

**SANDRO JOSÉ BRISKI**

**ANÁLISE DO MEIO FÍSICO COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL  
E GESTÃO TERRITORIAL DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
IGUAÇU – PR**

**(considerando aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos)**

**Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Geologia, Área  
de Concentração Geologia Ambiental, Curso de  
Pós-Graduação em Geologia, Setor de  
Ciências da Terra, Universidade Federal do  
Paraná.**

**Orientador : Prof. Dr. Eduardo Salamuni.**

**CURITIBA  
2004**

**SANDRO JOSÉ BRISKI**

**ANÁLISE DO MEIO FÍSICO COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL  
E GESTÃO TERRITORIAL DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
IGUAÇU – PR**

**(considerando aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos)**

**Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Geologia, Área  
de Concentração Geologia Ambiental, Curso de  
Pós-Graduação em Geologia, Setor de  
Ciências da Terra, Universidade Federal do  
Paraná.**

**Orientador : Prof. Dr. Eduardo Salamuni.**

**CURITIBA  
2004**

**Dedico este trabalho a todos aqueles que lutam por um mundo melhor e mais justo, respeitando as leis dos homens e da natureza. Também a todos meus familiares em especial meus pais (Carlos e Izanette), a minha irmã Adriane, e a minha esposa Sandra pelo apoio e disponibilidade a mim conferidos.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta ou indiretamente colaboraram na confecção e realização deste trabalho concretizando um sonho e mais um importante passo em minha vida acadêmica.

Em especial ao meu orientador Prof<sup>o</sup>. Dr. Eduardo Salamuni, ao qual tenho profunda admiração e respeito por seu conhecimento e profissionalismo elevando a ciência e os direcionamentos acadêmicos à sua mais ampla plenitude.

Ao meu co-orientador e amigo, Prof<sup>o</sup>. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos, ao qual tenho profunda estima e respeito, pelas importantes contribuições nos momentos decisivos e duvidosos.

Respeitosamente ao meu co-orientador Prof<sup>o</sup>. Dr. Luiz Eduardo Mantovani pelo seu apoio, credibilidade e cooperação nos momentos difíceis.

A coordenação, docentes, funcionários e colegas do Programa de Pós Graduação em Geologia, pela disposição e credibilidade dedicadas.

Quero dedicar meu profundo agradecimento a grande amiga Professora Mestre Elaine de Cacia de Lima, sempre presente em todas as etapas do trabalho contribuindo enormemente com seus conhecimentos para a realização do mesmo. E ao corpo docente da Universidade Tuiuti do Paraná pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis e em especial aos docentes Jocelyn Lopes de Souza, Valdomiro Lourenço Nachornik e Uraci Castro Bomfim por acreditarem e apoiarem a execução deste trabalho.

Ao Rafael André Ramiro de França técnico do laboratório de Geoprocessamento do Curso de Geografia da Universidade Tuiuti do Paraná, pela disponibilidade e apoio técnico.

A equipe de profissionais do Geoprocessamento da SUDERSHA na gestão de 1996 a 2003 , a Geógrafa Sônia Burmester do Amaral, ao Geógrafo Antonio Marcos Ferreira e a Analista de Sistemas Jaqueline Dorneles de Souza pelo apoio técnico e disponibilização de dados.

A equipe de técnicos da SEMA e da Sanepar pela contribuição através da disponibilização de informações.

De um modo geral ao Ministério Público do Estado do Paraná – Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Proteção ao Meio Ambiente.

Aos professores doutores, Ambrosina Helena Ferreira Gontijo Pascutti (UERJ) e Alberto Pio Fiori (UFPR) que integraram a banca examinadora, contribuindo com sugestões para a melhoria deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	x
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	4
1.2.1 Objetivo geral.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
<b>2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	6
<b>3. EMBASAMENTO TEÓRICO CONCEITUAL</b> .....	9
3.1 A PAISAGEM, O ESPAÇO GEOGRÁFICO E OS RECURSOS NATURAIS COMO EMBASAMENTO PARA ESTUDOS AMBIENTAIS .....	9
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA, RECURSO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO PARA USO CONSULTIVO.....	11
3.3 SISTEMAS AMBIENTAIS.....	14
3.3.1 Geossistemas.....	15
3.3.2 Ecossistemas.....	17
3.4 PLANEJAMENTO E GESTÃO TERRITORIAL AMBIENTAL.....	19
3.4.1 Geologia Ambiental.....	21
3.4.2 Fragilidade Ambiental.....	23
3.4.3 Zoneamento Ambiental como mecanismo para o planejamento territorial.....	24
3.5 GEOTECNOLOGIAS .....	26
3.5.1 Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens (PDI).....	27
3.5.2 Geoestatística.....	30
3.5.3 Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG's).....	32
<b>4. MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	36
4.1 MATERIAIS.....	36
4.2 METODOLOGIA.....	38
<b>5. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E FÍSICA DA BACIA</b> .....	54
5.1 GEOLOGIA.....	56
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	60
<b>6. CONTROLE GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO DA DRENAGEM</b> .....	68
6.1 RELAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	71
6.2 APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NAS SUB-BACIAS DO ALTO CURSO SUPERIOR DO RIO IGUAÇU.....	86
6.3 ANÁLISE CONJUNTURAL DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO SUPERIOR DO RIO IGUAÇU.....	125

<b>7. DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO</b> .....	128
7.1 AVALIAÇÃO MULTITEMPORAL DO ADENSAMENTO DEMOGRÁFICO.....	131
7.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAL..	139
7.3 PROJEÇÕES DE CENÁRIOS FUTUROS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	143
<b>8. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	148
8.1 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL.....	149
8.2 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE.....	170
8.3 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	180
8.4 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE ÁREAS COM CONFLITO DE USO ATUAL.....	184
<b>9. CONCLUSÕES</b> .....	198
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	202
<b>ANEXO</b> .....	208

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	LOCALIZAÇÃO.....	7
FIGURA 2	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	8
FIGURA 3	ESTRUTURA SISTÊMICA DA GEOESFERA TERRESTRE.....	15
FIGURA 4	FLUXOGRAMA ESTRUTURAL DO GEOSISTEMA E DO ECOSISTEMA.....	17
FIGURA 5	COMPONENTES BÁSICOS DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO.....	28
FIGURA 6	ESQUEMA CONCEITUAL DO PROCESSO DE ANÁLISE DE IMAGENS.....	29
FIGURA 7	ARQUITETURA INTERNA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	33
FIGURA 8	FLUXOGRAMA ESTRUTURAL DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	39
FIGURA 9	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE AO LONGO DAS SUB-BACIAS.....	40
FIGURA 10	CARTA DOS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS DA BACIA.....	55
FIGURA 11	CARTA GEOLÓGICA.....	57
FIGURA 12	CARTA DE SOLOS.....	59
FIGURA 13	CARTA PLANIALTIMÉTRICA.....	61
FIGURA 14	CARTA DE COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	62
FIGURA 15	CARTA DA HIDROGRAFIA.....	63
FIGURA 16	DISTRIBUIÇÃO DAS SUB-BACIAS.....	70
FIGURA 17	REPRESENTAÇÃO DA HIERARQUIA FLUVIAL.....	72
FIGURA 18	CARTA HIPSOMÉTRICA.....	80
FIGURA 19	CLASSIFICAÇÃO GENÉTICA DE DRENAGEM.....	85
FIGURA 20	CLASSIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DE PADRÃO DE DRENAGEM.....	85
FIGURA 21	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO IRAÍ.....	89
FIGURA 22	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO IRAÍ.....	90
FIGURA 23	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO PALMITAL.....	93
FIGURA 24	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO PALMITAL.....	94
FIGURA 25	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO PIRAQUARA.....	98
FIGURA 26	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO PIRAQUARA.....	99
FIGURA 27	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO ITAQUI.....	102
FIGURA 28	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO ITAQUI.....	103

FIGURA 29	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO PEQUENO.....	107
FIGURA 30	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO PEQUENO.....	108
FIGURA 31	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO IRAIZINHO.....	111
FIGURA 32	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO IRAIZINHO.....	112
FIGURA 33	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO CURRALINHO.....	115
FIGURA 34	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO CURRALINHO.....	116
FIGURA 35	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO CANGUIRI.....	119
FIGURA 36	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO CURRALINHO.....	120
FIGURA 37	HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO TIMBÚ.....	123
FIGURA 38	GEOLOGIA E PADRÕES DA REDE DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO TIMBÚ.....	124
FIGURA 39	ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL (RIO PEQUENO).....	134
FIGURA 40	ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL (RIO IRAÍ).....	135
FIGURA 41	ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL (RIO PALMITAL).....	136
FIGURA 42a	DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU.....	137
FIGURA 42b	DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU.....	138
FIGURA 43	CARTA DE ÁREAS AMPARADAS POR LEI.....	142
FIGURA 44	CARTA DE CLINOGRAFIA.....	150
FIGURA 45	CARTA DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL.....	152
FIGURA 46	CARTA DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA.....	159
FIGURA 47	CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL.....	164
FIGURA 48	CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO (2002).....	171
FIGURA 49	PONTOS DE CONTROLE DE CAMPO.....	173
FIGURA 50	CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE.....	174
FIGURA 51	CARTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL.....	185
FIGURA 52	CARTA DE CONFLITO DE USO E OCUPAÇÃO ATUAL.....	187
FIGURA 53a	FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO USO ATUAL ADEQUADO PARCIALMENTE.....	190
FIGURA 53b	FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO USO ATUAL ADEQUADO PARCIALMENTE.....	191
FIGURA 54a	FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO USO ATUAL INADEQUADO.....	193
FIGURA 54b	FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO USO ATUAL INADEQUADO.....	194
FIGURA 54c	FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO USO ATUAL INADEQUADO.....	195
FIGURA 54d	FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO USO ATUAL INADEQUADO.....	196

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE DAS SUB-BACIAS...	40
QUADRO 2	FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL .....	49
QUADRO 3	FRAGILIDADE DA COBERTURA SUPERFICIAL.....	50
QUADRO 4	FRAGILIDADE POTENCIAL.....	51
QUADRO 5	FRAGILIDADE EMERGENTE.....	52
QUADRO 6	ZONEAMENTO AMBIENTAL.....	52
QUADRO 7	ZONEAMENTO DE CONFLITO DE USO E OCUPAÇÃO ATUAL .....	53
QUADRO 8	CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES DE DRENAGEM.....	78
QUADRO 9	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO IRAÍ.....	87
QUADRO 10	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO PALMITAL.....	91
QUADRO 11	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO PIRAQUARA.....	95
QUADRO 12	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO ITAQUI.....	100
QUADRO 13	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO PEQUENO.....	104
QUADRO 14	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO IRAIZINHO.....	109
QUADRO 15	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO CURRALINHO.....	113
QUADRO 16	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO CANGUIRI.....	117
QUADRO 17	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO TIMBÚ.....	121
QUADRO 18	TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL DAS REGIÕES METROPOLITANAS .....	132
QUADRO 19	ASSENTAMENTO CONVENCIONAL E GEO-SUPORTADO .....	146
QUADRO 20	ASSOCIAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO GRUPAL DE CLASSES LITOLÓGICAS.....	151
QUADRO 21	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL MUITO FRACA .....	153
QUADRO 22	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL FRACA.....	154
QUADRO 23	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL MÉDIA.....	155
QUADRO 24	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL FORTE.....	156
QUADRO 25	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL MUITO FORTE.....	157

QUADRO 26	ASSOCIAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO GRUPAL DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA.....	157
QUADRO 27	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA MUITO FRACA.....	158
QUADRO 28	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA FRACA.....	160
QUADRO 29	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA MÉDIA.....	161
QUADRO 30	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA FORTE.....	162
QUADRO 31	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA MUITO FORTE.....	163
QUADRO 32	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL MUITO FRACA.....	165
QUADRO 33	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL FRACA.....	165
QUADRO 34	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL MÉDIA.....	166
QUADRO 35	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL FORTE.....	166
QUADRO 36	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL MUITO FORTE.....	167
QUADRO 37	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL.....	167
QUADRO 38	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE MUITO FRACA.....	172
QUADRO 39	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE FRACA.....	175
QUADRO 40	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE MÉDIA.....	175
QUADRO 41	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE FORTE.....	176
QUADRO 42	DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE MUITO FORTE.....	177
QUADRO 43	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE FRAGILIDADE EMERGENTE.....	178
QUADRO 44	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE ZONEAMENTO AMBIENTAL.....	181
QUADRO 45	ZONEAMENTO DE ÁREAS COM POTENCIAL AO USO.....	182
QUADRO 46	ZONEAMENTO DE ÁREAS COM POTENCIAL AO USO COM RESTRIÇÕES.....	183
QUADRO 47	ZONEAMENTO DE ÁREAS COM RESTRIÇÕES AO USO.....	184
QUADRO 48	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE CONFLITO DE USO SO SOLO ATUAL.....	186
QUADRO 49	ZONEAMENTO DE ÁREAS COM USO ATUAL ADEQUADO.....	188
QUADRO 50	ZONEAMENTO DE ÁREAS COM USO ATUAL ADEQUADO PARCIALMENTE.....	189
QUADRO 51	ZONEAMENTO DE ÁREAS COM USO ATUAL INADEQUADO.....	192

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	MEDIDA DA MÉDIA PLUVIOMÉTRICA (2000).....	65
GRÁFICO 2	MEDIDA DE TEMPERATURAS MÉDIAS (2000).....	65
GRÁFICO 3	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL.....	167
GRÁFICO 4	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE FRAGILIDADE EMERGENTE.....	178
GRÁFICO 5	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE ZONEAMENTO AMBIENTAL.....	181
GRÁFICO 6	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE CONFLITO DO USO DO SOLO ATUAL.....	186

## RESUMO

A proposta central deste trabalho tem como objeto de estudo a bacia hidrográfica do Alto Iguaçu em seu curso superior. Estabelecida em uma área de 565 Km<sup>2</sup> encontrando-se nesta região os tributários formadores do rio Iguaçu no Estado do Paraná em seu extremo Leste, entre as coordenadas geográficas: Oeste 48° 57' 22" e 49° 11' 13" e Sul 25° 16' 45" e 25° 36' 57", responsáveis por grande parte do abastecimento público de água tratada de Curitiba e parte significativa de sua região metropolitana. A motivação do desenvolvimento deste trabalho consiste na forma pela qual vem sendo ocupado e utilizado este recorte espacial, onde se verifica que há uma contraposição do uso do solo às características naturais da região. Esta problemática explica-se em partes pelas condições físicas ambientais da área que, de certo modo favorecem aos diversificados modelos de ocupação existentes na área de estudo. No entanto esta possível facilidade nem sempre corresponde com a adequação destas ocupações, ocasionando múltiplas formas de pressão ambiental, sentindo-se esses efeitos negativos principalmente sobre os recursos hidrogeológicos. Desta forma realizou-se uma integração das condicionantes do meio físico, apontando áreas mais ou menos susceptíveis as formas de modificações estabelecidas pelas atividades humanas. Para atingir os objetivos propostos foi construído um banco de dados teóricos e cartografados em meios gráficos e alfanuméricos georreferenciados e inter-relacionados, utilizando para tanto as geotecnologias através do geoprocessamento com a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG's), e do Sensoriamento Remoto. Através de uma coletânea de imagens de satélite compreendendo um período com multitemporalidade de oito anos, onde confirmou-se as projeções alarmantes deste forte adensamento urbano. Esta coletânea de dados está apoiada em trabalhos de campo contando com 43 pontos de controle distribuídos sistematicamente na área de estudo. Através da integração das informações associadas as geotecnologias foi possível obter como resultados conclusivos a elaboração das cartas de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente, Zoneamento Ambiental e Conflito de Uso do Solo atual, o qual aponta que 47% da área apresenta formas inadequadas de ocupação e outras 39% uso adequado parcialmente. Para a obtenção dos resultados utilizou-se como indicadores fundamentais às características Geológicas, Geomorfológicas, Pedológicas e Hidrogeológicas relacionadas com as principais modalidades de uso e cobertura do solo do ano de 2002. Espera-se estabelecer com os resultados, mecanismos adequados e eficientes para administradores, planejadores e técnicos, fornecendo suporte com informações integradas sobre o meio físico, biológico e humano, e suas possíveis respostas frente às formas de uso e ocupação do espaço territorial.

**Palavras-Chaves:** Fragilidade e Zoneamento Ambiental, Conflito de Uso e Geotecnologias.

## ABSTRACT

The central idea of this job has as a study matter the Alto Iguaçu basin in its upper course. Established in an 565km<sup>2</sup> area being found in this region the ones that form the Iguaçu River in Paraná State in its extreme east, among the geographical coordinates: West 48°57'22" and 49°11'13" and South 25°16'45" and 25°36'57", responsible for big part of the public treated water service in Curitiba and in significant part of the metropolitan region. The motivation for the development of this job consists in the way in which it has been used this space cut, where we can notice a contrast in the use of the soil and the natural conditions of the place. This problem is explained in one way by the physical environmental conditions of the area that favour the different models of occupation existent in the studying area. However, this possible facility is not always corresponding with the occupations, causing several ways of environmental pressure, containing then the negative effects, mainly in the water resources. This way, it was realized an integration of the environment showing areas that are not strong against human activities. To achieve the proposed objectives, a theoretical geographical related database, using the geotechnologies with the "SIG's" (Geographical Information System) and the "Sensoriamento Remoto". Via a satellite image collection taking a period of eight years, and it was confirmed the dangerous projections of this urban dense maker. This database is based in area researches, taking 43 control points sistematically distributed in the study area. By the integration of he associated information the geotechnologies it was possible to get as conclusive results the elaboration of the Potential and Urgent Environment Fragility, the Environmental Placement and Use of the Soil Conflict letters showing that 47% of the area presents inadequate ways of occupation and another 39% of partial adequate use. Used for the achievement of these results it was used as fundamental indicators the Geological, Geomorphological, Pedological and Hydrological carachteristics related to the principal customs of use and soil cover in 2002. It is expected to be established with the results, adequate and efficient mechanisms to administrators, planners and technicians, supplying them with integrated information about the physical, biological and human environment, and its possible answers to the ways of use and occupation of the territorial space.

**Key-Words:** Fragility and Environmental Placement, Conflict of Use and Geotechnologies.

## 1. INTRODUÇÃO

As abordagens ambientais enfocando sistemas com a integração e as relações mútuas entre os elementos que compõem o ambiente natural ou já artificializado, representam atualmente sistematizações que priorizam a investigação e a necessidade de estudos sobre os ecossistemas e suas particularidades regionais, considerando a compreensão de seus mecanismos como vital para busca de uma melhor qualidade de vida planetária.

