cada atividade para 1972 e 1995 permitiram a análise das mudanças ocorridas nas sub-bacias RA, AS e RP, ou seja, redução ou expansão dos diferentes tipos de uso e ocupação existentes no período analisado (TABELA 41).

TABELA 41 - Variação da distribuição das categorias de uso e ocupação em 1995 em relação a 1972 nas sub-bacias hidrográficas RA, AS e RP.

SUB-BACIA	P/C	CA	M	V	URB	OMA	OPA	H	REF	REP	SO
RA	--	-	-	+	+	++	++	-	0	++	++
AS	--	+	+	-	+	0	0	0	+	+	+
RP	--	+	+	-	0	0	+	++	+	0	0

LEGENDA: redução ou aumento areal pouco a medianamente significativo (- ou +), redução ou aumento areal expressivo (-- ou ++) e sem mudanças (0).

Em função do tipo de uso e ocupação predominante em 1995, conforme proposição de COLLARES (2000), a sub-bacia RA foi denominada mista por não ocorrer um predomínio elevado das classes urbanas ou rurais no total de classes, enquanto que nas sub-bacias AS e RP mais de 70% de suas áreas estão ocupados indistintamente por pastagem e culturas agrícolas, sendo denominadas de sub-bacias rurais – parcialmente agrícolas .

6.3 – AVALIAÇÃO SETORIZADA DAS MODIFICAÇÕES DO NÚMERO DE CANAIS DE PRIMEIRA ORDEM

O número de canais de primeira ordem (N1) foi o parâmetro que, indiretamente, condicionou as alterações mais relevantes das variáveis morfométricas apresentadas pelas sub-bacias RA, AS e RP.

Assim sendo, efetuou-se uma segmentação das sub-bacias em setores comuns aos anos de 1972 e de 1995 (FIGURA 76), delimitados essencialmente com base na forma e frequência dos canais de drenagem (mapas das redes de drenagem de 1972 e de 1995, ANEXOS III e IV, respectivamente), visando o melhor entendimento da relação existente entre as atividades antrópicas desenvolvidas e as alterações ocorridas na rede de drenagem.

FIGURA 76– Segmentação das sub-bacias utilizada para a análise setorizada das mudanças no número de canais de primeira ordem. Modelo digital de terreno gerado no software Surfer 7.0, com exagero vertical de 5X.

Esta etapa foi realizada por meio da observação das fotografias aéreas e da comparação dos dados topológicos e dos documentos cartográficos gerados. A avaliação das alterações em cada setor foi efetuada por meio do registro da principal atividade antrópica (ou de sua variação temporal), das características do meio físico, das modificações do número de canais de primeira ordem e das mudanças efetivas da rede de drenagem.

A adoção deste procedimento, em detrimento da análise por ordem de magnitude (microbacias de terceira ordem, por exemplo), é justificada pelo fato de permitir a avaliação das modificações de N1 na totalidade da área das sub-bacias RA, AS e RP e, desta forma, fornecer subsídios para uma comparação temporal mais representativa.

Com a segmentação da área de estudo foram delimitados 27 setores comuns em 1972 e 1995, adotando-se a simbologia de número para facilitar a análise individual de cada setor, mostrada a seguir:

- Sub-bacia RA: setores 1 a 8;
- Sub-bacia AS: setores 9 a 17 e
- Sub-bacia RA: setores 18 a 27.

Além das alterações (perdas, ganhos e alterações efetivas) em N1, a análise realizada baseou-se principalmente nas mudanças ocorridas nos parâmetros número de canais de segunda e de terceira ordem (N2 e N3), comprimento total dos canais de primeira e de segunda ordem (L1 e L2) e o comprimento médio dos canais de primeira e de segunda ordem (Lm1 e Lm2).

A TABELA 42 apresenta um quadro resumido da segmentação da área de estudo, mostrando as perdas, os ganhos e as alterações efetivas no número de canais de primeira ordem em cada setor, com suas prováveis causas. A descrição mais detalhada é apresentada a seguir:

TABELA 42 – Resumo das alterações registradas na análise setorizada das sub-bacias

Setor	Alteração da rede de drenagem (1995)		Causa provável
	Alterações N1	Alterações efetivas	
1	-4C1 de pequeno comprimento, com material retrabalhado arenoso ocorrente; +4C1 de pequeno comprimento, pouco extensos (redução de L2)	0	Cultivo agrícola de cana; Alteração da cobertura vegetal (pasto/cana) e construção de represa (solo residual exposto).
2	-3C1 de pequeno comprimento, litossolos de arenito/diamictito, (reestruturação interna dos canais : -3C2 , aumento de Lm1 e Lm2)	-3C1	Alteração da cobertura vegetal (pasto/cana)
3	-9C1 pouco extensos, perdas mais concentradas em solos residuais; +5C1 pouco extensos, solos retrabalhados (-3C2 e aumento de Lm2)	-4C1	Exposição de solos residuais siltosos, remobilização do solo (cana/hortifrut); Cultivo agrícola de cana e alteração da cobertura vegetal (pasto/cana)
4	-5C1 e +3C1 preferencialmente pouco extensos, alterações mais concentradas quando associadas a solos residuais expostos (aumento de Lm1 e redução de Lm2)	-2C1	Instalação de edificações (chácaras e sítios) e alteração da cobertura vegetal (pasto/cana) e surgimento de áreas com cultivo de hortifrut.
5	-1C1 de pequeno comprimento, associado a solo retrabalhado argiloso (aumento de Lm1 e redução de Lm2)	-1C1	Provável predisposição do meio-físico (tipo de material inconsolidado).
6	-9C1 de pequena extensão, perdas mais concentradas associadas a solos residuais de siltitos pouco espessos (-2C2, -1C3, redução hierárquica de 4ª para 3ª ordem na microbacia)	-9C1	Aumento da extensão de áreas cobertas por pastagem e alteração da vegetação (pasto/cana)
7	-29C1 e +2C1, canais pouco extensos, alterações mais concentradas quando associadas a solos residuais e arenitos, siltitos e intercalações de argilitos (-8C2, -4C3, redução hierárquica de 4ª para 3ª ordem na microbacia)	-27C1	Modificação da cobertura vegetal (substituição de pasto por cana) e diminuição de áreas cobertas por mata ciliar nos vales dos canais de 1ª ordem
8	-12C1 e +6C1, todos de pequeno comprimento (-5C2 associados ao vale do principal canal da sub-bacia RP)	-6C1	Desmatamento (redução das áreas de mata nativa em prol do cultivo de cana e de hortifrut) e alteração da cobertura vegetal

LEGENDA: - perda e + ganho de canais; C1,C2 e C3 (canais de 1ª, 2ª e 3ª ordem); N1 e N2 (número de canais de 1ª e 2ª ordem); L1 e L2 (comprimento total dos canais de 1ª e 2ª ordem); Lm1 e Lm2 (comprimento médio dos canais de 1ª e 2ª ordem).

TABELA 42 – Resumo das alterações registradas na análise setorizada das sub-bacias (continuação)

Setor	Alteração da rede de drenagem (1995)		Causa provável
	Alterações N1	Alterações efetivas	
9	-10C1 pouco extensos (1C1 de extensão média) e +2C1 de pequena extensão; perdas concentradas (-2C2; aumento de Lm2)	-7C1	Alteração da cobertura vegetal (mata nativa), exposição de material inconsolidado arenoso, atividade agrícola (cana) em locais íngremes
10	-1C1 e +1C1 de extensão média (rearranjo interno da rede:-1C2, aumento de L1 e L2)	0	Aporte e remobilização do solo (cana) Alteração da cobertura vegetal (mata nativa/pasto)
11	+1C1 de extensão média. (redução do comprimento de outro C1 e de Lm1, aumento da extensão areal)	+1C1	Cultivo agrícola (cana): exposição temporária do solo, escoamento superficial concentrado
12	-2C1 de pequena a média extensão (Redução de L1 e Lm1, pequena redução areal do setor)	-2C1	Alteração cobertura vegetal (pasto/cana)
13	+1C1 de pequena extensão (redução de L2 e Lm2 : deslocamento de canais na planície aluvial)	+1C1	Aumento da área de cultivo agrícola (cana)
14	+2C1 de comprimento médio e -1C1 de pequena extensão (+1C2; diminuição da extensão areal e de Lm1; aumento de Lm2)	+1C1	Prédisponência do tipo de material inconsolidado e de substrato; Alteração cobertura vegetal (capoeira/ campos antrópicos)
15	-3C1 pouco extensos; aumento da extensão areal, (-3C2; redução de L2 e Lm2)	-3C1	Alteração cobertura vegetal (mata nativa/ pastagem) e atividade agrícola (cana)
16	-1C1 de pequena dimensão (aumento de Lm1)	-1C1	Aumento da área de plantação de cana
17	-3C1 de pequena dimensão (rearranjo interno dos canais:-2C2; aumento de Lm1)	-3C1	Aumento da taxa de ocupação e impermeabilização do terreno
18	Sem alteração de N1 e N2	0	Predominância de materiais retrabalhados arenosos
19	-1C1 de comprimento médio; solos residuais argilosos espessos de diabásio (aumento de Lm1)	-1C1	Alteração cobertura vegetal (pasto/cana)
20	-24C1 pouco extensos e +1C1 de médio comprimento(rearranjo interno:-6C2 e -2C3) perdas concentradas	-23C1	Expansão urbana da cidade de Monte Mor e impermeabilização do terreno; cultivo agrícola (cana) subordinado
21	-19C1 e +6C1 pouco extensos (diminuição de L1 e aumento de Lm1, -1C2)	-13C1	Natureza e profundidade do substrato (arenito friável), expansão urbana pouco adensada e aumento do cultivo de cana;
22	-12C1 pouco extensos (-3C2, diminuição de L1 e aumento de Lm1); perdas concentradas	-12C1	Aumento da taxa de ocupação urbana medianamente adensada
23	-16C1 e +2C1 pouco extensos (rearranjo dos canais: -4C2; aumento de L1 e Lm1 e diminuição de L2 e Lm2); alterações mais dispersas	-14C1	Desmatamento, áreas com solo exposto (material de empréstimo) e deslocamento do leito principal do Córrego Ribeirão do Aterrado
24	-6C1 e +7C1 (aumento de L1 e Lm1, +1C2, redução de L2 e Lm2)	+1C1	Remanejo do solo (cana), expansão urbana (bairros de Monte Mor)
25	-6C1 e +2C1 (pequena redução em L2 e Lm2)	-4C1	Expansão de áreas habitacionais (instalação de chácaras e sítios); desmatamento
26	-2C1 de pequena a média extensão (redução de L1 e aumento de Lm1)	-2C1	Mineração de argila (entulhamento de canal primário); desmatamento
27	-3C1 de pequeno comprimento e +2C1 de médio comprimento (reestruturação interna dos canais: +1C1, -1C2; redução de Lm2)	0	Expansão urbana medianamente adensada ; limite físico entre pastagem e cultura de cana)

LEGENDA: - perda e +ganho de canais; C1,C2 e C3 (canais de 1ª, 2ª e 3ª ordem); N1 e N2 (número de canais de 1ª e 2ª ordem); L1 e L2 (comprimento total dos canais de 1ª e 2ª ordem); Lm1 e Lm2 (comprimento médio dos canais de 1ª e 2ª ordem).