Atualmente é possível observar modelos diferenciados de pressões ambientais, gerados por processos naturais e ou induzidos pelas necessidades do homem, ocasionando maneiras inadequadas de uso e exploração dos recursos disponíveis na natureza. Tais situações vêm favorecendo a instabilização e perda do equilíbrio natural ecossistêmico, gerando problemas de ordens sociais e econômicas em diversos níveis da sociedade humana.

Para o desenvolvimento de estudos ambientais torna-se viável trabalhar sob a lógica dos subsistemas, considerando além da distribuição e organização dos elementos, também sua espacialização, uma vez que os eventos e fenômenos atuantes sobre os elementos sistêmicos se diferem em razão de sua localização espacial.

Apesar dos efeitos catastróficos gerados por fenômenos naturais causarem muitas vezes transformações drásticas no meio ambiente, percebe-se entretanto que, atualmente as ocorrências mais significativas das modificações que se fazem notar no sistema ambiental são reflexos das atividades humanas. Estas modificações ficam claras quando observado o meio urbano e toda a extensão de modificações que se estabelecem sobre o meio físico. São conseqüências da forte dependência que existe entre a atividade social exercida pelo homem e os recursos naturais, para atender suas necessidades básicas e secundárias. No entanto os recursos disponíveis na natureza encontram-se distribuídos diferenciadamente em quantidades e qualidades, e, geralmente, não são renováveis, considerando-se o longo período de tempo necessário para sua geração natural.

Entre os elementos explorados, estão aqueles que são utilizados para proporcionar conforto e satisfação ao homem, porém existem aqueles que são essenciais a vida, considerados como primordiais à perpetuação da vida.

Evidenciando-se a água como um desses elementos vitais, ela é atualmente um dos principais alvos de discussões nos meios científicos, governamentais e sociais, visto que este recurso, mesmo considerado por alguns como renovável, vem perdendo significativamente sua qualidade e sofrendo bruscas alterações na quantidade disponível ao homem. Tais fenômenos modificadores da qualidade dos recursos hídricos são sentidos com mais expressividade nos grandes centros urbanos, ocasionando problema de extensão global.

### 1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do presente trabalho teve suas concepções iniciais subsidiadas a partir do desenvolvimento de Relatório Técnico solicitado pelo Ministério Público do Estado do Paraná – Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Proteção ao Meio Ambiente, visando atestar a qualidade da água captada para abastecimento público a partir do alto curso superior da bacia hidrográfica do rio Iguaçu, denominado de Mananciais da Serra, situado no setor leste da Região Metropolitana de Curitiba no Estado do Paraná. O tratamento e a distribuição da água ali captada atende, em grande parte, a cidade de Curitiba e uma porção de sua região metropolitana.

A elaboração e considerações conclusivas desse relatório foram realizadas com a participação de uma equipe multidisciplinar e multistitucional de técnicos e cientistas vinculados à Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Tuiuti do Paraná (UTP) e do Ministério Público do Estado do Paraná, além da participação da sociedade representada por políticos e entidades não governamentais (ONGs). Considerando os estudos preliminares constatou-se a significativa pouca qualidade da água “*in natura*” e as conseqüências deste fato relacionadas à integridade da saúde dos indivíduos que fazem uso da mesma.

Observou-se que tal problema está relacionado a outros que se estabelecem em razão de questões operacionais das administrações públicas e civis, entre elas a falta da prática intensiva de planejamentos urbanos e reestruturação, aperfeiçoamento e investimentos de equipamentos para coleta e

tratamento de potabilização da água, e fundamentalmente pelo forte adensamento demográfico que vem sofrendo a região.

Estas características revelam o escopo da elaboração deste trabalho, voltados às questões ambientais, as quais procuram estabelecer conhecimentos aprofundados da inter-relação entre os meios físico, biótico e humano. Ressalta-se que não há informações sócio-econômicas, mas sim a forma de ocupação e alteração ocorrida no espaço em virtude de ações antropogênicas, as quais fornecem subsídios técnico-científicos auxiliares nas questões de planejamento territorial, principalmente aquelas voltadas ao uso do solo, para estabelecimento de relações mais equilibradas entre a sociedade e o meio ambiente.

Para tanto, neste trabalho utilizou-se as concepções da Geologia Ambiental através de abordagens geotécnicas, para atender aos objetivos básicos do trabalho, com o intuito de compreender os fenômenos ambientais que propiciaram o adensamento demográfico e suas atuais conseqüências no meio físico local. Neste sentido, a elaboração de produtos cartográficos, que fornecem um conjunto de informações sobre o meio natural, subsidiou propostas e diretrizes para auxiliar modelos adequados do planejamento territorial desta região.

Para o desenvolvimento do trabalho utilizou-se como apoio à pesquisa bibliográfica, os trabalhos de campo e as etapas laboratoriais com a utilização de geotecnologias através do uso da cartografia digital como base para a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), e o Sensoriamento Remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite). O Geoprocessamento é utilizado como subsídio para análises e tomadas de decisões relacionadas às fragilidades e potencialidades do meio físico e biológico, relacionadas à utilização deste espaço territorial, considerando a disponibilidade dos recursos naturais da região.

A determinação da área como objeto de estudo fundamentou-se em razão de alguns fatores, relacionados abaixo:

- A região apresenta uma diversidade significativa de estruturas do meio físico, e, portanto, as formas de ocupação e utilização deste espaço territorial devem ser levadas em consideração, estabelecendo assim formas adequadas e menos agressivas ao meio natural, com planejamentos e modelos gestores eficientes para a região;

- Pelo forte potencial de utilização de recursos naturais que apresenta a região, devido às crescentes demandas humanas, e, principalmente, os recursos hídricos e hidrogeológicos, utilizados atualmente para abastecimento público, industrial e agropecuário. Considera-se que tais recursos hídricos vêm perdendo significativamente sua qualidade em função de questões operacionais e administrativas que se contrapõem às formas mais adequadas de uso e ocupação do espaço territorial;

- Pelo forte adensamento populacional que vem sofrendo a região, sobre locais que representam graus diferenciados de fragilidade ambiental. Evidencia-se que estes locais tem sido ocupados desordenadamente, ocasionando a perda do equilíbrio natural e favorecendo a instabilização deste importante ecossistema.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral integrar estudos do meio físico, biológico e humano, considerando indicadores naturais de fragilidade ambiental, entre eles os aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos estabelecendo, um conjunto de informações geotécnicas teóricas e cartografadas. Neste contexto os objetivos específicos deste trabalho são listados abaixo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Possibilitar a elaboração das cartas de fragilidade e zoneamento ambiental, com intenção de subsidiar propostas e novos conceitos pertinentes ao planejamento e gestão territorial, utilizando para tanto o cruzamento de informações do meio físico como indicadores ambientais para uso e ocupação do solo respeitando a suscetibilidade aos processos de instabilidade natural e emergente da região;

- Estabelecer mecanismos adequados e eficientes para administradores, planejadores e técnicos, através do suporte de informações integradas sobre o meio físico e biológico, associados às atividades humanas, e suas respostas frente às

formas de uso e ocupação do espaço territorial através de um banco de dados teóricos e cartografados em meios gráficos e alfanuméricos georreferenciados e inter-relacionados. Utilizando para tanto as concepções da Geologia Ambiental associada as Geotecnologias com os mecanismos do Geoprocessamento através dos Sistemas de Informações Geográficas e das técnicas do Sensoriamento Remoto;

- Concretizar modelos propositivos para a (re) organização e gestão ambiental do território através do planejamento e ações mitigadoras e de recuperação, conservacionistas e restritivas a curto, médio e longo prazo, favorecendo a sociedade e o sistema ambiental de um modo geral.

## 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área estabelecida como objeto de estudo compreende a bacia hidrográfica do Alto Iguaçu em seu curso superior. Nela encontram-se os tributários formadores do rio Iguaçu no Estado do Paraná, responsáveis por grande parte do abastecimento público de água tratada de Curitiba e parte da região metropolitana no seu entorno. O recorte espacial é constituído pelos divisores de água, formadores da bacia hidrográfica apresentando uma área de 565 Km<sup>2</sup>, localizando-se a oeste o Planalto de Curitiba e a leste os contrafortes ocidentais da Serra do Mar. Suas coordenadas geográficas e planas (m), utilizando-se o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e datum SAD-69 (*South American Datum*) são: Figuras 1 e 2.

Extremo norte, longitude 49°12'55" w e latitude 25°16'26" s;

Extremo sul, longitude 49°03'12" w e latitude 25°37'08" s;

Extremo oeste, longitude 49°12'08" w e latitude 25°29'08" s;

Extremo leste, longitude 48°57'27" w e latitude 25°29'17" s.

Extremo norte, X – 679718; Y – 7203514;

Extremo sul, X - 695478; Y – 7165088;

Extremo oeste, X – 680704; Y – 7180064;

Extremo leste, X – 705722; Y – 7179769.

O acesso à região se faz profusamente por estradas federais (BR-116 e BR-277), estaduais e municipais, inserindo-se a área da bacia hidrográfica, total ou parcialmente, nos municípios de Campina Grande do Sul, Colombo, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras e São José dos Pinhais, integrantes de parte da Região Metropolitana de Curitiba no Estado do Paraná, região sul do território brasileiro.

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU (PR)

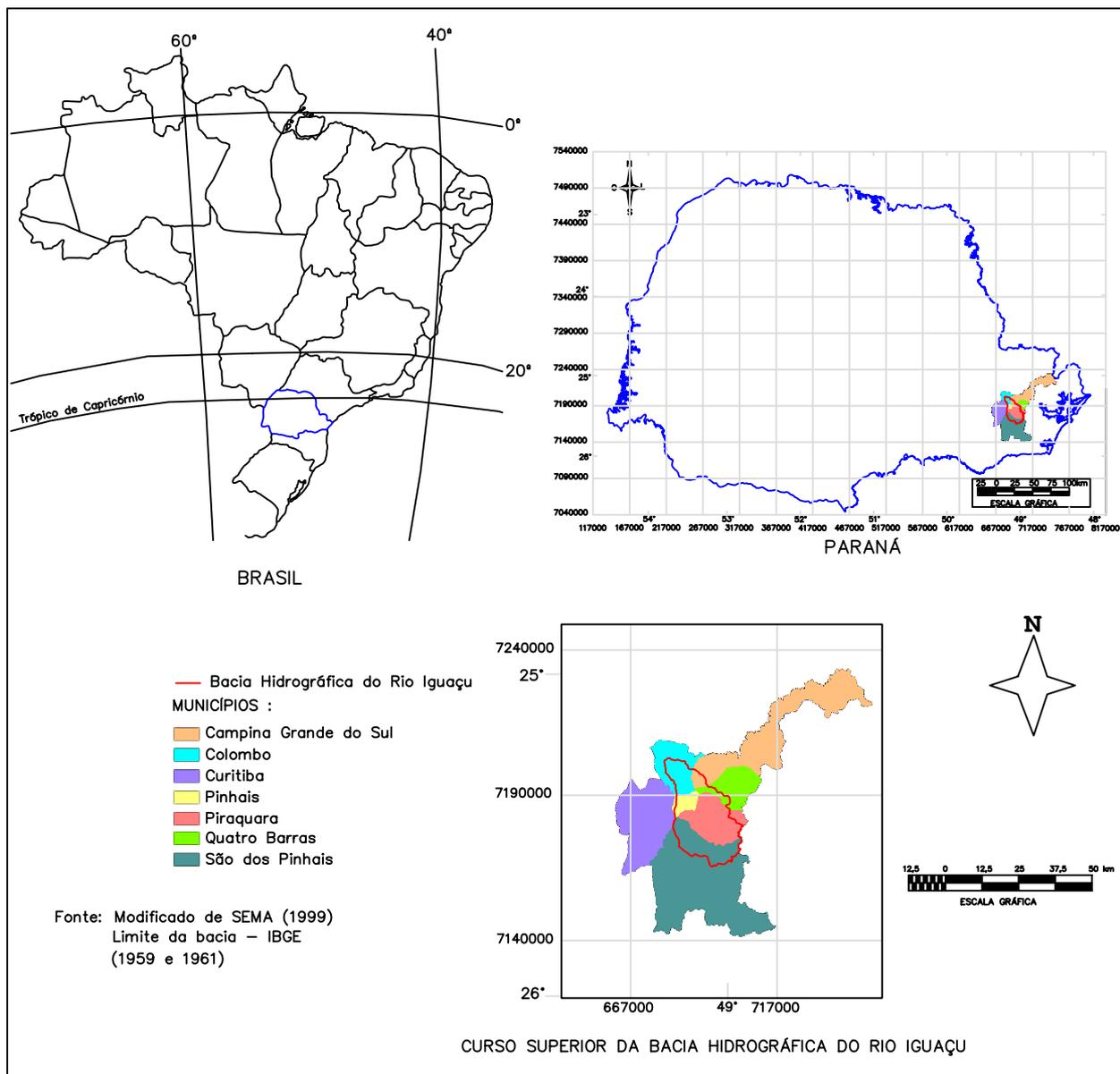
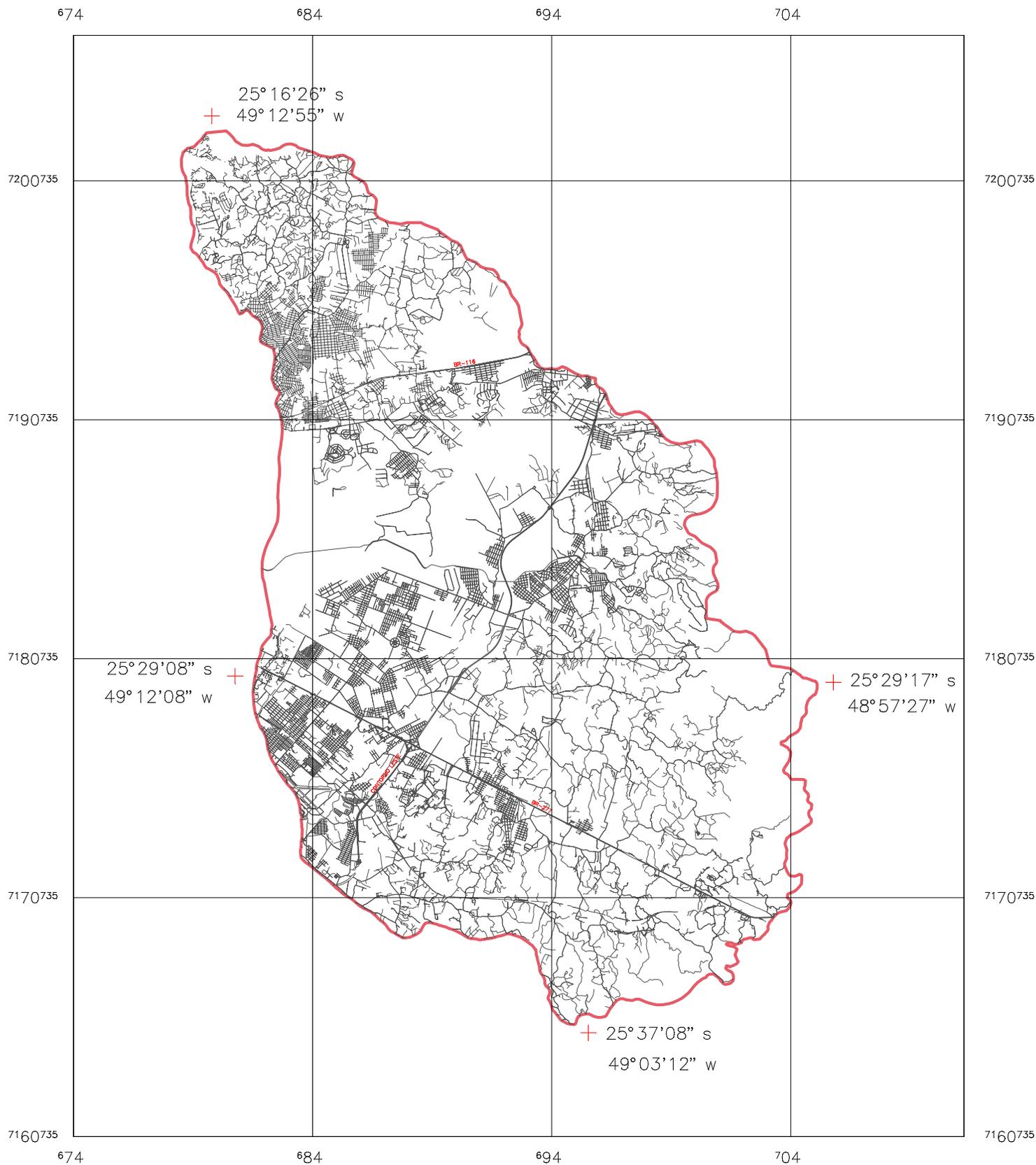


FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA E VIAS DE ACESSO



LEGENDA:

— Limite da Bacia

— Malha Viária



Fonte: modificado de IBGE (1959 E 1961)  
SUDERHSA (2000)

### 3. EMBASAMENTO TEÓRICO CONCEITUAL

#### 3.1 A PAISAGEM, O ESPAÇO GEOGRÁFICO E OS RECURSOS NATURAIS COMO EMBASAMENTO PARA ESTUDOS AMBIENTAIS.

Assumindo-se as questões ambientais como objeto de estudos, torna-se evidente a importância da observação e percepção da integridade e distribuição dos elementos que, de maneira conjuntural, compõem o sistema ambiental, considerando suas particularidades funcionais e localização espacial.

Considerando-se a capacidade da observação e percepção humana, sobressai-se em primeiro plano a paisagem, a qual, segundo DOLFUSS (1973, p. 13), é composta e formada por elementos geográficos, que se articulam uns em relação aos outros, pertencendo em geral ao domínio abiótico, como o substrato geológico, o relevo, o clima, o solo e as águas. Outros, porém são pertencentes ao domínio vivo, tais como a biosfera, formado pelo conjunto das comunidades vegetais e animais que nascem, se desenvolvem e se desintegram utilizando o suporte constituído pelo domínio natural abiótico.

Com toda sua capacidade transformadora, considera-se o homem como ator decisivo, que, instalado nos domínios naturais, transforma e altera o meio, modificando consideravelmente os elementos componentes da paisagem, que se encontram organizados desigualmente frágeis e mutáveis.