6.3.1 – DESCRIÇÃO DOS SETORES

6.3.1.1 – Sub-bacia do Ribeirão do Pombal (RP)

➤ SETOR 1

Este setor é constituído por uma microbacia de quarta ordem situada na cabeceira da sub-bacia RP e associa-se às colinas convexas do *landform* 12. As alterações observadas foram:

- perda de quatro canais de primeira ordem de pequenas dimensões, em segmentos de declividade média (5-10%) com material retrabalhado arenoso associado, vinculado à remobilização do solo causada pelo cultivo agrícola de cana-de-açúcar e

- aparecimento de quatro canais de primeira ordem, causado pela alteração da cobertura vegetal (cana/pasto) e exposição de material residual arenoso (para construção de barragem) na base de encostas convexas com declividade média a alta.

Conseqüentemente, não houve mudança efetiva no número de canais de primeira ordem. As alterações mais significativas apresentadas foram: a redução do comprimento dos canais de segunda ordem, a diminuição do número e do comprimento médio dos canais de terceira ordem (FIGURA 77 e TABELA 43).

FIGURA 77 – Rede de drenagem do Setor 1, em 1972 e em 1995.

TABELA 43 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 1

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km²)	3,67	3,67	-
N1 - Número de canais de primeira ordem	47	47	-
L1 - Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	8,375	8,430	-
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,178	0,179	-
N2 - Número de canais de segunda ordem	10	10	-
L2 - Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	3,967	3,318	(-)16
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,397	0,332	(-)16
N3 - Número de canais de terceira ordem	2	3	(+) 50
L3 - Comprimento dos canais de terceira ordem(km)	1,742	1,718	(-) 1
Lm3 – Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,871	0,572	(-) 34

➤ SETOR 2

Este setor é formado por uma microbacia de terceira ordem , com formato alongado, situado na região de cabeceira da sub-bacia RP.

Foi registrada uma diminuição efetiva de três canais de primeira ordem de pequena dimensão associada a vertentes de declividade média a alta (10-20% e >20%) do *landform* 16, suportadas por solos rasos e pouco desenvolvidos da associação arenito/diamictito (TABELA 44). Tais mudanças estão vinculadas à alteração da cobertura vegetal (pastagem/ cana).

TABELA 44 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 2

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A - Área (km²)	1,03	1,03	-
N1 - Número de canais de primeira ordem	28	25	(-) 11
L1 - Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	3,995	4,227	(+) 6
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,143	0,169	(+) 18
N2 - Número de canais de segunda ordem	7	4	(-) 43
L2 - Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	1,212	1,376	(+) 14
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,253	0,344	(+) 36
N3 - Número de canais de terceira ordem	1	1	-
L3 - Comprimento dos canais de terceira ordem(km)	1,688	1,166	(-) 1
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	1.688	1,166	(-) 34

A reestruturação interna dos canais levou à redução do número de canais de segunda ordem (de sete em 1972 para quatro em 1995). Além disso, ocorreu o aumento do comprimento médio dos canais de primeira e de segunda ordem e a redução do comprimento do canal de terceira ordem.

➤ SETOR 3

Este setor é formado por uma microbacia de quarta ordem, localizada no curso médio da sub-bacia RP, integrando dois canais de terceira ordem alongados. As alterações da rede de drenagem foram as seguintes:

- perda de nove canais de pequena dimensão associados a regiões de declividade alta (10-20%) com material residual siltoso exposto (mudanças mais concentradas) e a regiões de declividade muito alta (>20%), no entalhamento dos vales dos canais principais.

- surgimento de cinco canais de primeira ordem de pequena dimensão associados a terrenos com coberturas mais espessas de material retrabalhado do setor. As causas prováveis destas mudanças foram a remobilização do solo (cana/hortifrutí) e/ou a alteração da cobertura vegetal (pasto / cana).

Deste modo, houve uma diminuição efetiva de quatro canais de primeira ordem, fato este que promoveu uma redução do número de canais de segunda ordem e o respectivo aumento do comprimento médio destes canais (TABELA 45).

TABELA 45 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 3

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A - Área (km ²)	1,92	1,92	-
N1 - Número de canais de primeira ordem	35	31	(-) 11
L1 - Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	5,678	4,907	(-) 14
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,162	0,158	(-) 2
N2 - Número de canais de segunda ordem	9	6	(-) 33
L2 - Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	1,767	1,754	-
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,196	0,292	(+) 49
N3 - Número de canais de terceira ordem	2	2	-
L3 - Comprimento dos canais de terceira ordem(km)	1,928	1,885	(-) 2
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,964	0,943	(-) 2

➤ SETOR 4

Este setor é integrado por duas microbacias (de segunda e de terceira ordens) conjugadas, com os canais principais alongados, mas com densidade hidrográfica relativamente menor do que o Setor 3.

As alterações registradas da rede de drenagem foram a perda de cinco canais de primeira ordem e o aparecimento de três destes canais, preferencialmente de pequenas dimensões, as quais são mais freqüentes quando próximas aos materiais residuais expostos. A declividade associada predominante é de 10 a 20% (alta) e, subordinadamente, média (5 a 10%). As atividades antrópicas que motivaram tais mudanças foram a instalação de chácaras e sítios, a modificação da cobertura vegetal (pastagem para cana) e o surgimento de áreas com cultivo de hortifruti.

Desta forma, observa-se uma diminuição efetiva de dois canais de primeira ordem, o que promoveu o aumento do comprimento médio dos canais de primeira ordem e a redução do comprimento médio dos canais de segunda ordem (TABELA 46).

TABELA 46 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 4

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A - Área (km²)	1,18	1,18	-
N1 - Número de canais de primeira ordem	18	16	(-) 11
L1 - Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	3,219	3,098	(-) 4
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,179	0,194	(+) 8
N2 - Número de canais de segunda ordem	3	3	-
L2 - Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	1,283	1,094	(-) 14
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,428	0,365	(-) 15
N3 - Número de canais de terceira ordem	1	1	-
L3 - Comprimento dos canais de terceira ordem(km)	0,912	0,867	(-) 5
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,912	0,867	(-) 5

➤ SETOR 5

Este setor é constituído por uma microbacia de segunda ordem com canal principal alongado.

A alteração registrada na rede de drenagem restringe-se à perda de um pequeno canal de primeira ordem, situado na cabeceira do curso d'água principal, associada a terreno de declividade média (5-10%) suportado por materiais retrabalhados de textura argilosa. A área esteve ocupada por pastagem nas duas datas analisadas. Observa-se que o aumento do comprimento dos canais de primeira ordem e a diminuição do comprimento dos canais de segunda ordem refletem a reestruturação interna da rede de drenagem (TABELA 47).

TABELA 47 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 5

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A - Área (km ²)	0,57	0,57	-
N1 - Número de canais de primeira ordem	3	2	(-) 33
L1 - Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	0,348	0,719	(+) 107
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,116	0,360	(+) 210
N2 - Número de canais de segunda ordem	1	1	-
L2 - Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	1,339	0,752	(-) 44
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	1,339	0,752	(-) 44

➤ SETOR 6

Este setor é constituído por uma microbacia de quarta ordem com densidade hidrográfica muito alta e padrão de drenagem tipicamente dendrítico. As principais modificações da rede de drenagem são representadas pela perda de nove canais de primeira ordem de pequena dimensão, concentradas em terrenos com materiais residuais de textura silto-argilosa a argilosa, pouco espessos (0,5 a 1,5m) e oriundos de siltitos, com declividade média (5-10%) a, subordinadamente, alta (10-20%).

A análise temporal do tipo de ocupação revelou que: (i) as regiões com solo exposto em 1972 estão cobertas por áreas de pastagem e (ii) áreas de pastagem caracterizadas em 1972 foram substituídas por culturas agrícolas (cana-de-açúcar).

As mudanças registradas condicionaram a reestruturação interna da rede de drenagem, onde pode ser observada a diminuição do número de canais de

segunda e de terceira ordens e o conseqüente aumento do comprimento médio destes canais, culminando na redução hierárquica do Setor 6 de quarta ordem em 1972 para terceira ordem em 1995 (TABELA 48 e FIGURA 78).

TABELA 48 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 6

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A - Área (km²)	1,13	1,13	-
N1 - Número de canais de primeira ordem	29	20	(-) 31
L1 - Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	4,153	3,411	(-) 18
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,143	0,171	(+) 20
N2 - Número de canais de segunda ordem	8	6	(-) 25
L2 - Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	2,257	1,882	(-) 17
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,282	0,314	(+) 11
N3 - Número de canais de terceira ordem	2	1	(-) 50
L3 - Comprimento dos canais de terceira ordem(km)	1,253	1,160	(-) 7
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,627	1,160	(+) 85

FIGURA 78 – Rede de drenagem do Setor 6, em 1972 e em 1995.

➤ SETOR 7

Este setor é representado por uma microbacia de quarta ordem alongada e sinuosa, com padrão de drenagem retangular e densidade hidrográfica alta e suportada por materiais residuais principalmente de arenitos e siltitos, com intercalações de argilitos.

As alterações registradas da rede de drenagem estão situadas preferencialmente nos segmentos superiores das vertentes, relacionadas à perda de vinte e nove canais de primeira ordem de pequena dimensão e ao aparecimento de dois destes canais. A declividade predominante é alta a muito alta. Subordinadamente, as alterações estão associadas a áreas de declividade média e, de modo restrito, ao sopé das vertentes, com declividades suaves (2-5%).

Desta forma, ocorreu uma diminuição efetiva de vinte e sete pequenos canais de primeira ordem, embora o comprimento total destes canais pouco tenha variado. Tais mudanças promoveram a reestruturação interna da rede de drenagem, onde pode ser observada a diminuição do número de canais de segunda e de terceira ordens. Similarmente ao setor 6, pode ser observado a redução hierárquica desta microbacia de quarta ordem em 1972 para terceira ordem em 1995 (TABELA 49 e FIGURA 79).

As atividades antrópicas que auxiliaram na deflagração das alterações foram a modificação da cobertura vegetal (substituição de pasto por cana) e a redução das áreas protegidas por mata ciliar nos vales dos canais de primeira ordem, justamente os mais susceptíveis às alterações.

FIGURA 79 – Rede de drenagem do setor 7, em 1972 e em 1995.

TABELA 49 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 7

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km²)	3,15	3,15	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	58	31	(-) 47
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	8,354	7,644	(-) 8
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,144	0,247	(+) 72
N2 – Número de canais de segunda ordem	16	8	(-) 25
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	3,629	4,005	(-) 17
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,227	0,501	(+) 121
N3 – Número de canais de terceira ordem	5	1	(-) 80
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	2,533	1,869	(-) 26
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,507	1,869	(+) 269

➤ SETOR 8

Este setor é constituído pelo vale do canal principal da sub-bacia RP, incorporando as planícies aluviais e o segmento inferior de algumas vertentes de declividade média a baixa pertencentes a microbacias pequenas e de segunda ordem próximas ao referido canal.

As alterações registradas da rede de drenagem foram a perda de doze canais de primeira ordem e o aparecimento de seis destes canais, todos de pequena dimensão, perfazendo uma diminuição efetiva de seis canais de primeira ordem, a qual causou uma alteração negativa no número de canais de segunda ordem e um aumento do comprimento médio destes canais (TABELA 50).

TABELA 50 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 8

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A - Área (km²)	2,79	2,79	-
N1 - Número de canais de primeira ordem	39	33	(-) 15
L1 - Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	6,535	6,335	(-) 3
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,168	0,192	(+) 14
N2 - Número de canais de segunda ordem	12	7	(-) 42
L2 - Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	1,818	1,999	(+) 10
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,152	0,286	(+) 88

Das alterações observadas no número de canais de primeira ordem, treze estão associadas a terrenos de declividade alta (10-20%) e cinco a terrenos de declividade média (5-10%). Os fatores antrópicos que levaram a tais mudanças foram o desmatamento, o qual reduziu as áreas de mata nativa em prol da ocupação por cultura de cana e de hortifruti e a alteração da cobertura vegetal (pastagem/cana).

6.3.1.2 – Sub-bacia do Córrego Água Suja (AS)

➤ SETOR 9

Este setor é constituído por uma microbacia de quarta ordem, situada na região de cabeceira da sub-bacia AS. As alterações observadas na rede de drenagem foram a perda de dez canais de primeira ordem pequenos (sendo um médio) e o aparecimento de dois canais desta ordem de ramificação. Localmente, a perda de dois canais primários fez com que um canal de segunda ordem tenha mudado para um canal de primeira ordem. Em função da reorganização interna da rede, observa-se que a diminuição efetiva de sete canais de primeira ordem estabeleceu mudanças em outras variáveis morfométricas, tais como a redução de número de canais de segunda ordem e a redução do comprimento médio destes canais, entre outras (TABELA 51).

TABELA 51 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 9

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	2,25	2,25	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	52	45	(-) 13
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	6,898	6,341	(-) 8
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,133	0,141	(+) 6
N2 – Número de canais de segunda ordem	14	12	(-) 14
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	3,617	3,631	-
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,258	0,303	(+) 17
N3 – Número de canais de terceira ordem	3	3	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	1,776	1,591	(-) 10
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,592	0,530	(-) 10

Tais mudanças situam-se preferencialmente nas cabeceiras do maior curso d'água e tiveram como causas prováveis a alteração da cobertura vegetal,

promovendo a redução de áreas com material residual de textura arenosa exposto (com feições erosivas observadas nas aerofotos em 1972) e, subordinadamente, o cultivo de cana-de-açúcar em terrenos muito inclinados a íngremes (declividades de 10-20% e >20%, respectivamente).

➤ SETOR 10

É representado por uma microbacia de terceira ordem localizada na porção N (cabeceira) da sub-bacia AS, com vertentes sustentadas por materiais retrabalhados arenosos espessos associadas ao *landform* 4. Embora não tenha ocorrido modificação efetiva do número de canais de primeira ordem, notou-se que:

- a perda de um canal de primeira ordem na porção NE do setor promoveu a redução de número de canais de segunda ordem e o respectivo aumento do comprimento médio destes canais, além da redução do comprimento do canal de terceira ordem (TABELA 52). Tais mudanças tiveram como causa provável a remobilização de solo consequente do cultivo de cana em terrenos com declividade muito alta (>20%), a montante do curso de drenagem.

- o aparecimento de um canal de primeira ordem em segmento superior de vertente convexa com declividade alta (10-20%), promovido pela alteração da cobertura vegetal (substituição de mata nativa por pastagem).

TABELA 52 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 10

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km²)	0,765	0,76	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	8	8	-
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	1,814	2,164	(+) 19
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,227	0,271	(+) 19
N2 – Número de canais de segunda ordem	3	2	(-) 33
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	0,450	0,742	(+) 65
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,150	0,371	(+) 147
N3 – Número de canais de terceira ordem	1	1	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	0,909	0,372	(-) 59
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,909	0,372	(-) 59

➤ SETOR 11

É representado por uma microbacia de segunda ordem com vertentes de declividade baixa suportadas por solos residuais rasos de siltito recobertos por material retrabalhado arenoso e associadas ao *landform* 19.

Foi observado o aparecimento de um canal de primeira ordem de comprimento médio associado ao leito principal do Córrego Água Suja, com declividade média a baixa. Além de promover um pequeno aumento areal deste setor, esta mudança acarretou a diminuição do comprimento médio dos canais primários e o aumento do comprimento do canal de segunda ordem (TABELA 53). A principal atividade antrópica desta área é o cultivo agrícola intensivo (cana), o qual pode ter propiciado a exposição do solo à ação pluvial e o consequente escoamento superficial concentrado das águas.

TABELA 53 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 11

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A - Área (km²)	0,27	0,29	(+) 7
N1 – Número de canais de primeira ordem	2	3	(+) 50
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	0,809	0,822	(+) 2
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,405	0,274	(-) 32
N2 – Número de canais de segunda ordem	1	1	-
L2 – Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	0,294	0,324	(+) 10
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,294	0,324	(+) 10

➤ SETOR 12

Este setor é constituído por uma microbacia de terceira ordem com canal principal alongado e sinuoso, associado às colinas do *landform* 20. As áreas de cabeceira desta microbacia estão ocupadas por culturas perenes (café) nos dois períodos analisados. Este tipo de atividade antrópica não promoveu alteração na rede de drenagem.

A principal alteração observada na rede de drenagem relaciona-se à diminuição efetiva de dois canais de primeira ordem de pequena a média extensão, situada em região de declividade entre 5 a 10% e, subordinadamente, 10 a 20%,

tendo como causa provável a alteração da cobertura vegetal (substituição de pastagem por cultivo de cana), com a exposição temporária do solo à ação pluvial. Este tipo de atividade agrícola levou ao surgimento de um canal de primeira ordem no setor 11, o qual causou uma pequena diminuição da área desta microbacia. Exceto a diminuição do comprimento dos canais de primeira ordem, não ocorreram mudanças em relação aos canais de segunda e de terceira ordem, como mostra a TABELA 54.

TABELA 54 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 12

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km²)	0,95	0,93	(-) 2
N1 – Número de canais de primeira ordem	14	12	(-) 14
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	2,223	1,954	(-) 12
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,159	0,163	(+) 3
N2 – Número de canais de segunda ordem	3	3	-
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	0,591	0,582	(-) 2
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,197	0,194	(-) 2
N3 – Número de canais de terceira ordem	1	1	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	1,379	1,378	-
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	1,379	1,378	-

➤ SETOR 13

Este setor é constituído por uma microbacia de terceira ordem situada no segmento médio da sub-bacia AS e sustentada por materiais residuais de textura argilosa a siltosa, associados ao *landform* 15.

Foi observado um pequeno aumento efetivo do número de canais de primeira ordem, devido ao aparecimento de um canal primário promovido pela alteração da cobertura vegetal (pequeno aumento da área de cultivo de cana) em morrote de declividade média (5-10%).

A redução da extensão linear dos canais de segunda ordem e o consequente aumento do comprimento linear do canal de terceira ordem (TABELA 55) são decorrentes do deslocamento de alguns destes canais ocorrido na planície aluvial (com declividade muito baixa).

TABELA 55 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 13

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	2,21	2,21	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	13	14	(+) 8
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	4,293	4,609	(+) 7
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,330	0,329	-
N2 – Número de canais de segunda ordem	3	3	-
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	2,022	1,778	(-) 12
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,674	0,593	(-) 12
N3 – Número de canais de terceira ordem	1	1	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	0.891	0.974	(+) 9
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0.891	0.974	(+) 9

➤ SETOR 14

É representado por uma microbacia de segunda ordem localizada na porção central da sub-bacia AS, com materiais residuais siltoso e argiloso associados. A alteração observada na rede de drenagem foi o aparecimento de dois canais de comprimento médio e a perda de um canal de primeira ordem pouco extenso, associados a áreas com declividade média (5-10%) a alta (10-20%). Não foram observadas modificações substanciais no tipo de ocupação antrópica.

Como causa provável do aumento efetivo do número de canais de primeira ordem (TABELA 56), relaciona-se a predisponência natural do meio físico a estas solicitações (relevo de colinas convexas suportados por materiais residuais silto-argilosos com fração argila ativa).

TABELA 56 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 14

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	0,71	0,66	(-) 7
N1 – Número de canais de primeira ordem	4	5	(+) 25
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	1,593	1,498	(-) 6
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,398	0,300	(-) 25
N2 – Número de canais de segunda ordem	1	1	-
L2 – Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	0,555	0,871	(+) 57
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,555	0,871	(+) 57

➤ SETOR 15

Este setor é constituído por uma microbacia de terceira ordem com distribuição assimétrica dos canais de segunda e de primeira ordem, localizada na porção W do curso médio da sub-bacia AS, com materiais residuais silto-argilosos pouco espessos associados.

As alterações da rede de drenagem são refletidas pela diminuição efetiva de três canais de primeira ordem pouco extensos, o que causou o rearranjo interno dos canais e promoveu a redução do número e da extensão linear dos canais de segunda ordem. O aumento do comprimento do canal de terceira é decorrente do aumento da área desta microbacia, o qual foi causado pelo deslocamento do canal principal na planície de inundação do Córrego Água Suja (TABELA 57).

A análise temporal dos dados de uso e ocupação do meio físico sugere que as mudanças observadas na rede de drenagem possam estar vinculadas à alteração da cobertura vegetal (aumento da área de pastagem) e à remobilização do solo por área de cultivo de cana.

TABELA 57 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 15

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	1,30	1,51	(+) 16
N1 – Número de canais de primeira ordem	11	8	(-) 27
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	2,170	2,479	(+) 14
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,197	0,310	(+) 57
N2 – Número de canais de segunda ordem	5	2	(-) 60
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	1,209	0,525	(-) 56
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,242	0,263	(+) 9
N3 – Número de canais de terceira ordem	1	1	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	1,469	1,945	(+) 32
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	1,469	1,945	(+) 32

➤ SETOR 16

Este setor é constituído por um trecho do curso principal da sub-bacia AS. A alteração observada na rede de drenagem foi a diminuição efetiva de um canal de

primeira ordem (TABELA 58), em uma região de declividade baixa (2-5%) a média (5-10%), na qual foi registrada a substituição da pastagem por cultivo de cana.