Para a interpretação da paisagem que constitui o aspecto visível e sensitivo, diretamente perceptível do espaço, é necessário considerar as variáveis de tempo e espaço, além das transformações ocorridas por processos naturais de evolução ou induzidas por atividades humanas. Considerando estas modificações, DOLFUSS (1991, p. 31-33) classifica as paisagens em três grandes grupos:

- A paisagem natural, que representa a expressão visível de um meio que não sofreu modificações, ou seja, não foi submetido recentemente a ação do homem. Trata-se de regiões inadequadas para a fixação e realização das atividades humanas em razão de suas competências ou obstáculos naturais;
- A paisagem modificada, que já sofreu de algum modo à interferência das ações humanas, direta ou indiretamente, causando a ruptura do equilíbrio ecológico;

- As paisagens organizadas, que representam o resultado de ações mediatas, combinadas e contínuas sobre o meio natural, inserindo nos mesmos elementos artificiais.

Ao localizar e delimitar-se arbitrariamente uma determinada paisagem, considerando o agrupamento total ou parcial de seus elementos e de suas funções naturais e ou artificiais, é possível defini-la como um espaço geográfico. Desta forma, o espaço geográfico é fundamentalmente uma paisagem ou o conjunto de paisagens, que se pode localizar através de coordenadas e permite ser representada através da cartografia, possibilitando assim situar os fenômenos e esquematizar seus componentes através de uma escala pré-determinada, guardando suas particularidades.

Segundo DOLFUSS (1991, p. 09-10) o espaço geográfico é diferenciado por sua localização e pelo jogo de combinações que preside a sua evolução, onde todo elemento do espaço e toda a forma de paisagem constituem fenômenos únicos, os quais jamais podem ser encontrados exatamente iguais em outros locais ou em outros momentos. Ao analisar o espaço localizado e diferenciado, ao tempo em que aponta aquilo que constitui a originalidade de seu domínio, é possível identificar, simultaneamente, os elementos de comparação capazes de permitir o reagrupamento em grandes famílias, dos principais dados, formas, sistemas e processos. É possível, então, considerar o espaço geográfico como abordagem fundamental para estudos multivariados enfocando a correlação das competências e disponibilidades dos elementos ambientais com as necessidades humanas, criando um vínculo que é sumariamente determinado pela distribuição, ocorrência e/ou acesso aos recursos naturais de um determinado recorte espacial.

Para DOLFUSS (1991, p. 37-38), os “recursos naturais” de um determinado espaço só adquirem valor pecuniário, cultural ou ambiental em função de uma sociedade, de uma determinada época e de técnicas de produção e exploração determinadas, ou seja, estão na dependência de uma modalidade de produção e da conjuntura de uma época. Assim, considerando as diferentes épocas e técnicas, um mesmo recurso oferece possibilidades diferentes de utilização.

As disponibilidades dos recursos, além de sua utilização, diferem também em relação direta de quantidade, qualidade e facilidades de exploração ou viabilidade econômica para seu uso parcial ou total.

Os recursos podem ser classificados em dois grandes grupos: os renováveis e os não renováveis. Segundo BRAGA *et al.* (2002, p. 05) os recursos renováveis se constituem naqueles que depois de serem utilizados, tornam-se novamente disponíveis em virtude dos ciclos naturais. E os recursos não renováveis, uma vez utilizados, não podem mais ser reaproveitados.

No entanto há de se considerar que o limite entre estas duas categorias de recursos não é muito claro, pois esta classificação depende, principalmente, do horizonte de planejamento da forma de utilização dos recursos ambientais, das tecnologias disponíveis, da perspectiva de novas tecnologias, do custo de exploração e da sua valoração pela sociedade (SETTI *et al.*, 2001, p. 21).

A exemplo disto considera-se a água como um recurso renovável pela sua capacidade de recomposição em quantidade, através principalmente do ciclo hidrológico, e por sua possibilidade em diluir poluentes funcionando como um solvente. No entanto sua classificação como renovável torna-se limitada pelo seu uso inadequado, ocasionando alterações na sua disponibilidade pela quantidade limitada existente e pela sua falta de qualidade apresentada em razão de grandes descargas de poluentes sólidos e líquidos.

### 3.2 BACIA HIDROGRÁFICA, RECURSO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO PARA USO CONSULTIVO

Considera-se atualmente o recorte espacial, determinado por uma bacia hidrográfica, como um modelo adequado para se delimitar um espaço geográfico. Esta exatidão na definição de um limite, considerando os elementos integradores das características geológicas, biológicas e sociais, de uma determinada região, favorece significativamente o desenvolvimento de pesquisas ambientais, de gestão e planejamento e de desenvolvimento econômico.

Esta facilidade em delimitar uma bacia hidrográfica é dada pelas suas próprias características físicas, principalmente o relevo. Segundo OLIVEIRA e BRITO (1998 p. 104):

Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem de um rio, até a seção considerada, ou exutório, é a área de drenagem que contém o conjunto de cursos d'água que convergem para esse rio, até a seção considerada, sendo portanto, limitada em superfície a montante, pelos divisores de água, que correspondem aos pontos mais elevados do terreno e que separam bacias adjacentes. O conjunto de cursos d'água, denominada rede de drenagem, está estruturada, com todos os seus canais, para conduzir a água e os detritos que lhe são fornecidos pelos terrenos da bacia de drenagem.

É importante esclarecer, no entanto que, internamente aos divisores da bacia hidrográfica, pode ocorrer elevações isoladas com cotas de altitude superiores aos divisores topográficos que delimitaram a própria bacia hidrográfica, fato que representa importância significativa se se considerar a dinâmica interna da bacia, no que diz respeito à troca de fluxos de materiais e de energia no sistema.

Associado à definição de bacias de drenagem pode-se encontrar também o termo manancial, relevante em razão das funções estipuladas aos rios formadores da rede de drenagem da bacia. Para a SPVS (1999, p. 03) atribui-se o nome de "manancial" aos corpos d'água, superficial e/ou subterrâneo utilizados como recursos para abastecimento. Desta forma considera-se "bacia hidrográfica de manancial" a área localizada à montante do ponto de captação para abastecimento, delimitada pelos divisores topográficos das superfícies de escoamento e pelo conjunto dos canais de escoamento perenes ou efêmeros que compõem sua rede de drenagem.

A delimitação de bacias hidrográficas representa a unidade básica para estudos multivariados, porém ela é fundamental para a hidrologia, que segundo GUERRA (1997, p. 337), representa a ciência que estuda as diferenciadas formas de ocorrência, circulação e distribuição de águas existentes na superfície terrestre em seus ambientes naturais, considerando o balanço hídrico e o ciclo hidrológico. A hidrologia, também se preocupa em estudar a taxa pela qual as águas superficiais são afetadas pelas atividades humanas, incluindo o manejo dos recursos hídricos e efeitos danosos da ação do homem, sobre os processos hidrológicos.

Ao focar o tema da quantidade e qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica, é importante, igualmente, considerar suas características hidrogeológicas, uma vez que os rios são alimentados, em parte, pelas águas de escoamento superficial e, em parte, pelas águas de percolação em subsuperfície (nível freático), e em outros casos por água subterrânea de maiores

profundidades por exemplo, através das áreas de surgências em lineamentos estruturais.

De acordo com GUERRA (1997, p. 336), a hidrogeologia é o estudo dos recursos relativos a ocorrência de águas subterrâneas, associados às informações geológicas. Através da hidrogeologia são cartografadas as informações relativas à existência de aquíferos, bem como a localização de recursos hídricos existentes em diferentes litologias, além das nascentes e respectivas descargas.

Dentre todas as possíveis utilidades do recurso água, sejam de uso consultivo ou não consultivo, sem dúvida sua mais nobre função é a de abastecimento público. Segundo SETTI *et al.* (2001, p.45) os usos gerados em toda sua extensão nas cidades, vilas e pequenos núcleos urbanos, com a finalidade de abastecimento doméstico, comercial, público e industrial, são considerados urbanos. Assim, a demanda urbana de água é a somatória da demanda doméstica, e outras, praticamente inseparáveis desta, referentes às atividades que dão origem ao núcleo urbano: indústria, comércio, prestação de serviços públicos e privados.

É notável a pressão que vem sofrendo a natureza, em função do crescimento descontrolado dos grandes centros urbanos, comprometendo a disponibilidade dos recursos naturais, principalmente a água. Segundo ANDREOLI *et al.* (1999, p. 19) um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento das cidades é a disponibilidade da água, tanto em qualidade como em quantidade. A região Metropolitana de Curitiba, atualmente, apresenta um incremento na demanda da ordem de 300 l/s ano, índice este que poderá aumentar em função do acréscimo da urbanização local.

A forte pressão ocasionada pelo aumento do adensamento populacional e toda a estrutura urbana a ele ligado, vêm afetando significativamente o sistema ambiental, trazendo como conseqüências prejuízos ecológicos, sociais e econômicos.

Desta forma ao realizar estudos tomando como unidade básica bacias hidrográficas de mananciais, é importante que a mesma, no caso das abordagens ambientais, sejam tratadas como sistemas ambientais, nos quais os elementos ali inseridos representem um conjunto de unidades e processos energéticos que estão vinculados de forma indissociável, e qualquer alteração em uma unidade ou em um de seus processos poderá provocar comprometimento de todo o sistema.

### 3.3 SISTEMAS AMBIENTAIS

Considera-se sistema o conjunto de elementos e suas respectivas relações e atributos. Esta definição ampla e genérica serve tanto para os sistemas naturais, como também para sistemas artificiais. Ao atribuir-se a especificidade ambiental ao sistema, este passa a ter como conjunto de elementos os aspectos físicos, químicos, biológicos e humanos, havendo uma conexão complexa de seus elementos com o meio ao qual estão ligados, ou seja, sua estrutura e espacialização.

MOREIRA (1990, p. 186) define um sistema ambiental como os processos e interações do conjunto de elementos e fatores que o compõem, ali se incluindo, além dos elementos físicos, biológicos e sócio-econômicos, os fatores políticos e institucionais.

Em estudos direcionados ao enfoque ambiental, considerando a abordagem sistêmica, é de fundamental importância, a focalização e definição da grandeza do mesmo. Segundo CHRISTOFOLETTI (1979, p. 03) ao se conceituar os fenômenos como um sistema, uma das principais atribuições e dificuldades consiste em identificar os elementos, seus atributos e suas relações, com a intenção de delinear com a máxima clareza possível a extensão abrangida pelo sistema em foco.

Quanto a sua grandeza, esta se relaciona a sua magnitude de abrangência, ou seja, está ligada diretamente à área de influência imposta pelos seus elementos e suas correlações, mesmo que alguns de seus atributos sejam de ordem global como as influências climáticas, é importante classificá-lo em meso, macro ou micro sistema.

Para CHRISTOFOLETTI (1979, p. 04), ao definir qual o sistema a ser investigado, uma vez definido seus elementos e suas relações, torna-se viável delimitá-lo no espaço e assim distinguir as suas unidades componentes, interligadas pelas suas relações internas, estabelecendo também os sistemas ambientais controlantes que atuam sobre este sistema através das correlações externas.

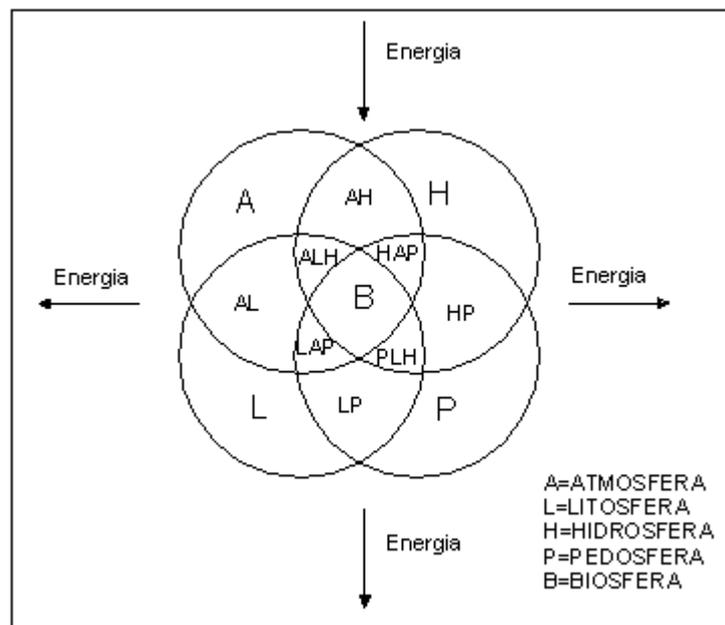
Porém, há de se considerar que, mesmo o sistema ambiental definido e espacializado segundo critérios estabelecidos para um determinado espaço geográfico, e intenções específicas de estudo voltadas para uma problemática pré-estabelecida, com objetivos já definidos, é necessário considerar os elementos sistêmicos como parte integrante de um sistema maior, onde se correlacionam os

aspectos da biosfera com as demais esferas terrestres, caracterizando desta forma os geossistemas.

### 3.3.1 Geossistemas

Entende-se geossistema como, a correlação existente entre os aspectos abióticos, que integram e constituem o meio estrutural natural em suas variadas extensões e particularidades, que permitem o desenvolvimento, a perpetuação e a evolução de espécies vivas em usufruir desta estrutura, inclusive os seres humanos. O geossistema compreende a organização dos elementos fundamentais e controladores dos subsistemas que, para efeito de sistematizar e melhor entender as correlações, é dividido em esferas específicas constituindo desta forma a litosfera, hidrosfera, atmosfera e pedosfera, propiciando a existência da biosfera (Figura 3).

FIGURA 3 – ESTRUTURA SISTÊMICA DA GEOESFERA TERRESTRE



FONTE: Modificado de MELO (1995)

De acordo com as proposições de SOTCHAVA<sup>1</sup>, citado por MELO (1995, p.02) os geossistemas são definidos da seguinte forma:

<sup>1</sup> SOTCHAVA, V. B. **Introduction á la science des géosyatèmes**. Nauka (Sib. Otd.), Novosibirsk, 1978 (en russe)

São sistemas territoriais naturais que se distinguem na envoltura geográfica, em diversas ordens dimensionais, generalizadamente nas dimensões regional e topológica. São subsistemas da envoltura geográfica sendo ela própria um geossistema de nível planetário. Assim a “*Geographical Cover*”, durante a sua longa e complexa história de desenvolvimento, deu lugar a diversas condições naturais que, independentemente da ação humana, organizaram-se num elaborado sistema de complexos físico-geográficos (geossistemas). São constituídos de componentes naturais inter-condicionados e inter-relacionados em sua distribuição, desenvolvendo-se, no tempo, como parte do todo. Caracterizam-se por suas condições lito-estruturais, seu relevo, o clima, as águas subsuperficiais e superficiais, os solos, as comunidades vegetais e animais e por seu funcionamento e sua dinâmica, numa interação complexa.

Porém, mesmo considerando as esferas sistêmicas como dimensões globais de elementos e fenômenos, é importante que se esclareça, que uma abordagem geossistêmica pode apresentar diferenciadas escalas, as quais são definidas em função dos objetivos propostos em cada trabalho. Segundo SOTCHAVA<sup>2</sup> citado por ROUGERIE e BEROUTCHACHVILI (1991, p. 59), os geossistemas além de representarem sistemas naturais, tem ocorrência em nível local, regional ou global, considerando as diversas particularidades que compõem as subdivisões da superfície terrestre, estando interconectados pela troca de materiais e energia na sua integridade interna e sua envoltura.

Através da abordagem geossistêmica é possível avaliar de maneira organizada todas as modificações que se estabelecem no meio terrestre. Para VEADO e TROPMAIR (2001 p. 379-382), a estrutura do espaço geográfico e sua hierarquia estão em constante processo de alteração, em maior ou menor velocidade, ocasionada pela importação e exportação de matéria e energia. As transformações se estabelecem em função dos processos naturais, e daqueles decorrentes das atividades humanas. Desta forma, os geossistemas são dinamizados por inúmeros fatores ambientais, porém, o uso da terra atual sobressai-se como o mais importante, pois esta situação específica modifica constantemente a organização espacial do território. Estas modificações resultam da interconexão dos fatores ambientais, variando sua intensidade, segundo a resistência que o fator impõem às mudanças.

---

<sup>2</sup> SOTCHAVA, V. B. **Introduction á la science des géosyatèmes**. Nauka (Sib. Otd.), Novosibirsk, 1978 (en russe)

Outro fator, a ser considerado nas abordagens sistêmicas, são as relações específicas dos seres vivos com toda a estrutura ambiental, inclusive com o meio biótico que se encontra no mesmo sistema, concretizando assim a importância dos ecossistemas.

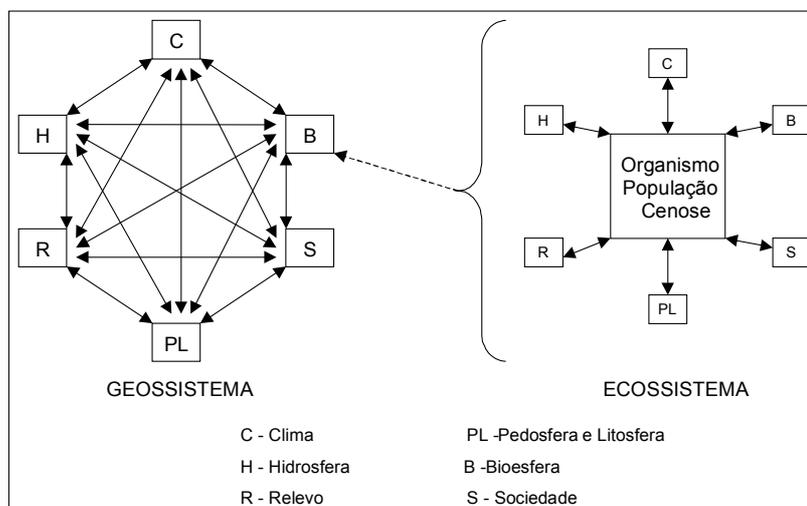
### 3.3.2 Ecossistemas

O ecossistema constitui uma forma de abordagem integrada, que tem como principal foco os seres vivos, suas relações e as condições impostas pelo conjunto de elementos abióticos que constituem os diversificados ambientes terrestres. Para ODUM (1988, p.09):

O ecossistema é a unidade básica na ecologia, pois inclui tanto os organismos quanto o ambiente abiótico; cada um desses fatores influencia as propriedades do outro e cada um é necessário para a manutenção da vida, como a conhecemos na Terra. Este nível de organização deve ser nossa primeira preocupação se quisermos que a nossa sociedade inicie a implementação de soluções holísticas para os problemas que estão aparecendo agora ao nível do bioma e da biosfera.

É comum em alguns segmentos científicos classificar o ecossistema como um sinônimo do geossistema, no entanto é fundamental que se esclareça que constituem abordagens diferenciadas em relação ao estudo sistêmico de um espaço pré-determinado como observado na Figura 4.