TABELA 58 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 16

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A - Área (km ²)	0,88	0,72	(-) 18
N1 – Número de canais de primeira ordem	2	1	(-) 50
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	0,577	0,522	(-) 10
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,289	0,522	(+) 81

➤ SETOR 17

Este setor é representado pela porção inferior da sub-bacia AS, associada às vertentes convexas a retilíneas dos landforms 6 e 7, apresentando canais de primeira ordem de comprimento médio e padrão de drenagem sub-retangular.

As principais alterações observadas na rede de drenagem foram a perda de três canais de primeira ordem pouco extensos e a perda de um canal de segunda ordem, condicionadas pela expansão urbana da cidade de Monte Mor (FIGURA 80), com a consequente impermeabilização do terreno. A alteração da cobertura vegetal (pastagem para cultivo de cana) também pode ter causado parte das alterações. A declividade predominante é média (5 a 10%) e os solos são pouco desenvolvidos e com espessura < 0,5m. Tais mudanças promoveram a reestruturação interna dos canais, incluindo o aumento do comprimento médio dos canais de primeira ordem e a diminuição dos de segunda ordem (TABELA 59).

TABELA 59 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 17

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	2,52	2,52	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	24	21	(-) 13
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	5,652	5,524	(-) 2
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,236	0,263	(+) 11
N2 – Número de canais de segunda ordem	8	6	(-) 25
L2 – Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	2,662	2,199	(-) 17
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,333	0,366	(+) 10

FIGURA 80 – Rede de drenagem do setor 17, em 1972 e em 1995. A área hachurada representa a expansão urbana de Monte Mor.

6.3.1.3 – Sub-bacia do Ribeirão do Aterrado (RA)

➤ SETOR 18

Este setor é constituído por uma microbacia de terceira ordem localizada na porção NW da sub-bacia RA, associada às vertentes do *landform* 20, com predomínio de material retrabalhado arenoso de comportamento laterítico e com caulinita na fração argila. Não ocorreram alterações no número de canais, apenas uma pequena mudança na extensão linear dos canais de primeira e de segunda ordem (TABELA 60).

TABELA 60 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 18

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	1,59	1,59	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	17	17	-
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	3,123	3,489	(+) 12
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,184	0,205	(+) 11
N2 – Número de canais de segunda ordem	6	6	-
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	1,843	1,656	(-) 10
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,307	0,276	(-) 10
N3 – Número de canais de terceira ordem	1	1	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	1,555	1,547	-
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	1,555	1,547	-

➤ SETOR 19

Este setor relaciona-se às colinas suaves e com declividade baixa, típicas do *landform* 2, suportadas por materiais residuais de diabásio e, subordinadamente, de rochas sedimentares do Itararé.

A alteração observada na rede de drenagem está vinculada à perda de um canal de primeira ordem com comprimento médio situado à jusante da quebra de relevo negativa, com declividade suave (2-5%), entre a base da vertente e a planície de inundação do Ribeirão do Aterrado, provavelmente motivada pelo aumento da área de cultivo de cana (TABELA 61).

TABELA 61 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 19

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	4,37	4,37	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	3	2	-
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	2,331	2,157	(-) 7
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,777	1,078	(+) 39

➤ SETOR 20

Este setor é constituído por duas microbacias de terceira ordem, as quais caracterizam-se pela acentuada ocupação urbana e pela associação com as colinas dos *landforms* 7 e 18, onde predominam litossolos e materiais arenosos mais espessos na base das vertentes.

As alterações na rede de drenagem foram pronunciadas e marcadas pela expansão urbana de Monte Mor, levando à impermeabilização do terreno e ao desaparecimento de vinte e quatro canais de primeira ordem de pequeno comprimento, associados à declividade alta (10-20%) a média (5-10%). Adicionalmente, foi observado o aparecimento de um canal de comprimento médio relacionado ao cultivo de cana e associado a material residual arenoso pouco espesso. Tais mudanças condicionaram as modificações das outras variáveis morfométricas (TABELA 62).

TABELA 62 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 20

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	1,51	1,51	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	33	10	(-) 70
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	3,761	2,999	(-) 20
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,114	0,148	(+) 30
N2 – Número de canais de segunda ordem	8	2	(-) 75
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	1,895	1,763	(-) 7
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,237	0,882	(+) 272
N3 – Número de canais de terceira ordem	3	0	(-) 100
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	2,121	0	(-) 100
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,707	0	(-) 100

➤ SETOR 21

Localiza-se na porção N da sub-bacia RA e é representado por duas microbacias de quarta ordem, associadas geomorfologicamente às vertentes convexas do *landform* 9 e sustentadas por materiais residuais arenosos, localmente recobertos por materiais retrabalhados no alto das vertentes.

As modificações da rede de drenagem relacionam-se à perda de dezenove canais de pequeno comprimento e ao aparecimento de seis canais desta ordem, perfazendo uma diminuição efetiva de treze canais de primeira ordem. Tais alterações localizam-se nas cabeceiras de drenagem, com declividades entre 10 a 20% e >20% e estão associadas à expansão urbana de baixa densidade (chácaras e sítios), ao aumento areal de ocupação agrícola (cana) e, principalmente, à predisponência do meio físico a estas alterações (formas e extensão das vertentes, substrato de arenito friável e solos residuais com comportamento não laterítico).

As alterações observadas no número de canais de primeira ordem promoveram a reorganização interna da rede de drenagem e condicionaram as demais mudanças nos valores de outros parâmetros morfométricos, tais como o aumento do comprimento médio dos canais de primeira ordem e a redução do número de canais de segunda ordem e do comprimento dos canais de terceira ordem (TABELA 63).

TABELA 63 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 21

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	3,73	3,73	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	74	61	-
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	12,364	11,605	(-) 6
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,167	0,190	(+) 14
N2 – Número de canais de segunda ordem	18	16	(-) 11
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	4,930	4,323	(-) 12
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,274	0,270	(-) 1
N3 – Número de canais de terceira ordem	6	6	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	3,321	2,986	(-) 10
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,554	0,498	(-) 10

➤ SETOR 22

Este setor é constituído por cinco microbacias de terceira ordem e uma de segunda ordem, localizadas na porção central da sub-bacia RA. O substrato rochoso predominante é o relacionado à Associação Litológica II do Itararé (arenitos maciços e diamictitos). Os canais principais são alongados com padrão de drenagem dicotômico.

A principal modificação observada na rede de drenagem foi o desaparecimento de doze canais de primeira ordem de pequena dimensão associados aos anfiteatros dos canais secundários, tendo como causa principal o incremento de ocupação urbana medianamente adensada em áreas com declividade entre 5 a 10% e 10 a 20% e, secundariamente, a alteração da cobertura vegetal em algumas vertentes, com declividade mais elevada (>20%).

Estas alterações da rede de drenagem mostram-se mais freqüentes quando associadas aos solos residuais pouco espessos de arenitos e tendem a tornarem-se mais dispersas com o aumento da espessura de materiais residuais areno-argilosos. Tais mudanças estabeleceram a reestruturação interna dos canais, causando a redução do número de canais de segunda ordem (FIGURA 81 e TABELA 64).

TABELA 64 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 22

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	1,95	1,95	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	61	49	(-) 20
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	8,060	7,710	(-) 4
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,132	0,157	(+) 19
N2 – Número de canais de segunda ordem	15	12	(-) 20
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	2,991	1,773	(-) 41
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,199	0,148	(-) 26
N3 – Número de canais de terceira ordem	5	5	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	2,681	2,656	-
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,536	0,531	-

FIGURA 81 – Rede de drenagem do setor 22, em 1972 e em 1995.

➤ SETOR 23

Este setor é representado pela planície de inundação dos trechos médio e inferior do Ribeirão do Aterrado, constituído por seu vale principal e canais de segunda e de primeira ordem associados.

As alterações da rede de drenagem foram: a perda de dezesseis canais de pequena dimensão e, subordinadamente, com extensões entre 150 e 250m; a

perda de dois canais de segunda ordem e o aparecimento de dois canais pouco extensos de primeira ordem.

Tais mudanças refletem as alterações efetivas negativas no número de canais de primeira e de segunda ordens (TABELA 65) e estão condicionadas pelo tipo de material inconsolidado associado (residual arenoso) e, primordialmente, pelas seguintes atividades antrópicas: redução das áreas de mata nativa e áreas de material de empréstimo (solos expostos) com declividade alta a média e o deslocamento do leito principal do Ribeirão do Aterrado.

TABELA 65 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 23

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km²)	2,12	2,12	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	29	15	(-) 48
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	4,963	3,953	(-) 20
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,171	0,264	(+) 54
N2 – Número de canais de segunda ordem	6	2	(-) 66
L2 – Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	1,222	0,269	(-) 78
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,204	0,135	(-) 34

➤ SETOR 24

Localiza-se na porção central da sub-bacia RA, apresentando canais de segunda e de primeira ordens alongados e quase que ortogonais entre si.

As alterações observadas na rede de drenagem foram a perda de seis canais de primeira ordem e de pequena dimensão e o surgimento de sete canais destes referidos canais, efetivamente, uma pequena alteração positiva no número de canais de primeira ordem, o aumento do número de canais de segunda ordem e a diminuição do comprimento destes respectivos canais (TABELA 66).

Tais mudanças são dispersas e estão condicionadas ao remanejamento do solo em áreas de declividade alta e ocupadas por cultivo de cana, à expansão urbana pouco e medianamente adensada de Monte Mor e ao deslocamento do leito do curso principal do Ribeirão do Aterrado.

TABELA 66 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 24

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km²)	3,51	3,51	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	26	27	(+) 4
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	7,196	7,808	(+) 9
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,277	0,289	(+) 4
N2 – Número de canais de segunda ordem	6	7	(+) 17
L2 – Comprimento dos canais de segunda ordem (km)	3,041	2,430	(-) 20
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,507	0,347	(-) 32

➤ SETOR 25

Este setor é constituído por duas microbacias de terceira ordem situadas no extremo NE da sub-bacia RA, com padrão de drenagem subdendrítico, associadas aos morrotes de vertentes convexas do landform 10, nos quais há o predomínio de materiais retrabalhados arenosos com espessura variável entre 1,0 e 5m (localmente >5m).

As alterações observadas na rede de drenagem foram a perda de seis canais e o aparecimento de dois canais de primeira ordem, perfazendo uma diminuição efetiva de quatro canais desta hierarquia, a qual promoveu pequenas variações no comprimento dos canais de segunda e de terceira ordens (TABELA 67).