FIGURA 4 – FLUXOGRAMA ESTRUTURAL DO GEOSSISTEMA E DO ECOSSISTEMA ELABORADO POR PREOBRAJENSKI



FONTE: extraído de ROUGERIE e BEROUTCHACHVILI (1991)

Segundo MELO (1995, p. 02) ecossistemas e geossistemas não são sinônimos. Em ecossistemas as relações e processos examinados têm relação com os organismos, onde por vezes se estudam somente as relações ecológicas e as peculiaridades estruturais da biocenose, sem considerar os elementos abióticos, sendo que estes se examinam sob os aspectos das relações com o organismo; assim sendo, o ecossistema biocêntrico, é estudado para conhecer as propriedades dos próprios organismos. Já o geossistema pode ser classificado como um sistema policêntrico, sendo as investigações funcionais mais amplas ao abordar todas as relações no complexo natural. No entanto existem casos em que os limites espaciais do ecossistema e do geossistema coincidem, porém tal coincidência é espacial e não conceitual.

A função essencial em se trabalhar sob a ótica sistêmica, considerando o geossistema e o ecossistema, vinculados a uma determinada região consiste em estabelecer e avaliar qual o grau de equilíbrio em que se encontram os mesmos. Para ALMEIDA e TERTULIANO (2000, p. 116), o equilíbrio de um sistema consiste no ajustamento integral de suas variáveis internas às condições externas. Ou seja, as formas e seus atributos apresentam valores dimensionais em consequência das influências exercidas pelo ambiente, o qual controla a qualidade e quantidade de matéria e energia a fluir pelo sistema.

Delimitando-se uma bacia hidrográfica como unidade básica para estudos ambientais, é essencial que se adote a visão sistêmica procurando estabelecer seu grau de equilíbrio. De acordo com ALMEIDA e TERTULIANO (2000, p.117):

Em uma bacia hidrográfica, por exemplo, as condições climáticas, litológicas, biogeográficas e outras vão condicionar a estruturação de determinada rede de drenagem e de determinadas formas de relevo. Alcançando o estado de estabilidade, a geometria de rede fluvial e a da morfologia encontram-se em perfeito estado de equilíbrio e só sofrerão modificações se porventura houver alterações nas variáveis condicionantes.

Uma vez identificado o grau de modificações estabelecidas em um determinado sistema, por processos naturais ou induzidos, é possível estabelecer o quanto seu equilíbrio vem sendo afetado, e desta maneira utilizar estratégias adequadas para a manutenção e ou reorganização do mesmo. Desta forma, evidencia-se a importância em se considerar os geossistemas, ou ecossistemas e por vezes ambos, nas abordagens ambientais que tenham como principal objetivo

desenvolver e aplicar técnicas de planejamento e gestão territorial, procurando uma melhor utilização dos recursos disponíveis de forma menos impactante possível, considerando o equilíbrio natural do sistema.

### 3.4 PLANEJAMENTO E GESTÃO TERRITORIAL AMBIENTAL

Atualmente é notável a preocupação da humanidade pela escassez que apresentam determinados recursos naturais, pela sua quantidade ou qualidade, considerando-se que alguns destes recursos são indispensáveis à manutenção da vida.

Esta escassez proeminente deriva, entre outras causas, da inadequada utilização dos recursos, e pelo forte adensamento populacional em nível mundial, provocando, principalmente nos grandes centros urbanos problemas ambientais relacionados ao aumento populacional.

Nas grandes concentrações urbanas a demanda por recursos é maior, sendo necessária toda uma estrutura que deve ser organizada para atender as necessidades destes núcleos sociais. O problema consiste na associação desta demanda às transformações e implementações de estruturas para atender tais necessidades sendo que, as principais transformações são estabelecidas na construção das cidades, provocando uma profunda desorganização do sistema ambiental. Segundo ROSS (1997, p. 14):

Parece extremamente óbvio que qualquer interferência na natureza, pelo homem, necessita de estudos que levem ao diagnóstico, ou seja, a um conhecimento do quadro ambiental onde se vai atuar. No entanto, isto não é tão lógico aos leigos quanto possa parecer aos estudiosos e cientistas em geral. Os grandes projetos para a implantação de usinas hidro e termoeletricas, rodovias, ferrovias, assentamentos de núcleos de colonização, expansão urbana, reassentamento de população face aos programas de reforma agrária, instalações portuárias, mineração, indústrias, entre outros são atividades que interferem de modo acentuado no ambiente, quer seja ele natural ou já humanizado.

Considerando que tais interferências podem levar a resultados ambientais e sociais indesejados, é de extrema importância o desenvolvimento e a aplicação de programas de planejamento e gestão territorial, de forma a minimizar o confronto entre a ocupação do solo com as disponibilidades e competências do meio, de forma a haver a correção através de programas de prevenção.

Segundo ROSS (1997, p. 16) o ambiente pode ser comparado à questão da saúde, onde é importante ter uma postura voltada mais para o preventivo que para o corretivo. É mais fácil e viável economicamente, prevenir-se das doenças do que curá-las. Na natureza certamente o custo da prevenção de acidentes ecológicos e da degradação generalizada do ambiente é, também, bem menor que o da recuperação. Isto porque determinados recursos naturais, uma vez utilizados de forma inadequada ou deteriorados, tornam-se irrecuperáveis. Assim sendo, torna-se imperativa a elaboração dos diagnósticos ambientais, bases para a elaboração de prognósticos que permitam o estabelecimento de diretrizes de uso dos recursos naturais do modo mais racional possível, minimizando a deterioração da qualidade ambiental. Estabelece-se, desta forma, planejamento adequado de gestão territorial ambiental.

Para URBAN (2002, p. 50) “gestão ambiental, é a forma de administrar a apropriação e uso dos recursos ambientais; adequando as atividades produtivas à capacidade de reposição desses recursos, de modo a assegurar sua perenidade; instrumento indispensável para o planejamento”.

Planejamento ambiental segundo GALLOPIN<sup>3</sup>, citado por MOREIRA (1990, p. 157):

É a proposta e a implementação de medidas para melhorar a qualidade de vida presente e futura dos seres humanos, através da preservação e do melhoramento do meio ambiente, tanto em seus aspectos localizáveis (espaciais), como não localizáveis. O planejamento ambiental do território enfatiza os aspectos localizáveis e espacialmente representáveis, levando em conta, porém, a possível incidência de fatores não localizáveis.

Ressalta-se que, para a elaboração de programas de planejamento e gestão ambiental territorial, é importante considerar, em função de diretrizes metodológicas específicas, alguns conceitos e definições. No caso da proposta apresentada neste trabalho, deverá ser considerado os aspectos relacionados à geologia ambiental, à fragilidade ambiental e ao zoneamento ambiental, como instrumentos conceituais técnicos metodológicos, para estabelecer propostas de planejamento e gestão territorial considerando a especificidade ambiental.

---

<sup>3</sup> GALLOPIN, G. **El ambiente humano y planificación ambiental**. Madrid. Centro Internacional de Formación en Ciencias del Ambiente, 1981. 30 p.

### 3.4.1 Geologia Ambiental

A geologia ambiental representa atualmente um desdobramento da ciência geológica, que tem como premissa fundamental organizar e discutir a ocorrência litológica, sua estrutura e seus processos, interconectados com outros elementos da natureza, considerando suas respostas frente às disponibilidades e modos de utilização no contexto da sociedade humana. Isto também vale para os fatores naturais de riscos geológicos que coloquem em risco o equilíbrio ambiental e a integridade dos seres humanos. A geologia ambiental visa também estabelecer mecanismos que possam planejar a utilização de recursos evitando ao máximo desencadear processos de instabilização ambiental.

Para GUERRA (1997, p. 298), de modo simplificado, a geologia ambiental consiste na aplicação dos conhecimentos geológicos à resolução de problemas decorrentes da ocupação humana na superfície terrestre.

No entanto, esta definição pode ser ampliada, considerando que a previsão de impactos, fundamentado em conhecimentos pré-estabelecidos da ocorrência e estruturação geológica, possibilita adotar planos adequados de manejo e gestão ambiental frente à sua utilização. Segundo MORAIS (1991, p. 132):

Geologia ambiental é a aplicação da informação geológica para resolver conflitos ambientais, objetivando minimizar as degradações adversas ao meio ambiente ou tirar o máximo proveito das condições resultantes do uso do ambiente natural ou modificado. Envolve, portanto os problemas geológicos que afetam e são afetados pelo homem.

Tomando-se os conhecimentos geológicos para estudos ambientais através de seus princípios e metodologias é importante entre outros fatores considerar os aspectos da geologia estrutural os quais possibilitam dimensionar com eficácia possíveis riscos geotécnicos além de identificar importantes reservas de recursos minerais. Conforme MACHADO e SILVA (2000, p. 400):

O estudo e reconhecimento das estruturas geológicas possuem importância científica e prática. Do ponto de vista científico, os estudos em geologia estrutural têm mostrado que nosso planeta é dinâmico e que vivemos sobre placas litosféricas de dimensões continentais, que se movem de maneira lenta e contínua. Esta movimentação é, em grande parte, responsável pela formação das estruturas geológicas. Do ponto de vista prático, muitas destas estruturas são responsáveis pelo armazenamento de hidrocarbonetos (petróleo e gás), água, minérios etc. São importantes também em obras de engenharia civil, onde o levantamento das estruturas geológicas constitui a base para as grandes obras de engenharia, como barragens, pontes, túneis, estradas etc.

O reconhecimento das estruturas e ocorrências geológicas representa importância relevante nos estudos hidrológicos visto que o comportamento e os padrões de drenagem das águas superficiais e subterrâneas estão diretamente relacionados com estes elementos. Para JORGE e UEHARA (1998, p. 106) a permeabilidade relativa do terreno e os controles exercidos pelas estruturas e pelos tipos de rocha que determinam a infiltração e movimentação das águas subterrâneas são indicativos dos padrões de drenagem. Tomando conhecimento da tipologia dos padrões, é possível fazer algumas interpretações sobre a natureza dos terrenos, a disposição das camadas, os planos de falhas e os processos fluviais. Podendo estes parâmetros ser utilizados como indicadores para estudos geológicos ambientais.

Tais considerações conceituais objetivam, em primeiro plano, identificar problemas já estabelecidos em função da apropriação e utilização dos recursos geológicos. Porém, evidencia-se que em razão das respostas diferenciadas apresentadas nas condições ambientais naturais ou já modificadas, é possível estabelecer o maior ou menor grau de fragilidade que possa representar o ambiente frente ao modo de uso e ocupação do espaço e dos recursos nele inseridos. Desta maneira é possível adotar atitudes mitigadoras bem como medidas visando evitar certos tipos de degradação ambiental.

É neste contexto específico que o cabedal sistematizado e aplicado dos conceitos e definições da geologia ambiental deve participar, ou seja, além de resolver problemas já estabelecidos, dimensionar meios eficazes, restritivos e compatibilizados com as adversas potencialidades de fragilidade ambiental, evitar que o problema venha acontecer, ou na pior das hipóteses, se este já existir, encontrar as melhores formas de reversão e mitigação do mesmo.

### 3.4.2 Fragilidade Ambiental

O termo fragilidade ambiental refere-se, à avaliação do grau de interferências e respostas que possam apresentar determinados sistemas ambientais, em razão de processos naturais ou induzidos pelas atividades do homem, considerando a instabilização de seus elementos naturais ou já modificados e/ou seus processos de fluxos de energia e matéria. De acordo com MOREIRA (1990, p. 104):

O conceito de fragilidade diz respeito à susceptibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano, inclusive à poluição. Daí a definição de ecossistemas ou áreas frágeis como aqueles que, por suas características, são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência e pouca capacidade de recuperação.

A fragilidade ambiental normalmente é associada ao modo de uso e à ocupação do ambiente e da exploração dos recursos naturais. Assim, toda a ação do homem sobre a natureza terá um reflexo diferenciado em função da composição e distribuição dos elementos que, em conjunto, compõem o sistema. Há de se considerar que cada sistema é único e, assim, refletirá de forma diferenciada a dinâmica de transformação ambiental em função dos processos naturais ou induzidos pelas atividades do homem.

Segundo ROSS (1996, p. 291) “os sistemas ambientais naturais, face às intervenções humanas, apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características genéticas.” Considera-se que a princípio, com exceção de algumas regiões, os ambientes naturais mostram-se ou apresentam estado de equilíbrio dinâmico, até que as sociedades humanas comecem progressivamente a intervir com maior intensidade na apropriação dos recursos naturais locais.

Para que se estabeleça o grau de fragilidade de um determinado ambiente é necessário considerar a integração de todos os elementos e processos formadores da natureza. Através de estudos integrados, é possível então eleger qualitativamente e ou quantitativamente indicadores que demonstrarão as potencialidades dos recursos naturais e da fragilidade ambiental. Para ROSS (1996, p. 316):

O conhecimento das potencialidades dos recursos naturais de um determinado sistema natural passa pelos levantamentos dos solos, relevo, rochas e minerais, das águas, do clima, da flora e fauna, enfim, de todas as componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e ao homem. Para análise da fragilidade, entretanto, exige-se que esses conhecimentos setorizados sejam avaliados de forma integrada, calcada sempre no princípio de que na natureza a funcionalidade é intrínseca entre as componentes físicas, bióticas e sócio-econômicas.

A vulnerabilidade ambiental é outro termo utilizado para caracterizar a quantificação que uma determinada área ou território apresenta, em relação à instabilidade natural ou induzida dos elementos e processos formadores do sistema ambiental, ou sua fragilidade frente ao modo de utilização e ou exploração do espaço.

A importância em se estabelecer indicadores eficientes para quantificar e qualificar o grau de fragilidade ambiental setorizado, consiste na determinação de áreas através de zoneamentos ambientais, estabelecendo-se modelos adequados de uso e exploração dos recursos naturais com o menor grau possível de geração de impactos e de instabilização do sistema ambiental.

### 3.4.3 Zoneamento Ambiental como mecanismo para o planejamento territorial

O princípio fundamental do zoneamento ambiental consiste na delimitação de áreas em função de suas competências naturais, frente às diferenciadas formas de uso e exploração dos recursos ambientais. Em razão destas competências um determinado sistema pode apresentar modelos diferenciados para uso e ocupação do solo, tais como a urbanização com todas as estruturas fundamentalmente a ela relacionadas, as atividades agrosilvopastoris com suas vertentes e as áreas de restrição ao uso para conservação de determinados recursos, seja em quantidade, qualidade ou ambos. Conforme citado em MOREIRA (1990, p. 207):

O zoneamento ambiental foi declarado como um dos instrumentos da política Nacional do Meio Ambiente (inciso II, artigo 9.º, Lei n.º 6.938 de 31.08.81). Em trabalho realizado pelo corpo técnico da FEEMA, como contribuição à regulamentação dessa lei, o zoneamento ambiental é definido como 'a integração sistemática e interdisciplinar da análise ambiental ao planejamento dos usos do solo, com objetivo de definir a melhor gestão dos recursos ambientais identificados'.

O zoneamento ambiental constitui-se atualmente como um dos mais adequados mecanismos para o planejamento, gestão e reordenação ambiental, para evitar a exaustão de recursos naturais, e minimizar os efeitos degradantes do meio físico e biológico dos sistemas naturais ou já modificados pelas atividades humanas. É através do planejamento que é possível traçar modelos adequados de planos gestores territoriais, determinando-se a melhor forma de uso e ocupação do solo.

Segundo SETTI *et al.* (2001, p. 179) a definição do planejamento é constituída por procedimentos organizados com função de escolher as melhores alternativas para atingir determinados fins. Considera-se assim, que o processo de planejamento, em uma acepção geral, se desenvolve através de uma seqüência de etapas, distinguindo-se a formulação de objetivos, diagnóstico, levantamento de dados, elaboração de planos alternativos, comparação de alternativas e, por fim, decisão, programação, implementação e controle.

Para a organização dos procedimentos voltados ao planejamento, considerando uma ótica territorial, é importante considerar a amplitude do processo, que pode se dar em nível nacional, regional e local, além da temporalidade onde se considera o curto, médio e longo prazo.

É fundamental que tais processos sejam realmente aplicados através de políticas eficazes, para que os objetivos sejam atingidos com êxito e na sua maior amplitude possível, favorecendo a sociedade através da utilização e apropriação mais adequada do meio ambiente. Assim evita-se o desperdício e exaustão ou comprometimento da qualidade dos recursos naturais, principalmente em se tratando dos recursos hídricos, fundamentais para a existência e perpetuação da vida biológica e ao desenvolvimento econômico de uma região. Segundo SETTI *et al.* (2001, p. 179):

Para que o processo seja eficiente, é necessário assegurar a clara definição da política a se aplicar em cada nível de decisão, garantir ampla e livre troca de idéias nos sentidos descendente e ascendente da hierarquia da administração pública e das várias entidades interessadas nas ações de planejamento dos recursos hídricos. Além disso, é importante estimular a circulação horizontal de propostas e contrapropostas entre os vários departamentos do Estado, procurando evitar a criação de compartimentos estanques apenas com ligação aos níveis hierárquicos mais elevados.

Atualmente o desenvolvimento geotecnológico, tem contribuído substancialmente para os estudos ambientais de um modo geral, mas principalmente para a definição de políticas voltadas ao planejamento e zoneamento ambiental, procurando estabelecer uma relação harmônica e sustentável dos recursos ambientais em níveis atmosféricos, geológicos, pedológicos, biológicos e hidrogeológicos.

### 3.5 GEOTECNOLOGIAS

A geotecnologia representa um conjunto de métodos e técnicas trabalhadas em equipamentos mecânicos com aplicações da física, bem como eletrônicos através de informações matemáticas e alfanuméricas, visando acelerar processos, armazenar e manipular informações e obter resultados mais satisfatórios e eficientes com menor esforço do trabalho físico humano.

O termo geotecnologia engloba um cabedal tecnológico com aplicações específicas voltadas para os fatores e elementos formadores da geosfera, compreendendo assim todas as esferas terrestres, compostos pelos elementos, geológicos, físicos, químicos, biológicos e humanos, além dos processos envolvidos na dinâmica ambiental do planeta. Segundo SILVA (1999, p. 35):

A tecnologia é a ciência dos meios (Scruton, 1982) e a geotecnologia é a arte e a técnica de estudar a superfície da terra e adaptar as informações às necessidades dos meios físicos, químicos e biológicos. Fazem parte da geotecnologia o Processamento Digital de Imagens (PDI), a Geoestatística e os SIGs.

Atualmente o conjunto de procedimentos geotecnológicos, através do Sensoriamento Remoto, o Geoprocessamento e a Geoestatística, representam ferramentas fundamentais para os estudos ambientais, e principalmente no que diz respeito ao planejamento e gestão territorial.