TABELA 67 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 23

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km²)	4,74	4,74	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	24	20	(-) 17
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	6,175	6,000	(-) 3
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,257	0,300	(+) 17
N2 – Número de canais de segunda ordem	7	7	-
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	3,873	3,351	(-) 13
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,553	0,479	(-) 13
N3 – Número de canais de terceira ordem	2	2	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	1,670	1,839	(+) 10
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	0,835	0,920	(+) 10

Estas mudanças estão associadas ao aumento de ocupação urbana pouco adensada e à redução de áreas cobertas por mata nativa em 1972. O surgimento de um dos canais está condicionado ao limite de área de cultivo de cana e de pastagem, à jusante do ponto de observação 30. As alterações negativas da rede de drenagem foram desenvolvidas em terrenos com declividade alta (10 a 20%).

➤ SETOR 26

Situa-se na porção E da sub-bacia RA, onde os canais de segunda ordem apresentam-se subparalelos entre si. O perfil de alteração associado é similar ao do setor 25.

A alteração registrada na rede de drenagem foi a perda de dois canais de primeira ordem de pequeno a médio comprimento, localizados em terrenos de declividade alta (10-20%) e causada por mineração de argila (Cerâmica Milano, ponto de observação 2) - a qual promoveu o entulhamento de um canal pretérito - e por remoção da mata ciliar de outro canal. As modificações adicionais observadas foram a redução do comprimento dos canais de primeira ordem e o respectivo aumento comprimento médio destes canais (TABELA 68).

TABELA 68 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 26

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km²)	2,63	2,63	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	9	7	(-) 22
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	3,359	2,851	(-) 15
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,373	0,407	(+) 9
N2 – Número de canais de segunda ordem	2	2	-
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	1,090	1,052	(-) 3
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,545	0,526	(-) 3

➤ SETOR 27

Setor representado por microbacia de terceira ordem localizada no extremo SE da sub-bacia RA e associada às encostas convexas do *landform* 10, com o perfil de alteração apresentando material retrabalhado com espessuras menores daquelas observadas nos setores 25 e 26.

As principais alterações observadas na rede de drenagem foram: a perda de três canais de primeira ordem pouco extensos causada pela expansão urbana pouco adensada em terreno com declividade alta (10-20%) e o aparecimento de outros dois canais desta ordem situados no limite entre distintos tipos de ocupação antrópica (expansão urbana/pastagem e cultivo de cana/pastagem).

Em decorrência da reestruturação interna da rede de drenagem não houve alteração efetiva no número de canais de primeira ordem, pois as alterações negativas anteriormente citadas levaram ao surgimento de um canal de primeira ordem mais extenso. Adicionalmente, pode ser observado o aumento do comprimento médio dos canais de segunda ordem (TABELA 69).

TABELA 69 – Parâmetros da rede de drenagem do Setor 27

Características do setor	1972	1995	Alteração (%)
A – Área (km ²)	2,29	2,29	-
N1 – Número de canais de primeira ordem	18	18	-
L1 – Comprimento dos canais de primeira ordem (km)	4,727	4,958	(+) 5
Lm1 – Comp. médio dos canais de primeira ordem (km)	0,263	0,275	(+) 5
N2 – Número de canais de segunda ordem	4	3	(-) 25
L2 – Comprimento dos canais de Segunda ordem (km)	1,976	2,069	(+) 5
Lm2 – Comp. médio dos canais de segunda ordem (km)	0,494	0,690	(+) 40
N3 – Número de canais de terceira ordem	1	1	-
L3 – Comprimento dos canais de Terceira ordem(km)	1,161	1,141	(-) 2
Lm3 –Comp. médio dos canais de terceira ordem (km)	1,161	1,141	(-) 2

6.4 – AVALIAÇÃO DO QUADRO DAS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS NAS SUB-BACIAS RA, AS E RP

As mudanças das características da paisagem das sub-bacias hidrográficas RA, AS e RP foram estabelecidas com base nos seguintes atributos: (i) o tipo de atividade antrópica registrada na área; (iii) as modificações ocorridas na rede de drenagem (avaliação setorizada das variações no número de canais de primeira ordem) e influenciadas por estas atividades e (iii) características referentes ao meio físico: substrato rochoso, materiais inconsolidados e declividade do terreno.

A análise efetuada indica que as alterações negativas no número de canais de primeira ordem estão associadas essencialmente aos canais intermitentes (pluviais) de pequena dimensão (< 180m). As mudanças internas observadas em cada setor nos parâmetros número de canais de segunda e terceira ordens (N2 e N3), comprimento dos canais de primeira e de segunda ordens (L1 e L2) e comprimento médio dos canais de primeira e de segunda ordens (Lm1 e Lm2) são decorrentes destas alterações primárias.

Por meio da integração dos dados resumidos da análise setorizada das alterações da rede de drenagem (FIGURA 76 e TABELA 43), dos mapas de substrato rochoso e de materiais inconsolidados (ANEXOS V e VII, respectivamente) e da carta de declividade (ANEXO II), pode ser verificado que:

1) a diminuição do número de canais primários ocorre predominantemente nos segmentos superiores das vertentes (áreas de cabeceiras de drenagem), com declividades alta (10-20%) a muito alta (>20%);

2) a distribuição espacial das alterações no número de canais de primeira ordem observadas nas sub-bacias RA, AS e RP é influenciada pelo tipo de material inconsolidado presente:

- as perdas e ganhos destes canais são mais freqüentes quando associados aos materiais residuais derivados principalmente de arenitos e de siltitos (com freqüentes intercalações de diamictitos) da Associação Litológica II do Subgrupo Itararé (FIGURA 82);
- tais alterações são menos freqüentes em áreas com perfil de alteração constituídos por materiais retrabalhados (principalmente de textura arenosa) mais espessos e que ocorrem amplamente nas porções leste, norte e oeste das sub-bacias RA, AS e RP, respectivamente (FIGURA 83) e
- nos materiais residuais de intrusivas básicas, as alterações são insignificantes.

3) Os prováveis processos de uso e ocupação do meio físico que determinaram ou deflagraram as alterações negativas mais expressivas no número de canais de primeira ordem são os seguintes:

- o cultivo agrícola de cana de açúcar nas porções central e norte das sub-bacias RP (mais intenso) e AS. Entre os vários estágios de maturação, CASTILHO & FILHO (2001) relatam que a remobilização do solo é favorecida por áreas destituídas de vegetação e preparadas para o plantio;
- o desenvolvimento urbano da cidade de Monte Mor, nas regiões inferiores das sub-bacias RA e AS. A concentração de imóveis residenciais e comerciais e ruas pavimentadas condicionam a impermeabilização do terreno em alguns locais e, conseqüentemente, o encobrimento de canais naturais de drenagem ;
- a expansão de áreas urbanas na região leste da sub-bacia RA, com taxa de ocupação medianamente a pouco adensadas (bairros, sítios e chácaras), com construções predominantemente residenciais e ruas não pavimentadas. Segundo a FAO (1995), a urbanização e a agricultura são fatores antrópicos potenciais responsáveis por alterações na rede de drenagem em bacias hidrográficas.
- a alteração da cobertura vegetal, tanto pela substituição da cobertura original por pastagens e, subordinadamente, por hortifrutigranjeiros, bem como por áreas ocupadas por minerações de argila , também contribuíram para tais modificações .

(1972)

(1995)

FIGURA 82 – Porção sul da sub-bacia RA (setor 20) em 1972 e em 1995. Neste setor, a elevada redução de N1 relaciona-se à expansão urbana de Monte Mor e associada a solos residuais de siltitos e arenitos.

FIGURA 83 – Porção oeste da sub-bacia RP (setor 3) em 1972 e em 1995. A principal atividade antrópica desta área é o cultivo de cana-de-açúcar. As alterações da rede de drenagem são mais concentradas junto aos solos residuais de siltitos (seta).

7 – CONCLUSÕES

Conforme já verificado por outros autores, neste trabalho constatou-se similarmente a funcionalidade de bacias hidrográficas como unidades físicas adequadas para fins de caracterização ambiental.

A aplicação da proposta metodológica de COLLARES (2000) mostrou-se válida para a verificação, em escala de semidetalhe (1:25.000), de alterações em algumas características do meio físico das sub-bacias hidrográficas RA, AS e RP.

A análise temporal de fotografias aéreas com uma defasagem de 23 anos, permitiu a análise das alterações ocorridas entre 1972 e 1995 nas características da rede de drenagem e de uso e ocupação do terreno. A morfometria do sistema de drenagem constituiu um adequado geoindicador das modificações ocorridas nas sub-bacias e, desta forma, configura-se como um importante ferramenta no planejamento destas unidades físicas.

Na análise morfométrica da rede de drenagem foi observada uma diminuição de 23%, 10% e 20% no número de canais de primeira ordem (N1) e de apenas 9%, 2% e 7% no comprimento total dos canais (Lt) nas sub-bacias RA, AS e RP, respectivamente, que condicionaram as modificações nas variáveis densidade de drenagem e densidade hidrográfica. A rede de drenagem sofreu uma alteração negativa pouco expressiva, decorrente da pequena redução observada na variável Lt.

As mudanças na rede observadas são atribuídas às atividades antrópicas, visto que as características do meio físico não sofreram modificações significativas no período de tempo analisado capazes de condicioná-las.

O número de canais de primeira ordem (N1) foi o parâmetro que condicionou, indiretamente, as alterações mais relevantes nas demais variáveis morfométricas das sub-bacias RA, AS e RP. Por isso, este parâmetro foi utilizado como indicador das alterações promovidas pela remobilização e/ou impermeabilização do solo.

A avaliação setorizada das alterações (perdas e ganhos) de N1, caracterizou-se como um método adequado para a determinação das alterações da paisagem na área total das sub-bacias. A análise das relações entre as atividades antrópicas desenvolvidas, as alterações ocorridas nas redes de drenagem e as características geológicas e geomorfológicas do terreno indicou que:

- a diminuição de N1 está associada principalmente aos canais intermitentes e pouco extensos e ocorre nas regiões com as classes de declividade mais elevadas da área. Estas mudanças foram favorecidas pelo predomínio de relevo colinoso com vertentes convexas.
- as perdas e ganhos destes canais são mais freqüentes quando associadas aos materiais residuais de arenitos e siltitos da Associação Litológica II do Subgrupo Itararé. Por outro lado, elas são menos freqüentes em áreas onde o perfil de alteração é constituído por materiais retrabalhados (arenosos) mais espessos.
- os principais processos antrópicos que condicionaram as alterações negativas mais expressivas em N1 foram: o cultivo agrícola intensivo de cana-de-açúcar, o desenvolvimento urbano de Monte Mor e a expansão de áreas urbanas medianamente a pouco adensadas.

O processo de escaneamento e de mosaicagem das fotografias aéreas realizado no ENVI® agilizou a digitalização dos dados, considerando-se a superposição lateral de 20% aliada à elevada quantidade de informações (especialmente dos canais de drenagem). O processo de georeferenciamento executado também neste programa apresentou uma ótima precisão em relação à

escala de trabalho, característica esta de fundamental importância no estudo morfométrico das sub-bacias hidrográficas.