Através destas ferramentas é possível representar as características estruturais do meio físico considerando à integração sistêmica construindo cenários virtuais que, possibilitam avaliações multitemporais relacionadas aos modelos de uso e ocupação do solo. Igualmente é possível a construção de cenários com projeções futuras, favorecendo a tomada de decisões que evitem impactos degradantes do meio ambiente e a exaustão de recursos naturais.

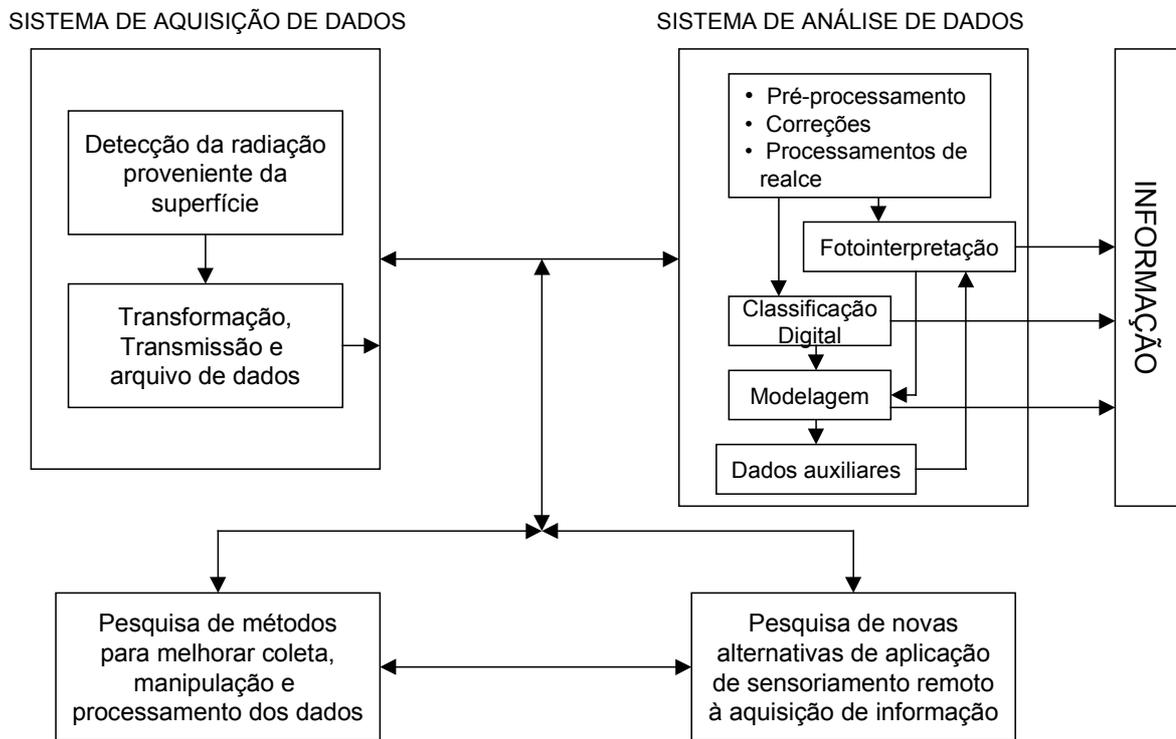
### 3.5.1 Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens (PDI)

O sensoriamento remoto, com suas técnicas e equipamentos sensores, constitui atualmente importante função nas avaliações e análises ambientais, uma vez que representam os diferentes níveis da paisagem geográfica em diferenciadas escalas, possibilitando uma visualização integrada dos atributos físicos e fenomenológicos, naturais e ou artificiais.

Para NOVO (2002, p. 01-08) o Sensoriamento Remoto consiste na utilização de sensores para a aquisição de informações de objetos e fenômenos sem que, no entanto, haja entre eles contato direto. Os sensores representam equipamentos que possibilitam coletar e converter a energia proveniente do objeto em sinais passíveis de serem registrados e representados na forma adequada à extração das informações. Através da utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, entre outros, objetiva-se estudar o ambiente terrestre, por meio do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem a superfície terrestre. Isto pode ser visualizado no fluxograma da Figura 5.

Os três principais produtos adquiridos através do sensoriamento remoto que podem subsidiar as avaliações e análises ambientais são: a fotografia aérea, as imagens de radar e as imagens de satélites, os quais permitem os registros atuais e multitemporais com informações de registros pretéritos.

FIGURA 5 – COMPONENTES BÁSICOS DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO



Fonte: NOVO (2002)

Especificamente no estudo dos recursos hidrológicos, tais técnicas representam fundamental importância quando associadas a outros recursos tecnológicos e conhecimentos pré-estabelecidos deste complexo subsistema ambiental. Segundo NOVO (2002, p. 268):

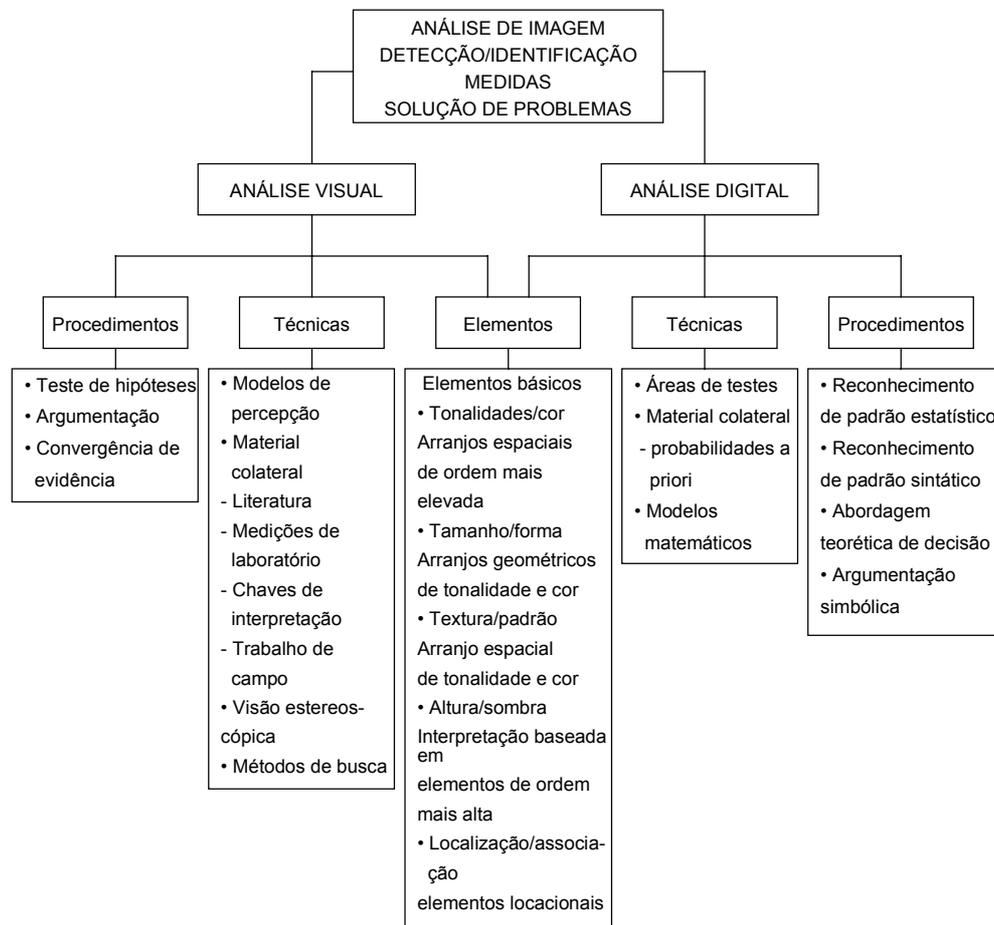
Atualmente, os dados de Sensoriamento Remoto são incorporados ao estudo de recursos hídricos por meio de três formas: a) análise qualitativa de imagens e fotografias aéreas, que permite a identificação de alterações locais na cor e no volume de água de rios, reservatórios etc.; b) mapeamento de superfícies líquidas, identificação de falhas, fraturas etc.; c) análise quantitativa, que permite o estabelecimento de modelos que relacionam medidas pontuais a propriedades espectrais da água.

É possível também, tomando como delimitação uma bacia hidrográfica, analisar o grau de modificações estabelecidas no sistema em detrimento das ações e empreendimentos rurais, industriais e urbanos, relacionados aos aspectos culturais da superfície terrestre, avaliando o comprometimento causado a disponibilidade e qualidade do recurso hídrico nas suas variadas formas de utilização.

Para tanto é necessário integrar a experiência da acuidade visual do pesquisador com trabalhos supervisionados de campo, considerando-se a escala definida para a realização e objetivos do estudo (Figura 6). Segundo NOVO (2002, p. 251):

A percepção visual refere-se ao processo de estimulação sensorial que permite transformar a imagem detectada pela retina em uma informação com conteúdo organizado. O processo de percepção visual é a base do processo de interpretação de imagens. Ele começa com a detecção do objeto como um todo, depois esse todo é decomposto analiticamente num processo de identificação do objeto em relação a uma dada categoria. Essa identificação implica em relacionar as propriedades do objeto (forma, tamanho, volume, cor, textura e localização) com as características do “ambiente” em que se encontra. Todas estas “atividades” são realizadas instantaneamente no processo de percepção visual.

FIGURA 6 – ESQUEMA CONCEITUAL DO PROCESSO DE ANÁLISE DE IMAGENS



Fonte: ESTES<sup>4</sup> *et al.* (1983) citados por NOVO (2002)

<sup>4</sup> ESTES, J. E.; HAJIC, E. J.; TINNEY, L. R. Fundamentals of Image Analysis: Analysis of Visible and Thermal Infrared Data. In: COLWELL, R. N. (ed.) **Manual of Remote Sensing**. Fall Church, A.S.P. V II, Cap. 24, p. 987-1124, 1983.

Os trabalhos supervisionados de campo dependem necessariamente dos objetivos propostos ao estudo, bem como das possibilidades de acesso aos pontos de interesse estratégico.

As informações obtidas em campo associadas às informações geradas pelos processos e técnicas do Sensoriamento Remoto, correlacionadas entre si, podem ser trabalhadas conjuntamente com outras tecnologias para a composição sistemática e ordenada de informações técnicas e culturais, quantitativamente e qualitativamente, estabelecendo suporte adequado ao desenvolvimento do estudo. Este tipo de análise requer, para sua consolidação científica, a correlação com a análise geoestatística, no procedimento de avaliação, comportamento e distribuição dos elementos e fenômenos relacionados ao ambiente em questão.

### 3.5.2 Geoestatística

A quantificação e tratamento estatístico de informações são de relevante importância no contexto das ciências ambientais, pois se torna possível avaliar o comportamento dos elementos e fenômenos através de sua frequência, variância e distribuição sistemática. Condiciona elaborar parâmetros matemáticos que ajudam a elucidar os fatos do passado, compreender o presente e tecer considerações para modelagens futuras.

A geoestatística, associada a métodos computacionais representa uma evolução substancial das Geociências, aumentando a capacidade de se trabalhar com um maior número de variáveis e acelerando o processo no tratamento das informações. Contribui na veracidade e agilidade das respostas, à solução de problemas formulados através da quantificação e espacialização de dados geológicos.

A geoestatística pode ser usada com eficiência, segundo LANDIM (1998, p. 218), nas seguintes linhas:

- Transformação de informações e observações geológicas em números;
- Estimativa de distribuições espaciais;
- Interpolação e extrapolação de valores em mapas;
- Quantificação de erros;
- Análise de áreas de riscos;

- Orientação de planos de amostragem;
- Integração de diferentes tipos de dados;
- Modelagem de processos geológicos.

Constitui-se desta forma, em uma metodologia extremamente útil para a análise de dados com distribuição espacial, não dispensando, no entanto o conhecimento geológico inerente a estes dados.

Porém, é necessário tomar cuidado na aquisição das informações de relevância para estudos geológicos específicos, para que não ocorra o sombreamento ou desvirtuação dos resultados esperados. Compete então ao pesquisador elaborar criteriosamente a maior quantidade possível de observações segundo os objetivos propostos, para então organizá-los numericamente para possibilitar às análises, classificações e interpretações geoestatísticas adequadas. Conforme LANDIM (1998, p. 33):

Quando se dispõe de um grande número de observações, torna-se extremamente difícil a sua compreensão pela simples leitura dos valores colocados em tabelas. Enquanto não organizados numericamente, os dados são considerados brutos. Há necessidade, portanto, de organizá-los, seja por seleção, agrupamento ou divisão proporcional, a fim de que, após resumidos, possam ser facilmente manuseados.

Uma vez realizados corretamente os procedimentos geoestatísticos, no que diz respeito à aquisição, organização, classificação e espacialização das informações de forma numérica, torna-se possível à interpretação e a construção de gráficos explicativos de ocorrência de elementos ou fenômenos ambientais, podendo estas informações ser utilizadas com eficiência no planejamento e gestão dos recursos naturais.

Obtendo-se resultados geoestatísticos adequados, os mesmos podem ser integrados às tecnologias do geoprocessamento, permitindo a composição de informações distribuídas em mapas de diversas naturezas, bem como construção de banco de dados correlacional através do sistema de informações geográficas.

Os materiais produzidos através desta integração são fundamentais e de grande importância na elaboração de programas de planejamento e gestão territorial, bem como na forma mais adequada e menos agressiva de apropriação e utilização dos recursos naturais.

### 3.5.3 Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG's)

A contínua pressão exercida sobre a disponibilidade e dependência de recursos naturais pelo homem, e o espaço territorial para acomodação de suas atividades, atribuem aos estudos dos sistemas ambientais conotações cada vez mais relevantes. Neste contexto fundamenta-se a crescente necessidade da elaboração e utilização de metodologias, e o uso de geotecnologias como suporte indispensável para a integração e espacialização de informações, voltadas para as avaliações das ocorrências e comportamento dos elementos e fenômenos que em conjunto constituem a esfera terrestre.

O Geoprocessamento constitui-se em uma ferramenta valiosa para estudos de sistemas ambientais, proporcionando a construção de um banco de dados com informações teóricas e cartografadas em meios gráficos e alfanuméricos georreferenciados e inter-relacionados, com a utilização de técnicas matemáticas e computacionais. Para SILVA (2001, p. 12):

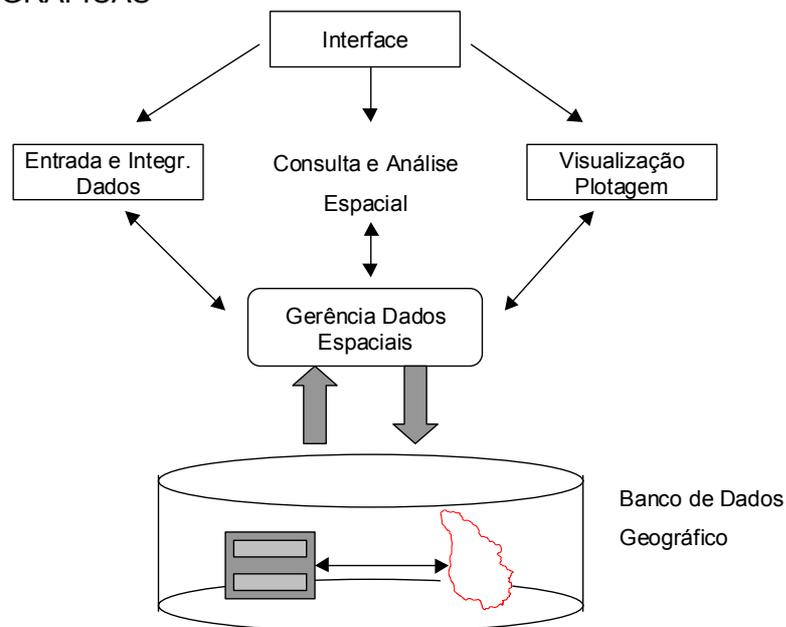
O Geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante, deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação. Uma destas estruturas é a visão sistêmica, na qual a realidade é percebida como composta por entidades físicas ou virtuais, os sistemas identificáveis, que se organizam segundo diversos tipos de relacionamento, entre os quais ressaltam, para as investigações ambientais, as relações de inserção (hierarquias), justaposição (proximidade/contigüidade) e funcionalidade (causalidade). Segundo esta perspectiva, a realidade ambiental pode ser, portanto, percebida como um agregado de sistemas relacionados entre si.

Através das diferentes tecnologias que em conjunto constituem o Geoprocessamento, importante conotação se atribui ao Sistema de Informações Geográficas (SIG's), que devido ao seu poder de armazenamento e manipulação de informações georreferenciadas, apresenta-se como ferramental tecnológico fundamental no desenvolvimento de estudos de aplicação ambiental. Conforme SILVA (1999, p. 27):

Os Sistemas de Informações Geo-referenciadas ou Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI) e da Geoestatística.

Os Sistemas de Informações Geográficas apresentam-se organizados respeitando uma arquitetura própria, onde existe a interface com usuários, a entrada e integração de informações e dados, a consulta e análise de informações espacializadas, visualização e plotagem de informações cartográficas e temáticas e o armazenamento, recuperação, gerenciamento e manipulação de dados através de um banco de dados geográfico relacional conforme Figura 7.

FIGURA 7 – ARQUITETURA INTERNA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS



Fonte: modificado de ASSAD e SANO (1998)

Especificando o estudo dos recursos hídricos, tomando como recorte espacial os limites topográficos que constituem uma bacia hidrográfica, esta pode ser considerada como um sistema ambiental, no qual as aplicações de um SIG tornam-se eficientes. Estes podem ser perfeitamente aplicados com êxito, no que diz respeito ao planejamento e gestão desse importante recurso natural, que vem sendo cada vez mais deteriorado em razão da utilização inadequada desse sistema.

Segundo ASSAD e SANO (1998, p. 119), os cursos d'água no Brasil, vem sofrendo de forma constante e crescente a contaminação, através da inadequada utilização e preservação dos recursos naturais existentes ao seu redor. Com freqüência estas águas transportam solos com as águas das chuvas, ocasionando problemas de ordem ambiental e econômica. As águas superficiais vêm sendo progressivamente poluídas, comprometendo também o nível freático, reduzindo assim sua disponibilidade para irrigação e para abastecimento público.

Dimensiona-se, desta forma, a importância da realização de estudos integrados, deste indispensável recurso natural e todas extensões ambientais a ele ligadas. Para CALIJURI *et al.* (1998, p. 168), no gerenciamento de recursos naturais, especialmente dos recursos hídricos, os SIG's podem ser utilizados como uma ferramenta de inventário, permitindo um melhoramento no gerenciamento desses recursos, um aumento da proteção contra o desenvolvimento especulativo e a modelagem da complexa interação entre os fenômenos e as tomadas de decisões.