A utilização do programa Autocad Map® permitiu de forma rápida e consistente a vetorização dos canais de drenagem (e demais informações). O processo de criação de topologias permitiu a obtenção dos valores das variáveis morfométricas básicas.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R.L. (1989). Mapeamento geotécnico da Folha de Conchal – SP: escala 1:50.000. 2v. Dissertação de Mestrado. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

AGUIAR, R.L. (1994). Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental. Revisão bibliográfica. Seminários Gerais. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

ALMEIDA, F.F.M. de (1964). Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*. Nº 41. p.169-263.

ALMEIDA, L.E.G. (2000). Mapeamento geotécnico de Casa Branca (SP): ênfase no uso da técnica de Avaliação de terrenos e perfis típicos de materiais inconsolidados. 121p. + anexos. Dissertação de Mestrado. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

ALMEIDA, J.R.; ORSOLON, A.; MALHEIROS, T.M.; PEREIRA, S.R.B.; AMARAL, F.; SILVA, D.M. (1993). Planejamento ambiental: caminho para participação popular e gestão ambiental para nosso futuro comum – uma necessidade, um desafio. Rio de Janeiro. Editora Biblioteca Estácio de Sá. 176p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6508 (ABNT MB – 28). Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7181 (ABNT MB – 32). Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- AUTODESK, INC. (1998). Autocad Map 3.0®. Release 3. User's guide. San Rafael. Canadá. 623p.
- BARBOSA, O. & ALMEIDA, F.F.M. (1949). A Série Tubarão na Bacia do rio Tietê, Estado de São Paulo. Div. Geol. Min.. Notas preliminares e estudos. Rio de Janeiro. DNPM, Nº 48, p.1-16.
- BELCHER, D.J. (1948). Determination of soils conditions from aerial photographs. *Photogrammetric Engineering*. V.14. p.482-488.
- BERGER, A.R. (1996). Introduction to geoindicator checklist. In: BERGER, A.R. & IAMS, W.J. (eds.). Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems. Rotterdam. Balkema. p.383-454.
- BONUCELLI, T.J. (1999). Estudos dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos em aplicação na área urbana de Ouro preto (MG): escala 1:10.000. Tese de doutorado. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- BOTELHO, R.G.M. (1999). Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. & BOTELHO, R.G.M. Erosão e conservação dos solos. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. p.269-300.
- BRYANT, J.M. (1982). Engineering geological applications of aerial photograph interpretation in Hong Kong. In: CONGRESS OF THE IAEG. 4. New Delhi. 1982. Anais. New Delhi. v.1. p. 145-153.
- CAMPOS, S.; DE BARROS, X.Z.; CARDOSO, L.G. (1994). Parâmetros quantitativos do padrão de drenagem na caracterização e diferenciação de unidades de solo na bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP). *Engenharia Agrícola*. V.14. p.55-67.
- CANALI, N.E. & OKA-FIORI, C. (1998). Análise morfométrica de bacias hidrográficas. In: LIMA, R.E. & NEGRELLE, R.R.B. (org.). Meio ambiente e

desenvolvimento no litoral do Paraná: diagnóstico. Curitiba. Editora da Universidade Federal do Paraná. 258p.

CASTILHO, C.P.G. & FILHO, J.T. (2001). A importância da cobertura vegetal na atenuação da precipitação que atinge o solo – Estudo de caso: cultura de cana-de-açúcar. Goiânia. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão.

CHIARINI, J.V. & DONZELI, P.L. (1973). Levantamento, por fotointerpretação, das classes de capacidade de uso das terras do Estado de São Paulo. Campinas. Instituto Agrônomo de Campinas. Boletim Técnico Nº 3.

CHORLEY, R.; SCHUMM, S.; SUGDEN, D.E. (1984). Geomorphology. Methuen. p. 316-371.

CHRISTOFOLETTI, A . (1968). O fenômeno morfogenético no município de Campinas (SP). Campinas. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras – FFCL / UNICAMP. 139p.

CHRISTOFOLETTI, A . (1969). Análise morfométrica das bacias hidrográficas. Campinas. *Notícias Geomorfológicas*. V.9. Nº 18. p.19-34.

CHRISTOFOLETTI, A . (1970). Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas (MG). Tese de Livre Docência. Rio Claro. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras.

CHRISTOFOLETTI, A . (1974). Geomorfologia. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 74p.

CHRISTOFOLETTI, A . (1987). Análise topográfica de bacias hidrográficas. *Geociências*. V.5. Nº6. p.1-29.

CHRISTOFOLETTI, A . (1998). Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs.). Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. p. 415-441.

COLLARES, E.G. (1994). Mapeamento geotécnico da quadrícula de Bragança Paulista (escala 1:50.000): ênfase nos materiais inconsolidados. 2v.

Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

COLLARES, E.G. (1996). Degradação ambiental: bases conceituais, análise e avaliação. Revisão bibliográfica. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 104p.

COLLARES, E.G. (2000). Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari. – SP. Tese de Doutorado. 2v. 189p. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

COLTRINARI, L. (1996). The geoinicator concept and its application: an introduction. In: BERGER, A.R.; IAMS, W.J. (eds.). Geoinicator assessing rapid environmental changes in earth systems. A. A. Balkema. p.295-310.

COLWELL, R.N. (1952). Photographic interpretation for civil purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of photograhic interpretation*. Washington. 2ed. p.535-602.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH-PCJ (1996). Relatório de situação dos recursos hídricos da UGRHI 5.

CORSON, W.H. de. (1993). Manual global de ecologia: o que você precisa saber a respeito da crise no meio ambiente. São Paulo. Augustus. 413p.

COTTAS, L.R.; FIORI, A.P.; LANDIM, P.M.B. (1981). Divisão faciológica do Subgrupo Itararé e da formação Aquidauana no Nordeste do Estado de São Paulo. SBG/SP. In: Atas do III Simpósio Regional de Geologia. Curitiba. V.2. p.103-115.

CREPANI, E. (1993). Princípios básicos de sensoriamento remoto. São José dos Campos. CNPq/INPE. 45p.

- CRÓSTA, A.P. (1992). Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas. Universidade Estadual de Campinas. Instituto Geológico. 170p.
- CURRAN, P.J. (1988). Principles of remote sensing. London. Longman. 366p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. (1998). Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo (CD ROM). Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. Convênio DAEE-USP. Versão 1.
- DE BIASI, M. (1970). A Carta Clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. São Paulo. *Geomorfologia*. N.10. p.8-13.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. (1977). Carta geológica do Projeto Sapucaí. Folha Campinas. Escala 1:250.000. Convênio Departamento Nacional de Produção Mineral e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- FARRET, J.C. (1996). Aplicabilidade do georeferenciamento de aerofotos de pequeno formato na formação de banco de dados espaciais – uma alternativa para o cadastro técnico rural municipal. Dissertação de Mestrado. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria. 111p.
- FARRET, J.C. & GIOTO, E. (1997). Aplicabilidade do georeferenciamento de aerofotos de pequeno formato na formação de bancos de dados espaciais – uma alternativa para o cadastro técnico rural municipal. *Ciência rural*. V. 27. Nº4. p.577-581.
- FERNANDES, N.F. & AMARAL, C.P. (1996). Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. p. 123-194.
- FERRANTE, J.E.T. & GANDOLFI, N. (1984). Metodologia fotointerpretativa de estudos básicos para um planejamento integrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 4. Belo Horizonte – MG. Anais. ABGE. v.2. p.227-239.

- FIORIO, P.R. (1998). Avaliação cronológica do uso da terra e seu impacto no ambiente da microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da região de Piracicaba – SP. 114p. Dissertação de mestrado. Piracicaba. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- FONTES, A. L. (1997). Caracterização Geoambiental da Bacia do Rio Japaratuba – SE. 283p. Tese de Doutorado. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. (1995). Land and water integration and river basin management. Rome. *FAO Land and Water Bulletin*. No 1. 81p.
- FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T. de O.; GALVES, M.L.; BITAR, O. Y.; AMARANTE, A. (1992). Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Boletim 61. 165p.
- FRANÇA, G.V. (1968). Interpretação de fotografias de bacias e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba. Tese de Doutorado. Piracicaba. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 151p.
- FREITAS, R.O. (1952). Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. *Boletim Paulista de Geografia*. Nº11. p.53-57.
- GANDOLFI, N. (1968). Bacia do Mogi-Guaçu: morfometria de drenagem, sedimentologia e investigações físico-químicas. 124p. + anexos. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- GONÇALVES, J. A. (1989). Levantamentos preliminares para o mapeamento geotécnico da Folha de Americana (Escala 1:50.000) e a escala na classificação dos documentos cartográficos. Seminários Gerais em Geotecnia. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 42p.

- HORTON, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*. V.56. p.275-370.
- HOWARD, A.D. (1967). Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. V.51. No.11. p.2246-2259.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (1970). Mapa topográfico: Americana, Folha SF-23-M-IV-3. Rio de Janeiro, IBGE. (Levantamento aerofotogramétrico topográfico regular aerofotografias de 1965). Escala 1:50.000. 1 mapa color. 60 x 70cm.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (1994). São Paulo em dados. São Paulo. <http://www.sidra.gov.br/cgi-bin/prtabl> (07/07/2000)
- INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IG. (1993). Subsídio do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas (SP). Programa: cartas geológicas e geotécnicas para planejamento ambiental na região entre Sorocaba e Campinas. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – CINP. 2v.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979). Mapa Topográfico: Folha Bairro Cruzeiro (SF-23-Y-A-V-SE-B). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979). Mapa Topográfico: Folha Monte Mor II (SF-23-Y-A-V-3-SE-D). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979). Mapa Topográfico: Folha Rio Capivari Mirim (SF-23-Y-A-V-3-SE-F). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC(1979). Mapa Topográfico: Folha Bairro Santa Cruz (SF-23-Y-A-V-3-SE-A). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979). Mapa Topográfico: Folha Monte Mor I (SF-23-Y-A-V-3-SE-C). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979). Mapa Topográfico: Folha Bairro Sobradinho (SF-23-Y-A-V-3-SE-E). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979). Mapa Topográfico: Folha Bairro Terra Preta (SF-23-Y-A-V-4-SO-A). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979). Mapa Topográfico: Folha Córrego Campo Grande (SF-23-Y-A-V-4-SO-C). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979). Mapa Topográfico: Folha Bairro Gonçalves (SF-23-Y-A-V-4-SO-E). Escala 1:10.000. Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo. Divisão de Geografia.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1980). Carta de utilização das terras do Estado de São Paulo, Folha Campinas. Escala 1:250.000. Secretaria de Economia e Planejamento de Ação Regional. Governo do Estado de São Paulo.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AEROSPACE SURVEY AND EARTH SCIENCE
– ITC (1996). Tools for assessing rapid environmental changes. The 1995
geoindicator checklist. Netherlands. Publication No 46.