No entanto, é importante esclarecer sobre a grande complexidade, ao se trabalhar com as informações do meio físico, químico, biológico e humano, enfocando um elemento específico como, por exemplo, os recursos hídricos, que influenciam e são influenciados por todos os outros elementos e fenômenos que constituem o sistema ambiental, por conexões complexas e multivariadas. Segundo CALIJURI (1998, p. 168):

A implementação de um SIG que vise diagnosticar e gerenciar estudos hidrológicos e hidrogeológicos exige a obtenção e manipulação de uma grande variedade de informações, tais como, parâmetros hidrológicos básicos, geologia, cobertura vegetal, climatologia, uso da água, dentre outras. Este banco de dados deve incluir características como, rede de transportes; limites municipais; erosão; escoamento de água subterrânea; produtividade de culturas, etc. Para o sucesso da implementação destes é importante considerar as características fundamentais de um Banco de Dados Ambientais que são a natureza normalmente estatística dos dados, processo de atualização pouco freqüente e resolução espacial relativamente baixa.

Desta forma fundamenta-se a importância da aplicação das geotecnologias, na elaboração de programas de planejamento e gestão territorial, com vistas à acomodação das atividades humanas na forma mais adequada de uso do solo, bem como a melhor maneira de apropriação e utilização dos recursos naturais evitando o desperdício e a exaustão dos mesmos. Contribuindo significativamente com os administradores, planejadores, técnicos e sociedade de modo geral, no que diz respeito à (re) organização, do espaço territorial com melhor aproveitamento do mesmo, evitando ao máximo a degradação ambiental.

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

### 4.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados materiais, equipamentos e *softwares* adequados para a confecção dos produtos cartográficos e construção do banco de dados relacional, elaborados para análises e interpretações, com vistas ao planejamento e gestão territorial do recorte espacial. Destacando-se, os seguintes:

- Cartas topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em escala 1:50.000, folha São José dos Pinhais - SG-18-K-IV-2 de 1961 e folha Piraquara – SG-22-K-II-4 de 1959, para delimitação da bacia hidrográfica objeto de estudo, utilizando para tanto as curvas de nível, sendo a bacia delimitada através dos divisores topográficos;

- Carta de Solos em escala 1:50.000, compilado e elaborado por JACOBS (2002), para aquisição das classes e unidades do solo;

- Cartas Geológicas: carta em escala 1:50.000, elaborada por SALAMUNI *et al.*(1999), carta em escala 1:75.000 do ano de 1967, folha São José dos Pinhais e carta em escala 1:70.000, folha Serra da Igreja, ambas elaboradas pela Comissão da Carta Geológica (1969), para aquisição do ocorrência geológica e suas estruturas;

- Carta Planialtimétrica do ano de 2000, cedida pela SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), como base digital da hidrografia existente na área, malha viária e as curvas de nível para retratar o relevo. Este material foi restituído a partir das fotografias aéreas do ano de 2000 em escala 1:30.000;

- Dados orbitais para acompanhamento da dinâmica espaço-temporal da paisagem, sendo utilizadas imagens de satélite Landsat dos sensores TM5 (Thematic Mapper) e ETM+7 (Enhanced Thematic Mapper Plus), com resolução de 30 x 30 m, órbita/ponto 220/78, de 18/07/1994, 24/06/1997, novembro de 2000 e 02/09/2002, onde através destas imagens pôde-se observar a dinâmica ocupacional ocorrida no recorte espacial, ao longo de uma série temporal;

- Fotografias aéreas, também no intuito de realizar a dinâmica têmporo-espacial, sendo utilizadas fotografias aéreas de 17/09/1980 em escala 1:25.0000 executadas pela Empresa Aerosul S. A. e de 07/06/2000 em escala 1:30.000 executadas pela Empresa Base S. A.. Possibilitando desta forma realizar as análises e interpretações da dinâmica ocupacional da paisagem através de uma série temporal de 20 anos;

- Equipamentos:

- a) Para aquisição de pontos de controle em campo, para georreferenciar as imagens de satélite e para auxiliar a interpretação do uso e cobertura do solo, foram utilizados receptores GPS (Sistema Global de Posicionamento), modelos Garmin ETREX e Garmin 48, para aquisição de coordenadas do Sistema de Projeção UTM, utilizando o datum SAD-69,

- b) Para delimitação da bacia hidrografia e elaboração das cartas de solo e geologia, foi necessária a realização do procedimento de digitalização, utilizando para tanto mapas analógicos e mesa digitalizadora;

- c) Para orientação em campo e para elaboração de croquis dos pontos de controle, utilizou-se bússola;

- d) Máquina fotográfica para a composição do acervo fotográfico referente aos pontos de controle, alocados no recorte espacial;

- e) Para rasterizar, ou seja, transformar em meio digital as fotografias terrestres e as aéreas, utilizou-se *scanner* de mesa;

- *Softwares:*

- a) Para digitalização e edição das cartas de solo e geologia, além da delimitação do recorte espacial, utilizou-se o AutoCad Release 14, elaborado pela Autodesk®, *software* de ambiente CAD (*Computer Aided design*).

- b) Para rasterizar as fotografias terrestres e aéreas, utilizou-se o Corel Photo-Paint versão 9.0 e para armazená-las e visualizá-las, utilizou-se o CorelDRAW versão 9.0, ambos elaborados por Corel Corporation e Corel Corporation Limited ®;

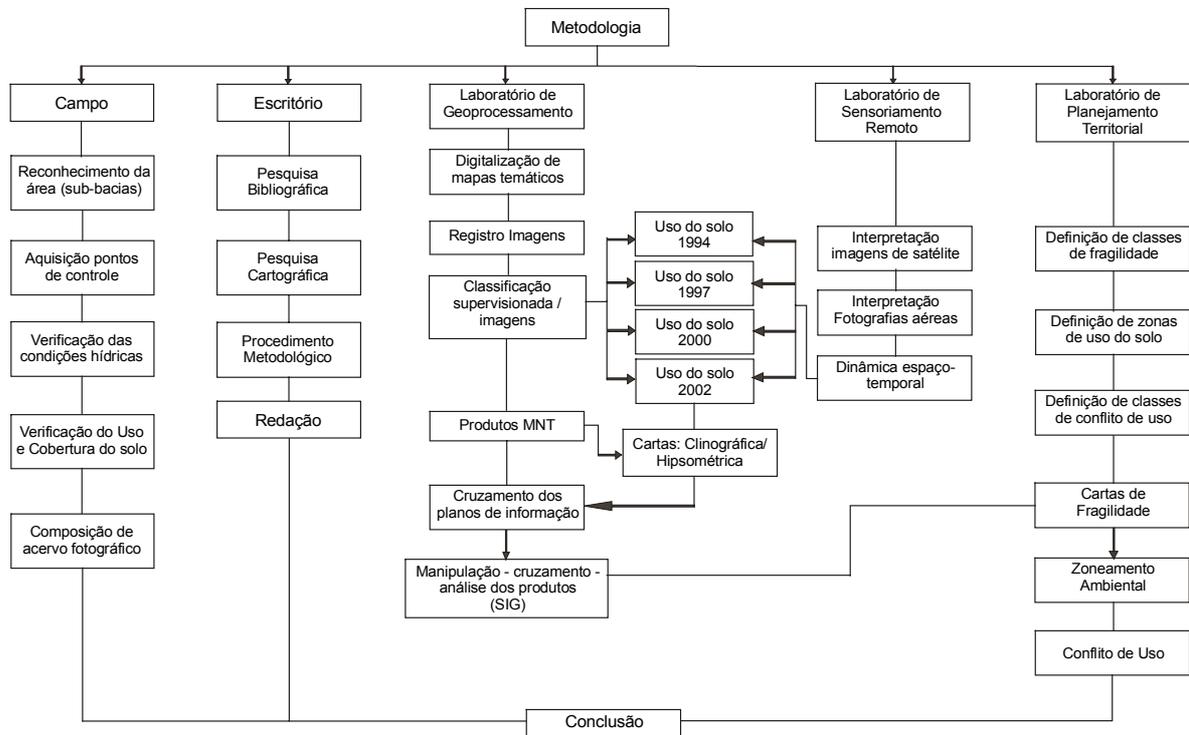
c) Para elaboração dos produtos cartográficos, registro (georreferenciamento) das imagens de satélite, cruzamento entre os mapas, armazenamento e manipulação no banco de dados relacional, utilizou-se o SPRING versão 4.0, elaborado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), *software* em ambiente SIG.

## 4.2 METODOLOGIA

Para atingir os resultados conclusivos do trabalho, foi necessário construir um banco de dados teóricos e cartografados em meios gráficos e alfanuméricos georreferenciados e inter-relacionados, utilizando para tanto as geotecnologias através do geoprocessamento com a utilização fundamental dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), e a utilização das técnicas do Sensoriamento Remoto, procurando estabelecer mecanismos eficazes para a discussão de conceitos já estabelecidos e produzir produtos temáticos cartografados como base para análise e formulação de novos conceitos direcionados ao planejamento e gestão territorial.

No fluxograma da Figura 8 observa-se as etapas de trabalho que foram desenvolvidas para estruturação, análise e conclusão da pesquisa, constituindo as etapas de campo, escritório e laboratórios.

FIGURA 8 – FLUXOGRAMA ESTRUTURAL DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA



- **Etapa campo:**

Para o desenvolvimento desta etapa elaborou-se fichas de campo para padronizar e organizar a coleta de informações com o intuito de sistematizar a pesquisa, neste fichário contém as informações de: localidade, sub-bacia, data, hora, seqüência de fotografias aéreas, coordenadas geográficas (latitude e longitude), coordenadas planas (m) (x e y), altitude (m) (z), condições climáticas (tempo atmosférico), morfoestrutura, estrutura geológica, características da cobertura pedológica, características da cobertura vegetal, condições dos recursos hídricos, modelo de ocupação, uso e cobertura do solo e acervo fotográfico da área (Anexo).

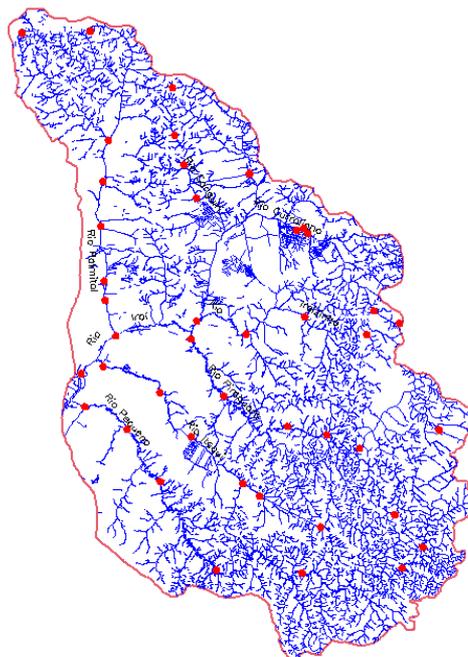
O reconhecimento da área de estudo, ocorreu em sub-bacias que foram divididas com o intuito de sistematização e melhoria na coleta e manipulação das informações, sendo divididas em: Iraí, Palmital, Piraquara, Itaqui, Pequeno, Iraizinho, Currealinho e Canguiri;

A aquisição de pontos de controle foi realizada para georreferenciar as imagens de satélite, para auxiliar na elaboração da carta de uso e cobertura do solo atual e na verificação das condições ambientais de cada sub-bacia. Desta forma foram escolhidos pontos ao longo dos rios (Iraí, Palmital, Piraquara, Itaqui, Pequeno, Iraizinho, Curralinho e Canguiri) (Tabela 1), em locais estratégicos como a nascente ou sua proximidade, locais com adensamento demográfico, ocupações em áreas de várzea, áreas de exploração, áreas industriais, áreas agrícolas e na foz ou sua proximidade (Figura 9).

QUADRO 1 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE DAS SUB-BACIAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

Sub-bacia	Nº de pontos de controle	Distância percorrida (km)	Acervo fotográfico
Iraí	04	170	15
Palmital	08	120	31
Piraquara	06	150	16
Itaqui	07	150	12
Pequeno	07	150	13
Iraizinho	03	100	13
Curralinho	05	110	22
Canguiri	03	100	16

FIGURA 9 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE AO LONGO DAS SUB-BACIAS (Figura ilustrativa sem escala definida)



A verificação das condições hídricas ocorreu em cada ponto de controle, onde foi observada a condição ambiental em que se encontrava o rio, sendo estas condições relacionadas às formas de utilização do espaço. Com estas informações foi possível realizar o diagnóstico de cada sub-bacia e prognósticos para a melhoria da qualidade dos recursos naturais principalmente da água, auxiliando na elaboração do zoneamento ambiental;

A verificação do uso e cobertura do solo ocorreu também como o item anterior, sendo analisado em cada ponto de controle, a observação dos modelos de ocupação de cada sub-bacia, contribuindo para os resultados do trabalho;

O acervo fotográfico foi constituído para armazenar e manipular as informações referentes às formas de utilização do espaço atual, uma vez que as imagens de satélite e fotografias aéreas, são de épocas pretéritas.

- Escritório:

A pesquisa bibliográfica foi realizada para estruturação do trabalho, auxiliando na construção do embasamento teórico, caracterização da área de estudo, materiais e diretrizes metodológicas, resultados e discussões e conclusões da pesquisa;

A pesquisa cartográfica foi realizada em diversos órgãos, onde através destes materiais pôde-se elaborar produtos finais de fragilidade ambiental, zoneamento ambiental e o conflito de uso atual;

O procedimento metodológico foi realizado baseando-se em pesquisas anteriormente realizadas e na necessidade de associar as características ambientais do recorte espacial ao uso das geotecnologias. Desta forma adotou-se a metodologia aplicada a estudos que utilizam os SIGs, aliado ao Sensoriamento Remoto, que atualmente são ferramentas imprescindíveis para os estudos ambientais.

Optou-se também em trabalhar com as metodologias de Fragilidade Ambiental de ROSS (1996) baseada a partir do conceito de Ecodinâmica (TRICART, 1977) e dos conceitos estabelecidos no Programa de Informações para Gestão Ambiental (THEODOROVICZ, 1994), procurando estabelecer as adaptações pertinentes à área de estudo e aos resultados esperados.

- Laboratório de Geoprocessamento:

a) Digitalização das cartas temáticas de geologia, solo e delimitação da bacia, utilizando o *software* AutoCad e mesa digitalizadora:

- Carta Geológica determinando a estrutura e classes litológicas da região, relativando-se informações pertinentes aos compartimentos geomorfológicos, morfoestruturais e modelos encaixantes da drenagem da região que associados a outras informações, como cobertura superficial possibilitou setorizar com graus diferenciados áreas com maior ou menor susceptibilidade à fragilidade;

- Carta de Solos, apresentando as diversificadas classes pedológicas e seu grau de evolução, sendo possível relacionar qual sua relação pedogenética e associando ao modelo do terreno, juntamente com o tipo de cobertura do solo, e outras características.

b) Os arquivos oriundos do ambiente CAD (AutoCad), e as informações planialtimétricas cedidas pela SUDERHSA em ambiente SIG (ArcView), foram convertidas para a extensão DXF (*Drawing Interchange File Formats* - Arquivo de intercâmbio de desenho), importando-se desta forma, todas as informações vetoriais para o ambiente SIG (SPRING);

- Carta Planialtimétrica, contendo informações da altimetria do terreno, rede viária e rede de drenagem superficial que auxiliou nas análises das edificações já estabelecidas, nos modelos de drenagem superficial da região e na altimetria da área de estudo, possibilitando a geração de novos produtos ressaltando o relevo e os graus de inclinação do terreno, a adequabilidade das estruturas já estabelecidas e quais as áreas mais favoráveis a novas implantações em função das potencialidades hídricas, geológicas e geomorfológicas da região.

c) Na estrutura interna do ambiente SIG no *software* SPRING, foi possível armazenar, manipular e realizar os cruzamentos das informações, através da seguinte normatização estrutural:

- criação e ativação de um banco de dados com nome específico para armazenar as informações do trabalho;

- criação e ativação de um projeto com nome específico, sendo necessária a escolha de um sistema de projeção e o retângulo envolvente da área, ou seja as coordenadas que abrangem a área de estudo;

- no modelo de dados foram criadas as categorias do trabalho: imagem, MNT, temático, objeto, cadastral, rede e não-espacial, específicas, pois as informações dependem destas categorias, não sendo possível ali manipular os dados vetoriais na categoria de imagem, e vice-versa;

- criação dos planos de informação, ou seja, as camadas de informações que compõem todo o sistema;

- a partir desta normatização foi possível importar os dados, registrar imagens, processar imagens, editar topologias, cruzar informações e até mesmo relacionar os dados vetoriais a um banco de dados alfanuméricos, entre outros. Todos estes passos foram realizados para a elaboração desta pesquisa.

d) O registro ou georreferenciamento das imagens consistiu em alocar nas imagens as suas coordenadas reais da superfície terrestre. Isto foi realizado através de pontos de controle, que se constituem em feições reconhecidas na imagem (confluências de estradas e rios, além de edificações, entre outros), e em bases auxiliares (carta topográfica, trabalho de campo e base digital existente). Para o registro das imagens neste trabalho, foram utilizadas informações locais obtidas nos pontos de controle adquiridas na fase de pesquisa de campo e também da base digital existente (carta planialtimétrica), possibilitando-se a elaboração das cartas imagens como base para avaliação multitemporal.

- A elaboração das Cartas Imagens obtidas a partir das bandas brutas de imageamento de satélite já registradas (composição colorida - RGB 543), sendo útil na verificação dos fenômenos distribuídos na área de estudo, sejam estes produtos do meio natural ou já modificado pela ação do homem, servindo também para a classificação dos elementos semelhantes distribuídos na área de estudo, possibilitando desta forma gerar a carta de uso e cobertura do solo, além de outros possíveis produtos;

e) Com a classificação supervisionada realizada sobre as imagens de satélite, foram obtidas as cartas de uso e cobertura do solo dos anos de 1994, 1997, 2000 e 2002.

Para a realização desta classificação, foram distribuídos pelas imagens pontos e/ou retângulos que consistem em pontos de controle, onde estes são alocados na imagem representando temas específicos da cobertura, ou seja, é indicado para o *software* de trabalho o que aquele *pixel* ou região representa na superfície terrestre. Através do comportamento espectral e com a utilização de um interpolador disponível no *software*, a leitura deste pixel ou região foi realizada, sendo desta forma interpretados e extrapolados, para toda a imagem, valores como aqueles identificados no pixel ou retângulo ou próximo deles. Ficando desta forma a imagem na sua totalidade classificada com os temas que foram anteriormente interpretados e que foram identificados em trabalho de campo.