JONES, J.R.; LANEY, R.; FULK, M.; AUBLE, J. (1993). TOSCA. Reference guide.
Version 2.0. Winchester. Graduate School of Geography. Clark University. 86p.

KNIGHTON, D. (1984). Fluvial forms and process. London. Edward Arnold. 212p.

LANDIM, P.M.B.; TEIXEIRA, J.A. & ODA, G.H. (1986). Estudo hidrogeológico do
Grupo tubarão na bacia hidrográfica do rio Capivari. In: Desenvolvimento de
pesquisas hidrogeológicas no Estado de São Paulo. FAPESP/DAEE/UNESP-
Rio Claro/USP-Ribeirão Preto/ IG-SMA. 50p. (relatório interno).

LANNA, A.E. (1993). Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C.E.M. (org.).
Hidrologia – Ciência e Aplicação. ABRH. Editora da Universidade Federal do
Rio grande do Sul. p.727-768.

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. 2v + anexos. Dissertação de Mestrado. Escola de
Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

LOMBARDI NETO, F.; JUNIOR, M.J.P.; MELLO, M.H.A. (1994). Hidrologia,
climatologia e agrometereologia. In: LOMBARDI NETO, F. & DRUGOWICH,
M.I. (coord.). Microbacias hidrográficas. São Paulo. Governo do Estado de São
Paulo. V.2. 11p.

LOLLO, J.A. (1995). O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de
elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na
quadrícula de Campinas. Tese de Doutorado. São Carlos. Universidade de São
Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 2v.

LOLLO, J.A. & ZUQUETTE, L.V.(1996). Avaliação do terreno aplicada à elaboração
do mapeamento geotécnico. Apostila SGS-820: Aerofotointerpretação e
processos de elaboração do mapeamento geotécnico. São Carlos.
Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

- LOPES, M.F.C. (1994). Condições de ocorrência de água subterrânea na bacia dos rios Piracicaba e Capivari. Dissertação de Mestrado. Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. 82p.
- LOPES, P.M.S. (2001). Cartografia geoambiental com auxílio de sistemas de suporte à decisão. Revisão bibliográfica. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 141p.
- MANIAKAS, S. (1986). Estudos geofísicos integrados à geologia da bacia hidrográfica do baixo Rio Capivari – SP (Subgrupo Itararé e intrusivas associadas). 180p. Tese de Doutorado. São Paulo. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências.
- MARCHETTI, D.A.B. & GARCIA, G.J. (1977). Princípios de fotogrametria e fotointerpretação. São Paulo. Editora Nobel. 257p.
- MENEZES, D.M. (2000). Avaliação de aspectos metodológicos e aproveitamento de informações do meio físico em estudos geoambientais de bacias hidrográficas: aplicação na Bacia do Rio Pardo. Tese de Doutorado. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 235p.
- MEZZALIRA, S. (1969). Geologia de subsuperfície em Itu, SP. Ocorrência de “rocha moutonée” nos testemunhos de sondagem. Academia Brasileira de Ciências. V.4. Nº1. p.83-89.
- MEZZALIRA, S. (1972). “Bloco errático” de grande porte na região de Sumaré – Monte Mor, Estado de São Paulo. Anais da Academia Brasileira de Ciências. v. 44. n.2. p.251-257.
- MITCHEL, C.W. (1991). Terrain Evaluation. An Introductory handbook to the history, principles and methods to practical terrain assessment. Londres. LONG MAN SCIENTIFIC & TECHNICAL.
- MONTICELLI, J.J. & MARTINS, J.P.S (1993). A luta pela água nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari. Boletim do Projeto Piracena.

- MORISAWA, M.E. (1962). Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. *Geological Society of America Bulletin*. V.73. p.1025-1046.
- MORISAWA, M. E. (1964). Development of drainage systems on a upraised lake floor. *American Journal of Science*. V.262. p.340-354.
- MOTA, S. (1997). Introdução à engenharia ambiental. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. 1ª ed. 292p.
- NEIMANIS, V. & KERR, A. (1996). Developing national environmental indicators. In: BERGER, A.R.; IAMS, W.J. Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems. Rotterdam. Balkema. p.360-376.
- NOGAMI, J.S. & VILLIBOR, D.F. (1981). Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. Simpósio Brasileiro de solos Tropicais em Engenharia, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. Anais. p.30-38.
- NOGUEIRA, J.B. (1995). Mecânica dos Solos – Ensaios de Laboratório. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 248p.
- OLIVEIRA, P.C. (1991). Caracterização física da Bacia do ribeirão Cachoeirinha com o auxílio de fotointerpretação e técnicas cartográficas (Iracemápolis – SP). 119p. Dissertação de mestrado. Piracicaba. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- OLIVEIRA, E.P. (1916). Geologia do Estado do Paraná. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio. Boletim 5. Nº 1.
- OLIVEIRA, J. (1993). Aplicação de técnicas cartográficas no estudo de uso da terra: Bacia do Rio Claro – Londrina (PR). São Paulo. Universidade de São Paulo. Faculdade de filosofia, Letras e Ciências humanas. 88p.
- OLIVEIRA, C. (1988). Curso de cartografia moderna. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 152p.

- OYEBANDE, L. & AYOADE, J.O .(1986). The watershed as a unit planning and land development. In: LAL, R; SANCHEZ, P.A.; CUMMINGS, A.A. (eds.). Land clearing and development in the tropics. Rotterdam. Balkema. p.37-52.
- 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. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos
- PETRI, S. (1964). Grupo Tubarão. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo. n.41. p.56-63.
- PETRI,S. & PIRES, F.A. (1992). Litofácies e significado paleoambiental dos sedimentos Itararé na região Capivari-Rafard, Estado de São Paulo. *Revista SMA/IG*. v.13. n.1. p.7-30.
- PIRES, F.A. (2001). Análise paleoambiental e estratigráfica do Subgrupo itararé na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. 113p. Tese de Doutorado. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas.
- PIRES, F.A. & PETRI, S. (1991). O Subgrupo Itararé na região de Capivari-Rafard, Estado de São Paulo. Simpósio Regional de Geologia do Sudeste, 2. São Paulo. SBG/NSP. p.391-396.
- PIRES, J.S.R. & SANTOS, J.E. (1995). Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. *Ciência Hoje*. V.19. N.110. p.40-45.
- PIRES NETO, A. G.(1991). As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica, uma proposição metodológica para a geomorfologia. 302p. Tese de Doutorado. São Paulo. Universidade de São Paulo. Departamento de Filosofia, Letras e Ciências Humanas.
- PISANI, A. (1989). Sensoriamento remoto por satélites aplicado à bacia hidrográfica. São Paulo. *Boletim do Centro Tecnológico de Hidráulica*. Nº 14. p.15-31.

- PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M. de & PRANDINI, F.L. (1981). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, Escala 1:1.000.000. São Paulo. IPT. 2v. (IPT, Monografia 5).
- POLITANO, W.; FRANÇA, G.V. de; CORSINI, P.C.; LOPES, L.R.; BANZANATTO, D.A. de. (1991). Avaliação dos critérios de amostragem de bacia hidrográfica e amostra circular na determinação de características quantitativas do relevo e rede de drenagem, em áreas de solos podzólicos vermelho-amarelos. *Científica*. São Paulo. V.19. N° 1. p.71-81.
- POLITANO, W.; AMARAL, C.; LOPES, L.R. (1995). Relacionamento entre bacias hidrográficas de diferentes ordens de magnitude. *Científica*. São Paulo. V.23. N°1. p.73-83.
- PRICE, D.G. (1993). A suggested method for the classification of rock mass weathering by a rating systems. *Quarterly Journal of Engineering Geology*. No. 26. p.69-76.
- PROCHNOW, M.C.R. (1990). Análise ambiental da sub-bacia do Rio Piracicaba: subsídio ao planejamento e manejo. Tese de Doutorado. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 330p.
- QUINTANILHA, J.A. (1990). Processamento de imagens digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. São Paulo. 1990. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. p.37-52.
- RESEARCH SYSTEMS, INC. (1997). The environment for visualizing images. ENVI version 3.0. Boulder. Colorado. 614p.
- RICCI, M. & PETRI, S. (1965). Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo. Companhia Editora nacional. 226p.
- RITTER, D.F.; KOCHER, R.C.; MILLER, J.R. (1995). Process geomorphology. Wm. C. Brown. p.137-228.

- ROCHA, H.O .; SCOPEL, I.; SANTOS, M.E. DE L.; ITO, E. (1985). Utilização de fotografias aéreas no estudo da erosão do solo e suas relações com o uso, manejo e classes de solos na região de Cornélio Procopio – PR. Maringá. III Simpósio Nacional de controle de Erosão. p.239-243.
- ROCHA, A.; RICHTER, E.H.; SOUZA, S.R.B.P. (1996). Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para avaliação da evolução do uso do solo em área de proteção ambiental: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 8. Salvador. (CD-ROM).
- ROCHA – CAMPOS, A.C. (1967). The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. In: BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D. & PINTO, I.D. (eds.). Problems in Brazilian Gondwana Geology. Curitiba. p.27-102.
- RODRIGUES, L. & NISHIYAMA, L. (2001). Estudo dos fatores responsáveis pela erosão acelerada na Bacia do córrego dos Macacos – Uberlândia – MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. 7. Goiânia (GO). 10p. (CD-ROM).
- ROSS, J.L.S. (1996). Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs.). Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. p.291-336.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. (1997). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo - Escala 1:500.000. São Paulo. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP / IPT / FAPESP. 2v. 63p.
- ROSS, J.L.S. & DEL PRETTE, M.E. (1998). Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. Revista do Departamento de Geografia. Nº 12. p.89-121.
- RUEDA, J.R.J. & MATTOS, J.T. de (1994). Sistemática para estabelecimento de locais apropriados à instalação e ao monitoramento de depósitos de rejeitos sólidos e líquidos de atividades antrópicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 38. Balneário Camboriú – SC. Boletim de Resumos Expandidos SBG. v.1. p.61-63.

- SAAD, A.R. (1977). Estratigrafia do Subgrupo Itararé no Centro e Sul do Estado de São Paulo. 107p. Dissertação de Mestrado. São Paulo. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências.
- SALATI, E. (1996). Diagnóstico ambiental sintético de qualidade da água como subsídio para o planejamento regional integrado da Bacia hidrográfica do rio Corumbataí (SP). Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- SALOMÃO, F.X.T. & IWASA, O. Y. (1995). Erosão e a ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. (coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia e Engenharia / Instituto de Pesquisas Tecnológicas. p. 31-57.
- SANCHEZ, M.C. (1993). A propósito das cartas de declividade. In: Simpósio de Geografia Física Aplicada, 5, 1993. Anais. São Paulo. USP. p.311-314.
- SCOPEL, H.O.R.I.; SANTOS, M.E. de; ITO, E. (1985). Utilização de fotografias aéreas no estudo da erosão do solo e suas relações com o uso, manejo e classes de solos na região de Cornélio Procopio – PR. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. 3. Maringá. Anais. p.239-243.
- SCHUMM, S.A. (1956). Evolution drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambory, New Jersey. *Bulletin Geological Society America*. V.67. p.597-646.
- SCHUMM, S.A. (1977). The fluvial system. New York. Wiley and Sons. Interscience. 338p.
- SILVA, S.F. (2000). Avaliação das alterações ambientais na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão, Campinas – SP. 138p. Dissertação de Mestrado. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- SILVA, J.R.C.; DEGLORIA, S.D.; PHILIPSON, W.R.; McNEIL, R.J. (1993). Estudo da mudança de uso da terra através de um sistema de análise georeferenciada. Campinas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V.17.p.451-457.