As elaborações das cartas de uso e cobertura do solo deste trabalho foram realizadas utilizando o interpolador "máxima verossimilhança (maxver)", que é o método de classificação "pixel a pixel" mais comum. Considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Para que a classificação por máxima verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de "pixels", para cada conjunto de treinamento (INPE, 2003).

Através das cartas de uso e cobertura do solo foram obtidos os temas de: agricultura, campo/pastagem, corpos d'água, ocupação, solo exposto, vegetação e vias de acesso.

- Carta de Uso e Cobertura do Solo, através deste produto foi possível espacializar, quantificar, qualificar e determinar a cobertura do solo e as modalidades de ocupação e modificação do meio através das ações humanas, este produto foi gerado a partir de imagens de satélite brutas e composições de bandeamento;

f) Os produtos de MNT (modelo numérico do terreno) são destinados a representar a morfologia do relevo, determinando análises da vulnerabilidade do solo em relação às inclinações do terreno, que podem se tornar susceptíveis à erosão. Constitui-se em um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y), em um referencial qualquer, com atributos denotados de z (altitude), que descrevem a variação contínua da superfície (ASSAD; SANO, 1998 pg. 253). Para a elaboração dos produtos de MNT

devem ser seguidas três etapas: a aquisição dos dados, a geração das grades e a elaboração dos produtos finais.

Para aplicação neste trabalho, a aquisição refere-se às curvas de nível obtidas de restituição aerofotogramétrica com equidistância de cinco metros entre curvas. Em seguida os dados são submetidos à transformação representada por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno. No SPRING um MNT é criado na forma de uma grade de pontos regulares e irregulares. Sendo utilizada a grade irregular, onde cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Os produtos finais elaborados foram a carta de relevo sombreado, a carta clinográfica e a carta hipsométrica.

- Carta de Relevo Sombreado permite a análise da morfologia do relevo, podendo realizar compartimentações estruturais, verificar locais com maiores inclinações, ou seja, observar o comportamento morfológico das vertentes e fundos de vale do recorte espacial estudado;

- Carta de Clinografia, destinada a representar as inclinações do terreno, a qual juntamente com outros produtos pode indicar áreas susceptíveis à erosão, sendo confeccionada utilizando oito classes temáticas de passos variáveis (5 e 10 graus), iniciando entre 0 a 5 graus, até 86 graus, representando a inclinação máxima do terreno.

- Carta Hipsométrica, destinada a representar as interrelações do plano horizontal do terreno com suas variações altitudinais, tendo uma variação altimétrica entre 870 m a 1420 m s.n.m. com equidistância de 50 m.

- Laboratório de Sensoriamento Remoto:

- a) A interpretação de Imagens de Satélite ocorreu anteriormente, a realização da classificação supervisionada, onde a interpretação ocorreu para identificar temas existentes em cada imagem, além da interpretação da dinâmica espaço-temporal, identificando áreas com pressões referentes ao adensamento populacional e sua adequabilidade ao ambiente físico-biótico, trazendo consequências para os recursos naturais, mais especificamente a qualidade das águas;

b) Através da interpretação de fotografias aéreas dos anos de 1980 e 2000, realizou-se também a comparação da dinâmica ocupacional do recorte espacial ao longo da série temporal.

- A etapa de Fotointerpretação Multitemporal possibilitou realizar um acompanhamento histórico da evolução dos modelos de ocupação que se estabelecem na região, bem como quantificar o adensamento demográfico e quais as áreas que estão sofrendo maiores pressões em função da ocupação e uso do solo, para tanto foi utilizado um conjunto de fotografias aéreas em datas distintas.

- Laboratório de Planejamento Territorial:

Através da correlação e análise dos planos de informação foi possível obter alguns produtos:

a) Cartas de Fragilidade, obtidas através do cruzamento de informações espacializadas referentes aos temas geológicos, pedológicos, clinográficos, e de uso e cobertura de solo obtiveram-se os seguintes produtos:

- Fragilidade Litoestrutural; gerada através do agrupamento de classes litológicas com comportamento mecânico semelhante a respeito do grau de instabilidade natural frente aos diferentes graus de inclinação do relevo com possibilidades de potencialização de processos de movimentos de massa (rastejos, escorregamentos, quedas e corridas), subsidências e colapsos. Produto utilizado como base para a identificação e determinação das classes de fragilidade potencial.

- Fragilidade da Formação Pedológica; gerada a partir das classes taxonômicas de solos, com agrupamento de suas unidades presentes na área de estudo correlacionadas com os fatores de inclinação do relevo para avaliar possíveis respostas de instabilidades relacionadas a deslizamento de terras (corridas de lama e corridas de terra), processos de erodibilidade e erosividade, e potencialização para efeitos de assoreamento dos corpos d'água superficiais. Produto utilizado como fator para a determinação das classes de fragilidade potencial.

- Fragilidade Potencial; produto que determina graus diferenciados de instabilidade dinâmica dos elementos físicos da natureza em condições naturais dos sistemas ambientais. Classificação gerada a partir das inter-relações entre as classes de fragilidade litoestrutural e fragilidade da formação pedológica. Produto utilizado como base para a classificação da fragilidade emergente.

- Fragilidade Emergente; determinando graus de instabilidade dinâmica do sistema ambiental em detrimento do modelo de uso e cobertura do solo. Produto derivado do conjunto de informações da fragilidade potencial com os modelos de uso e cobertura do solo identificados na área de estudo com auxílio de produtos de sensoriamento remoto (imagem do ano de 2002).

b) Zoneamento ambiental;

- A elaboração do mapa de distância (*buffer*), também conhecido como mapa de análise de proximidades, foi construído a partir da rede de drenagem. O *buffer* foi gerado com distância de 0 a 500 m a partir dos rios principais. A função deste produto temático é proporcionar a interpretação da ocorrência ou não de mata ciliar e o dinamismo da ocupação indevida, ao longo das margens dos rios;

- Áreas amparadas por lei; determinadas por decreto lei pelo poder público para proteger ecossistemas considerados estratégicos para o bem comum limitando ou coibindo atividades econômicas, também foram consideradas na determinação da classificação do zoneamento ambiental.

c) Conflito de Uso; produto gerado através do cruzamento entre as classes de zoneamento ambiental e os modelos de uso e cobertura do solo identificados na região (2002) indicando formas de utilização e apropriação de espaço de formas adequadas sem e com restrições e ou inadequadas atualmente.

Os cruzamentos foram realizados a partir da programação LEGAL (Linguagem espacial para Geoprocessamento algébrico) no SPRING. A programação em linguagem LEGAL consiste de uma seqüência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operadores, funções e dados espaciais, distribuídos por categorias segundo o modelo de dados do SPRING. Uma programação em LEGAL é constituída de uma lista de sentenças que descreve um procedimento, isto é, um conjunto de ações sobre dados espaciais, que façam sentido no contexto de alguma disciplina de Sistema de Informações Geográficas, INPE (2000)<sup>5</sup> citado por LIMA (2003).

Na elaboração destes produtos utilizou-se a operação *booleana*, lógica simbólica desenvolvida pelo matemático inglês George Boole (1815-1864). A lógica *booleana* determina limites a partir de informações consideradas falsas, atributo 0 (zero), e verdadeiras, atributo 1 (um). A lógica *booleana* é extensivamente utilizada em SIG, pois permite correlacionar áreas que, possuindo simultaneidades, possam conduzir a desdobramentos operacionais (SILVA, 1999). A operação lógica do tipo A AND B retorna todos os elementos contidos na intersecção entre A e B sendo esta a operação utilizada para a confecção dos produtos de fragilidades, zoneamento ambiental e conflito de uso; A NOT B retorna somente os elementos exclusivamente em A; A OR B retorna todos elementos contidos tanto em A como em B; A XOR B retorna todos os elementos contidos em A e B não incluídos na intersecção de A e B (LIMA, 2003).

Para a obtenção dos cruzamentos através da programação em LEGAL, foram realizados os seguintes procedimentos:

a) Carta da Fragilidade Litoestrutural; produzida a partir do mapeamento das unidades e estruturas geológicas, as quais foram relacionadas em oito grupos correlacionados pelo seu comportamento dinâmico diante do grau de inclinação do relevo. Distribuídos na carta clinográfica os graus de inclinação apresentam fatiamentos iniciando em 0° com intervalos de 5° graus nas áreas mais planas passando a múltiplos de 10° nas áreas mais acidentadas terminando com o índice de variação representado entre 60° a 86°, obtidos através das cotas das curvas de

---

<sup>5</sup> INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **SPRING Release 3.6**. São Paulo, 2000, conceitos cartográficos.

nível com equidistâncias de 5 m. Através do operação *booleana* lógica do tipo A AND B, foram cruzadas informações qualitativas atribuídas ao comportamento dinâmico das rochas com informações qualitativas relacionadas a distribuição espacializada das unidades geológicas e dos graus diferenciados de inclinação do relevo. Gerando através deste procedimento uma espacialização de classes de fragilidade designadas muito fraca, fraca, média, forte e muito forte. As relações entre os agrupamentos litotípicos com as inclinações do relevo para atribuir o grau de instabilidade dinâmica das litoestruturas em fragilidades diferenciadas foram distribuídas em uma matriz bidimensional observada no Quadro 2.

QUADRO 2 - FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

GEOLOGIA Litoestrutural	CLINOGRÁFIA - Graus de inclinação determinados através da altimetria do terreno.							
	0 A 5°	5° A 10°	10° A 20°	20° A 30°	30° A 40°	40° A 50°	50° A 60°	60° A 86°
Grupo 01	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte
Grupo 02	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte
Grupo 03	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte
Grupo 04	Muito Fraca	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte
Grupo 05	Muito Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
Grupo 06	Muito Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
Grupo 07	Muito Fraca	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte
Grupo 08	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Muito Forte

Legenda da distribuição e agrupamento geológico litoestrutural:

01 – Terrenos Aluvionares; 02 – Depósito de Talude, Formação Guabirotuba; 03 – Diques; 04 – Granito Suíte Serra do Mar, Granito Intrusivo Sub-alcalino, Microgranitos Intrusivos; 05 – Grupo Açungui; 06 – Formação Guaratubinha; 07 – Anfibolitos, Gnaisses Granodioritos, Gnaisses Granitos, Migmatitos Indiferenciados; 08 – Falhas, Diáclases.

b) Carta da Fragilidade da Formação Pedológica; produzida a partir da espacialização e relação dos sete grupos de classes de solos mapeadas na área de estudo. Os procedimentos seguintes são os mesmos adotados para a determinação da fragilidade litoestrutural, utilizando a mesma operação lógica *booleana* do A AND B com os mesmos índices de fatiamentos de inclinação do relevo associados ao comportamento dinâmico que possam apresentar as classes pedológicas em função da sua organização e composição estrutural. Utilizou-se também neste caso uma listagem organizada na forma de matriz bidimensional com a distribuição dos grupos relacionados ao fator de inclinação repercutindo em uma determinada classe de fragilidade conforme observado no Quadro 3.

QUADRO 3 - FRAGILIDADE DA COBERTURA PEDOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

COBERTURA Pedológica	CLINOGRÁFIA - Graus de inclinação determinados através da altimetria do terreno.							
	0 A 5°	5° A 10°	10° A 20°	20° A 30°	30° A 40°	40° A 50°	50° A 60°	60° A 86°
Grupo 01	Média	Média	Forte	Muito Forte	Muito Forte	Muito Forte	Muito Forte	Muito Forte
Grupo 02	Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
Grupo 03	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte	Forte
Grupo 04	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte	Forte
Grupo 05	Muito Fraca	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte
Grupo 06	Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
Grupo 07	Muito Fraca	Muito Fraca	Muito Fraca	Fraca	Média	Média	Forte	Forte

Legenda da distribuição e agrupamento das classes da cobertura pedológica:

01 – Solos Litólicos associados a Afloramento de Rocha; 02 – Cambissolos; 03 – Hidromórficos Gleyzados; 04 – Orgânicos; 05 – Latossolos; 06 – Podzólicos; 07 – Rubrozem.

c) Carta da Fragilidade Potencial; foi obtida pelo cruzamento entre a classificação da fragilidade litoestrutural e da fragilidade da cobertura pedológica utilizando-se da mesma operação A AND B da lógica *booleana* relacionada a uma matriz bidimensional indicando qual o grau de estabilidade ou instabilidade que pode apresentar um determinado recorte espacial considerando suas características geológicas, hidrogeológicas, geomorfológicas e pedológicas conforme Quadro 4.

QUADRO 4 - FRAGILIDADE POTENCIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL	FRAGILIDADE DA COBERTURA pedológica				
	MUITO FRACA	FRACA	MÉDIA	FORTE	MUITO FORTE
MUITO FRACA	Muito Fraca	Fraca	Fraca	Média	Forte
FRACA	Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte
MÉDIA	Fraca	Média	Média	Forte	Muito Forte
FORTE	Média	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte
MUITO FORTE	Forte	Forte	Muito Forte	Muito Forte	Muito Forte

d) Carta da Fragilidade Emergente; criada a partir da determinação das classes de fragilidade potencial que demonstram áreas que podem apresentar-se com maior ou menor probabilidade de desencadear processos de instabilização da dinâmica do sistema ambiental mediante a forma de uso e ocupação do solo. Desta forma procedeu-se com o cruzamento entre as informações sobre potencial de fragilidade ambiental com as atuais modalidades uso e cobertura do solo determinado em sete diferentes classes compreendendo agricultura, campo/pastagem, corpos d'água, ocupação, solo exposto, vegetação e vias de acesso para o ano de 2002. Utilizando matriz bidimensional estas informações foram correlacionadas na operação A AND B do LEGAL, indicando graus de fragilidade variando em muito fraca, fraca, média, forte e muito forte. Quadro 5.

QUADRO 5 - FRAGILIDADE EMERGENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

FRAGILIDADE POTENCIAL	USO E COBERTURA DO SOLO (2002)						
	01	02	03	04	05	06	07
MUITO FRACA	Muito Forte	Forte	Muito Fraca	Muito Forte	Forte	Muito Fraca	Muito Forte
FRACA	Fraca	Fraca	Muito Fraca	Fraca	Forte	Muito Fraca	Fraca
MÉDIA	Forte	Média	Muito Fraca	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Média
FORTE	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Forte
MUITO FORTE	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Muito Forte	Muito Forte	Muito Fraca	Muito Forte

Legenda da distribuição e agrupamento das classes do uso e cobertura do solo:

01 – Agricultura; 02 – Campo/Pastagem; 03 – Corpos d' Água; 04 – Ocupação; 05 – Solo Exposto; 06 – Vegetação; 07 – Vias de Acesso.

e) Carta do Zoneamento Ambiental; uma vez designado os graus da fragilidade emergente, foi possível adotar os procedimentos para a criação e espacialização das classes de zoneamento ambiental, sugerindo com este produto áreas com potencial ao uso, áreas com potencial ao uso com restrições e áreas restritas ao uso. Desta forma foram correlacionadas as classes da fragilidade emergente, com as informações do mapa de análise de proximidades (*buffer*) e com a espacialização das áreas protegidas legalmente. Esta relação de informações espacializadas foi inter-relacionada a duas principais classes restrita ao uso nas áreas representadas pelas áreas protegidas e indicadas pelo *buffer* e potencializável sem e com restrições para as classes de fragilidade emergente distribuídas em uma matriz bidimensional na qual também se utilizou a operação de lógica *booleana* A AND B. Quadro 6.

QUADRO 6 - ZONEAMENTO AMBIENTAL COM POTENCIAL PARA USO E OCUPAÇÃO

CLASSES DE USO	FRAGILIDADE EMERGENTE				
	01	02	03	04	05
RESTRITA	Área restrita ao uso	Área restrita ao uso	Área restrita ao uso	Área restrita ao uso	Área restrita ao uso
POTENCIALIZÁVEL	Área com potencial ao uso	Área com potencial ao uso	Área com potencial ao uso com restrições	Área com potencial ao uso com restrições	Área com potencial ao uso com restrições

Legenda da distribuição e agrupamento das classes de fragilidade emergente:

01 – Muito Fraca; 02 – Fraca; 03 – Média; 04 – Forte; 05 – Muito Forte.

f) Carta do Conflito de Uso Atual; gerada a partir da determinação do zoneamento ambiental correlacionado com os atuais modelos de uso e cobertura do solo identificados na área de estudo, representando a realidade da maneira como vêm sendo utilizado o espaço territorial da área da bacia hidrográfica. Sugere-se três classes para identificar a forma de utilização do recorte espacial estabelecidas em uso atual adequado, uso atual adequado parcialmente e uso atual inadequado. Os resultados para esta classificação são respostas do cruzamento entre as modalidades de uso do solo com a classificação do zoneamento ambiental utilizando operação *booleana* lógica do tipo A AND B, também se utilizando uma matriz bidimensional para efeitos de correlação com uma listagem organizada com dois campos de variáveis. Quadro 7.