- SILVEIRA, A.L.L. (1993). Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas. In: TUCCI, C.E.M. (org.). Hidrologia – Ciência e aplicação. ABRH. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do sul. p.35-52.
- SIMÕES, S. J. C. (1997). A dinâmica dos sistemas e a caracterização de geoindicadores. In: MARTOS, H.L. & MAIA, N.B. (coords.). Indicadores ambientais. Sorocaba. Pontífice Universidade Católica. Departamento de Ciências Ambientais. p.59-70.
- SIQUEIRA, A.G. (2001). Alterações da rede de drenagem da microbacia hidrográfica do Rio Capivari Mirim. 147p. + anexos. Dissertação de Mestrado. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- SMITH, K.G. (1950). Standard grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*. V.248. p.655-668.
- SOARES, P.C.; SINELLI, O. ; PENALVA, F. WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, P.R.M. (1973). Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. XXVII Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. Anais. p.209-228.
- 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*. V.7.N.2. p.131-149.
- SOARES, P.C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A. ; CASTRO, P.R.M. (1973). Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. XXVII Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. Anais. p.209-228.
- SOARES, P.C. & FIORI, A.P. (1976). Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*. Campinas. V.16. p.71-104.
- SOUZA, A .A . de (2000). Tratamento digital de fotografias aéreas verticais como alternativa à análise estereoscópica de bacias hidrográficas. Tese de Doutorado. Piracicaba. Universidade de São Paulo. Escola superior de Agronomia Luiz de Queiroz. 167p.

- SOUZA, M.L. (1996). Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto/MG (Escala 1:10.000) – Susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos. 2v. Dissertação de Mestrado. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- SOUZA FILHO, E.E. (1986). Mapeamento faciológico do Subgrupo Itararé na quadrícula de Campinas (SP). 121p. Dissertação de Mestrado. São Paulo. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências.
- STEUVAUX, J.C.; SOUZA, E.E.; TEIXEIRA, J.A. ; LANDIM, P.M.B. (1987). Sistemas deposicionais do Subgrupo Itararé (P-C) na bacia hidrográfica do baixo Rio Capivari (SP): um modelo para prospecção de água subterrânea. Rio Claro. Simpósio Regional de Geologia, 6. SBG/NSP. v.1. p.355-374.
- STRAHLER, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society American Bulletin*. V.63. Nº10. p. 1117-1142.
- STRAHLER, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction of the American Geophysical Union*. V.38. Nº6. P.913-920.
- STRAHLER, A. N. (1958). Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Geological Society American Bulletin*. V.69. Nº2. p.279-300.
- STRAHLER, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V.T. (ed.). Handbook of applied hydrology. New York. Mc Graw Hill.
- SULSOFT (2000). Guia em português do ENVI 3.2. [http:// www.sulsoft.com.br](http://www.sulsoft.com.br)
- TOLENTINO, M.; GANDOLFI, N. & PARAGUASSU, A.B. (1968). Estudo morfométrico das bacias hidrográficas do Planalto de São Carlos. *Revista Brasileira de Geografia*. V.30. Nº4. p.42-50.
- TONIOLO, E.R. & KAZMIERCZAK, M.L. (1999). Análise ambiental da Bacia do Rio Mundaú para fins de recuperação de áreas degradadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. 6. Santos – SP. (CD-ROM).

- TUCCI, C.E.M. & CLARKE, R.T. (1997). Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Revista brasileira de recursos hídricos*. V.2. Nº1. p.1-10.
- VALÉRIO FILHO, M. (1994). Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: Solos altamente susceptíveis à erosão. Jaboticabal. Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos. p.223-242.
- VALÉRIO FILHO, M. (1998). Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas ao planejamento regional. Presidente Prudente. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão. CD-ROM.
- VALÉRIO FILHO, M. & PINTO, S.A.F. (1990). Imagens orbitais aplicadas ao levantamento de dados do meio físico: contribuição ao planejamento de microbacias hidrográficas. In: CASTRO FILHO, C. & MUZILLI, O. (1996). Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas. Londrina. Instituto de Agronomia do Paraná. p.77-95.
- VEDOVELLO, R.; BROLLO, M.J.; SILVA, P.C.F. (1998). Avaliação da erosão como fator condicionante na seleção de áreas para disposição de resíduos. Uma abordagem a partir de compartimentação fisiográfica obtida em imagem de satélite. Presidente Prudente. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão. CD- ROM.
- ZERNITZ, E.R. (1932). Drainage patterns and their significance. *Journal of Geology*. V.40. p.498-521.
- ZUQUETTE, L.V. (1987). Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. 673p. Tese de Doutorado. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- ZUQUETTE, L.V. (1993). Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para sua elaboração. 2v. Tese de Livre Docência. São Carlos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

- WALLING, D.E. & GREGORY, M. (1973). Drainage basin form and process: a geomorphological approach. London. Edgard Arnold. 456p.
- WATRIN, O .S.; VENTURIERI, A .; SAMPAIO, S.M.N. (1999). Análise multitemporal do uso da terra e suas implicações com a cobertura vegetal em comunidades rurais do nordeste paraense. Santos. VI Congresso Brasileiro de Geoprocessamento. CD-ROM.
- WEBER, E.; DUARTE, G.F.; FRANF, M. HOFF, R.; ZOMER, S.; BASSANI, E.; JUNQUEIRA, I. (1999). Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da Bacia hidrográfica do Rio Caí – RS. Santos. VI Congresso Brasileiro de Geoprocessamento. CD-ROM.
- WOLF, P.R. (1983). Elements of photogrammetry. New York. McGraw-Hill book Company. 628p.
- YOUNG, A. (1976). Tropical soils and soil survey. Cambridge. Cambridge University Press. 468p.

- 5 Pontos de Controle
- 4 Pontos de coleta de amostra deformada e indeformada
- 3 Sondagem a trado

- Àrea urbana

- ## Rodovias e estradas principais

- Curvas de nível : equidistância 10m

- ## Rede de drenagem

- ## Represas, lagos e barragens

Limites das sub-bacias:

RA - Ribeirão do Aterrado

AS - Córrego Água Suja

RP - Ribeirão do Pomal

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO I - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

Escala Numérica Original: 1:25.000

Z

- Limites das sub-bacias:**
- RA - Ribeirão do Aterrado
  - AS - Córrego Água Suja
  - RP - Ribeirão do Pombal
- Área urbana

CLASSES DE DECLIVIDADE	
	< 2% - < 1,1°
	2 A 5% - 1,1 A 2,9°
	5 A 10% - 2,9 A 5,7°
	10 A 20% - 5,7 A 11,3°
	> 20% - >11,3°

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO II - CARTA DE DECLIVIDADE

AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO
ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

Escala Numérica Original: 1:25.000

012km

N

RA - Ribeirão do Aterrado

AS - Córrego Água Suja

RP - Ribeirão do Pombal

Setores de análise temporal da rede de drenagem

Área urbana

Canaís de ordem 1

Canaís de ordem 2

Canaís de ordem 3

Canaís de ordem 4

Canaís de ordem 5

Canaís de ordem 6

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO III - MAPA DA REDE DE DRENAGEM 1972

AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

0

1

2km

Escala Numérica Original: 1:25.000

N

- Limites das sub-bacias:**
- RA - Ribeirão do Aterrado
  - AS - Córrego Água Suja
  - RP - Ribeirão do Pombal
- Setores de análise temporal da rede de drenagem**
- 1
- Canais de ordem 1**
- Canais de ordem 2**
- Canais de ordem 3**
- Canais de ordem 4**
- Canais de ordem 5**
- Canais de ordem 6**
- Área urbana**

	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
ANEXO III - MAPA DA REDE DE DRENAGEM 1995	
AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO	
ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES	
Escala Numérica Original: 1:25.000	
0 1 2km N	

○ Limites das sub-bacias:

RA - Ribeirão do Aterrado

AS - Córrego Água Suja

RP - Ribeirão do Pomбал

▨ Área urbana

JKib

PCI - I

PCI - II

INTRUSIVAS BÁSICAS:

(Corpos intrusivos concordantes
de rochas de textura fanerítica fina)

SUBGRUPO ITARARÉ - ASSOCIAÇÃO LITOLÓGICA I

(Siltitos, lamitos e argilitos, com arenitos
finos subordinados)

SUBGRUPO ITARARÉ - ASSOCIAÇÃO LITOLÓGICA II:
(Intercalações de siltitos arenosos, arenitos,
diamictitos e subordinadamente argilitos)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO V - MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO

AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

Escala Numérica Original: 1:25.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO VI - MAPA DE LANDFORMS

AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

Escala Numérica Original: 1:25.000

N

- Limites das sub-bacias:**
- RA - Ribeirão do Aterrado
  - AS - Córrego Água Suja
  - RP - Ribeirão do Pomбал
- Área urbana**
- Aluviões**

- GÊNESE**
- Retrabalhado
  - Residual
  - Neossolo

- TEXTURA**
- a** Arenoso
  - s** Siltoso
  - g** Argiloso

- ESPESSURA**
- 1** 0,5 - 1,0m
  - 2** 1,0 - 3,0m
  - 3** 3,0 - 5,0m
  - 4** > 5,0m

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO VII - MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

Escala Numérica Original: 1:25.000

012km

N

Limites das sub-bacias:
RA - Ribeirão do Aterrado
AS - Córrego Água Suja
RP - Ribeirão do Pombal

Área urbana

Pastagem
Culturas
Solo exposto
Mata nativa
Reflorestamento

Vegetação de várzea
Hortifrutti
Centro urbano
Urbanização pouco adensada
Represas

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO VIII - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO 1972

AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO
ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

Escala Numérica Original: 1:25.000

0 1 2km

N

- Limites das sub-bacias:**

RA - Ribeirão do Aterrado

AS - Córrego Água Suja

RP - Ribeirão do Pomal

Área urbana
- Represas**

Pastagem

Culturas

Solo exposto

Mata nativa

Reflorestamento
- Vegetação de várzea**

Hortifrutti

Centro urbano

Urbanização medianamente adensada

Urbanização pouco adensada

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO IX - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO 1995

AUTOR: Geólogo ROGÉRIO PINTO RIBEIRO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

Escala Numérica Original: 1:25.000

0 1 2km

N