QUADRO 7 - ZONEAMENTO DE CONFLITO DE USO E OCUPAÇÃO ATUAL

USO E COBERTURA DO SOLO (2002)	ZONEAMENTO AMBIENTAL		
	ÁREA COM POTENCIAL AO USO	ÁREA COM POTENCIAL AO USO COM RESTRIÇÕES	ÁREA RESTRITA AO USO
01	Uso atual adequado	Uso atual adequado parcialmente	Uso atual inadequado
02	Uso atual adequado	Uso atual adequado parcialmente	Uso atual inadequado
03	Uso atual inadequado	Uso atual inadequado	Uso atual inadequado
04	Uso atual adequado	Uso atual adequado parcialmente	Uso atual inadequado
05	Uso atual inadequado	Uso atual inadequado	Uso atual inadequado
06	Uso atual adequado	Uso atual adequado	Uso atual adequado
07	Uso atual adequado	Uso atual adequado parcialmente	Uso atual inadequado

Legenda da distribuição e agrupamento das classes de uso e cobertura do solo:

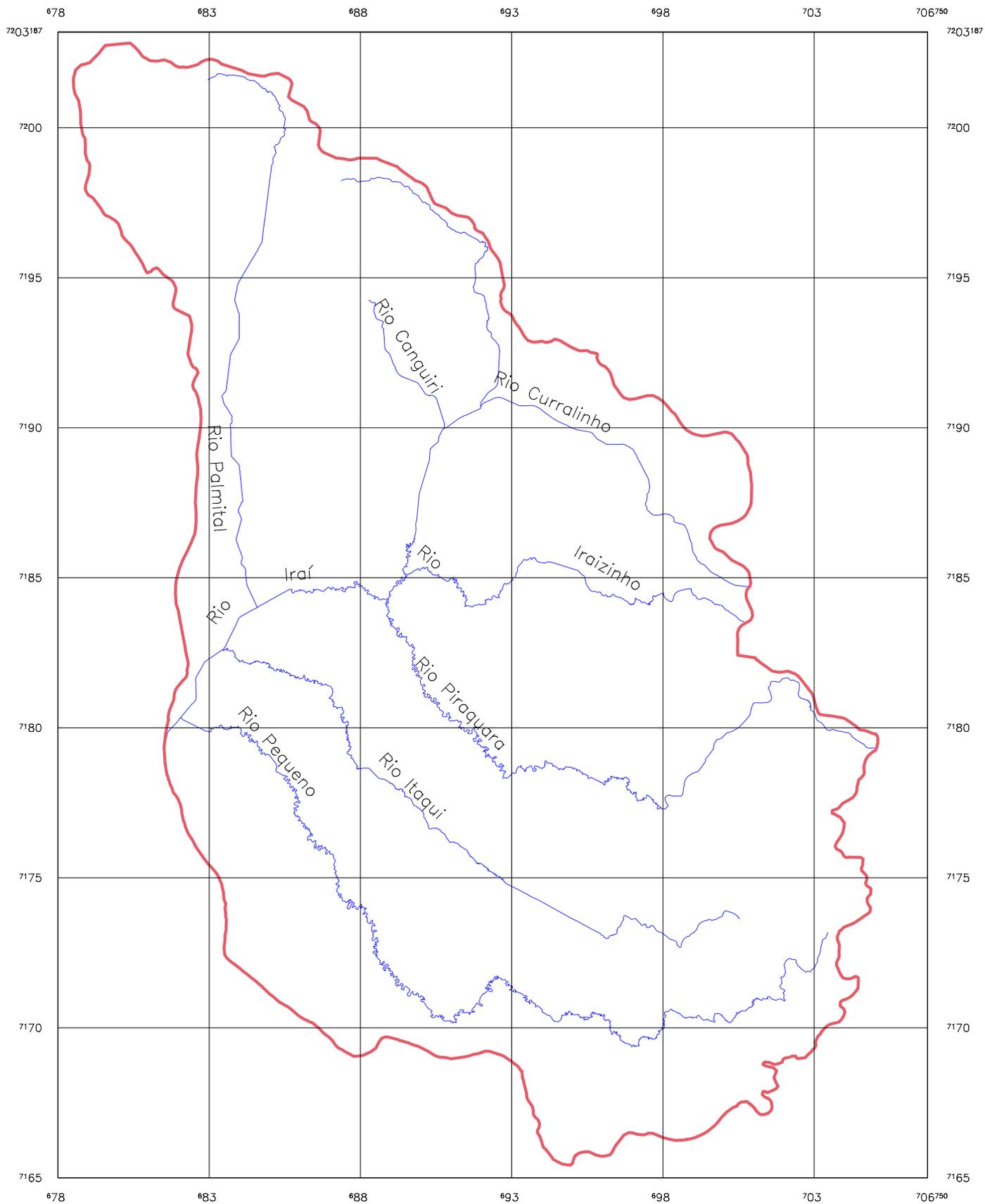
01 – Agricultura; 02 – Campo/Pastagem; 03 – Corpos d' Água; 04 – Ocupação; 05 – Solo Exposto; 06 – Vegetação; 07 – Vias de Acesso.

## 5. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E FÍSICA DA BACIA

A região da bacia hidrográfica do alto curso do rio Iguaçu (Figura 10), que em realidade trata-se da bacia de captação dos principais formadores do rio Iguaçu, representado pelos rios Irai, Itaqui, Palmital, Piraquara, Pequeno, Iraizinho, Canguiri e Curralinho e seus tributários, está posicionada a oeste das vertentes ocidentais da Serra do Mar. As cabeceiras destes rios formam, o que historicamente convencionou-se denominar de Mananciais da Serra. Tais rios, portanto, são formados inicialmente pelo corte topográfico dos lençóis freáticos das encostas dos altos topográficos e estruturais da serra, que por seu turno são alimentados pela alta pluviosidade local.

Esta bacia encontra-se estruturada sobre os domínios geomorfológicos do Primeiro Planalto Paranaense, limitada à leste pela vertente ocidental da Serra do Mar, e tal localização geográfica lhe confere características marcantes no que diz respeito aos seus aspectos geológicos, pedológicos e florísticos que, associados e inter-relacionados aos aspectos climáticos, possibilitam a presença de um potencial hidrológico e hidrogeológico significativo. Estes representam importantes recursos, utilizados de formas variadas como, por exemplo, para irrigação agrícola e dessedentação animal, nos variados segmentos industriais e principalmente para o abastecimento público.

FIGURA 10 – CARTA DOS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

-  LIMITE DA BACIA
-  REDE DE DRENAGEM



1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000

Fonte: modificado de IBGE (1959 E 1961)

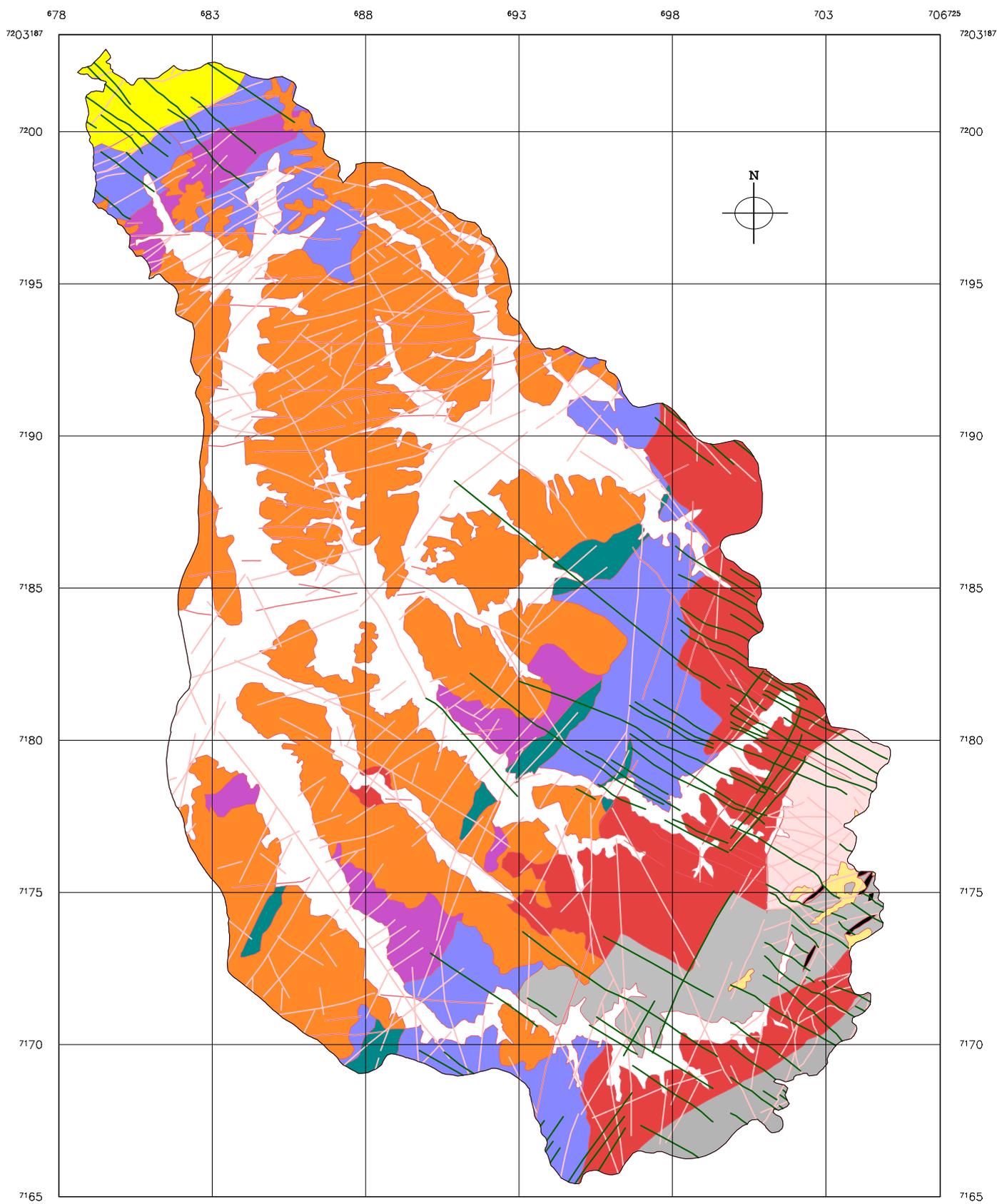
## 5.1 GEOLOGIA

Em termos geológicos, predominam dois tipos de domínios bem definidos, inclusive com subdivisões em unidades litoestratigráficas menores (Figura 11). Como base de sustentação dos domínios mais novos, há rochas de natureza metamórfica do Complexo Atuba (anteriormente denominado de Embasamento Cristalino), as quais possuem elevada cristalinidade, representadas principalmente por gnaisses, meta-granitóides, xistos e quartzitos, além de granitos propriamente ditos. Tais rochas são bastante antigas, datadas do pré-Cambriano inferior a médio e, portanto, bem estruturadas através de foliações penetrativas dadas por diferentes eventos de cisalhamento simples de baixo e alto ângulo.

Sobreposto às rochas metamórficas na Bacia de Curitiba encontra-se um pacote de rocha sedimentar de espessura variável, constituído principalmente de depósitos argilosos e lamosos, além de lentes areno-arcoseanas e de cascalheiras. As unidades sedimentares são agrupadas na Formação Guabirota, que data segundo SALAMUNI *et. al.* (1998, p. 38 ) do Oligoceno ao Plio-Pleistoceno (Terciário a Quaternário). A partir do início do Holoceno, portanto há menos de um milhão de anos, grandes depósitos aluvionares de natureza arenosa a areno-argilosa passam a se formar nas várzeas ou nas calhas dos rios instalados na região. Na região do alto curso do rio Iguaçu, tais depósitos têm um papel fundamental na regulação das cheias e vazões dos rios.

As estruturas geológicas maiores nos domínios são representadas por falhas e fraturas que controlam grande parte da morfologia local, tais como os principais cursos de água. Estas discontinuidades podem se estender por vários quilômetros ou então se apresentar de forma localizada, porém quase que invariavelmente controlam o início da morfogênese e, portanto, seu entendimento é fundamental para a caracterização dos processos geomorfológicos regionais. Em relação às estruturas geológicas menores compreendendo a mesoescala segundo SALAMUNI *et. al.* (1999, p. 138), estas apresentam natureza rúptil com dimensões que podem variar de alguns centímetros a alguns metros. De um modo geral são fraturamentos homogêneos, retilíneos, planares a curvilineares, apresentando espaçamento variável entre si. As fraturas, conjugadas ou não, podem ser juntas ou falhas com rejeitos pequenos.

FIGURA 11 – CARTA GEOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA ESTRATIGRÁFICA:

CENOZÓICO

QUATERNÁRIO

Terrenos aluvionares

QUATERNÁRIO/TERCIÁRIO

Deposito talude

Formação Guabirotuba  
depósitos argilosos, arcóseos, areias  
finas, diamictitos, rudáceos

MESOZÓICO

Diques

PALEOZÓICO

CAMBRO-ORDOVICIANO

Fomação Guaratubinha

(Seqüência vulcano-sedimentar)

conglomerados, arcóseos e siltitos

PROTEROZÓICO SUPERIOR

Granitos (Suite Serra do Mar)

alcalinos a cálcio alcalinos

Granito intrusivo sub-alcalino

Granito Marumbi

Grupo Açungui (Formação Capiru)

mármore, filitos, quartzitos

PROTEROZÓICO INFERIOR

Complexo Atuba

Anfibolitos

Gnaisses Granodioritos Migmatizados

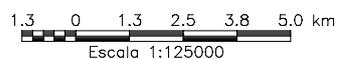
Gnaisses Granitos Migmatizados

Migmatitos indiferenciados

incluindo localmente anfibolitos e

veios quartzo-feldspáticos

Fraturas e Falhas indiscriminadas



Fonte:

Adaptado de SALAMUNI et al (1999)

COMISSÃO DA CARTA GEOLÓGICA – XXV– 5 (1967)

COMISSÃO DA CARTA GEOLÓGICA – XXV– 9 (1969)

Elaboração: Sandro José Briski (2003)

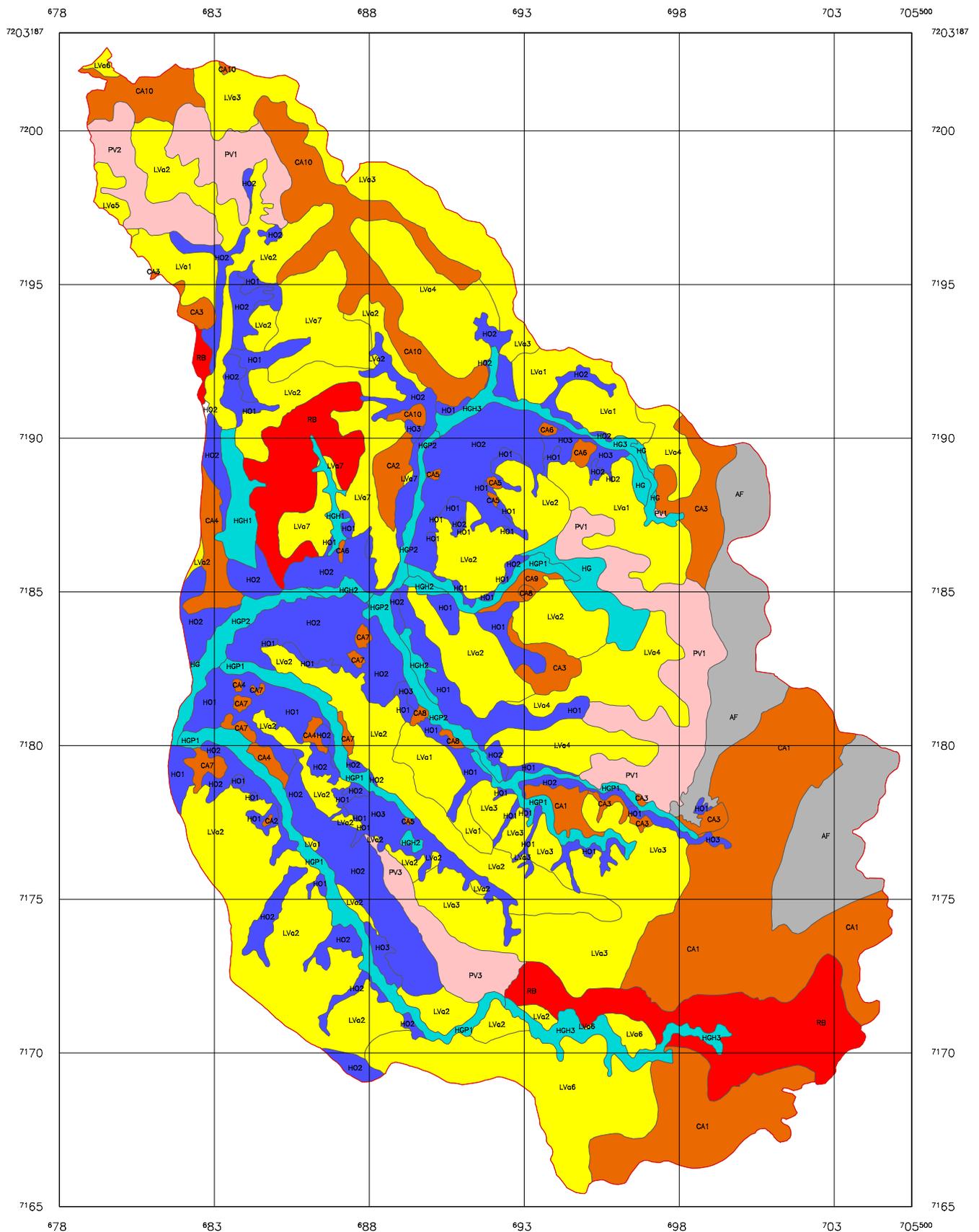
A determinação das falhas através de estrias (*slickensides*), apontam de forma geral para movimentação normal e, secundariamente, transcorrentes, podendo de forma rara ocorrer indícios de movimentação inversa.

Em sua maioria as fraturas apresentam planos empinados, com altos ângulos de mergulho, sendo encontradas com maior frequência as seguintes atitudes: N40-45E/70-80SE; N15-25E/80-90NW; N-S/80-90; N5-10W/65-70NE; podendo ocorrer estruturas com ângulos de mergulho menores; NO5-15W/10-20NE; e N30-40W/20-30SW. No embasamento, as fraturas que se apresentam subverticais cuja direção é NE-SW, geram rochas protocataclásticas com tectonitos cominuídos. As brechas são formadas pelo sistema de baixo ângulo, que apresentam mergulhos entre 10° e 30°, ora para NW ora para SE, resultando um padrão em forma de “X”. As fraturas nos sedimentos que se encontram principalmente nos contatos com o embasamento, apresentam preenchimento de quartzo, com espessuras que variam de centímetros a milímetros, com cristalização bipiramidal formando os silcretes.

Também são observadas camadas areno-argilosas e bancos centimétricos de caliche que se encontram ondulados e fraturados com pequenos deslocamentos. Estes podem ser atribuídos a fracas perturbações sísmicas sin a tardideposicionais. (SALAMUNI *et. al.*, 1999, p. 139).

Neste contexto, há que se considerar que as características físicas do terreno têm um significativo papel na construção da paisagem, já que a resistência à erosão, o grau de susceptibilidade a intemperização, a agregação da rocha e as diferenciadas classes de solos (Figura 12), delas derivados fazem parte de sua construção. De qualquer modo é preciso considerar como agente preponderante da construção da paisagem a integração de todas as componentes que, em conjunto atribuem à região características próprias e individualizadas constituindo um sistema único.

FIGURA 12 – CARTA DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

AFLORENTOS DE ROCHA + SOLOS LITÓLICOS

AF

CAMBISSOLOS

CA1  
CA2  
CA3  
CA4  
CA5  
CA6  
CA7  
CA8  
CA9  
CA10

SOLOS HIDROMÓRFICOS

HG  
HGP1  
HGP2  
HGH1  
HGH2  
HGH3

SOLOS ORGÂNICOS

H01  
H02  
H03

LATOSSOLOS

LVa1  
LVa2  
LVa3  
LVa4  
LVa5  
LVa6  
LVa7

PODZÓLICOS

PV1  
PV2  
PV3

RUBROZEM

RB



1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000

Fonte: modificado de JACOBS (2002)

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

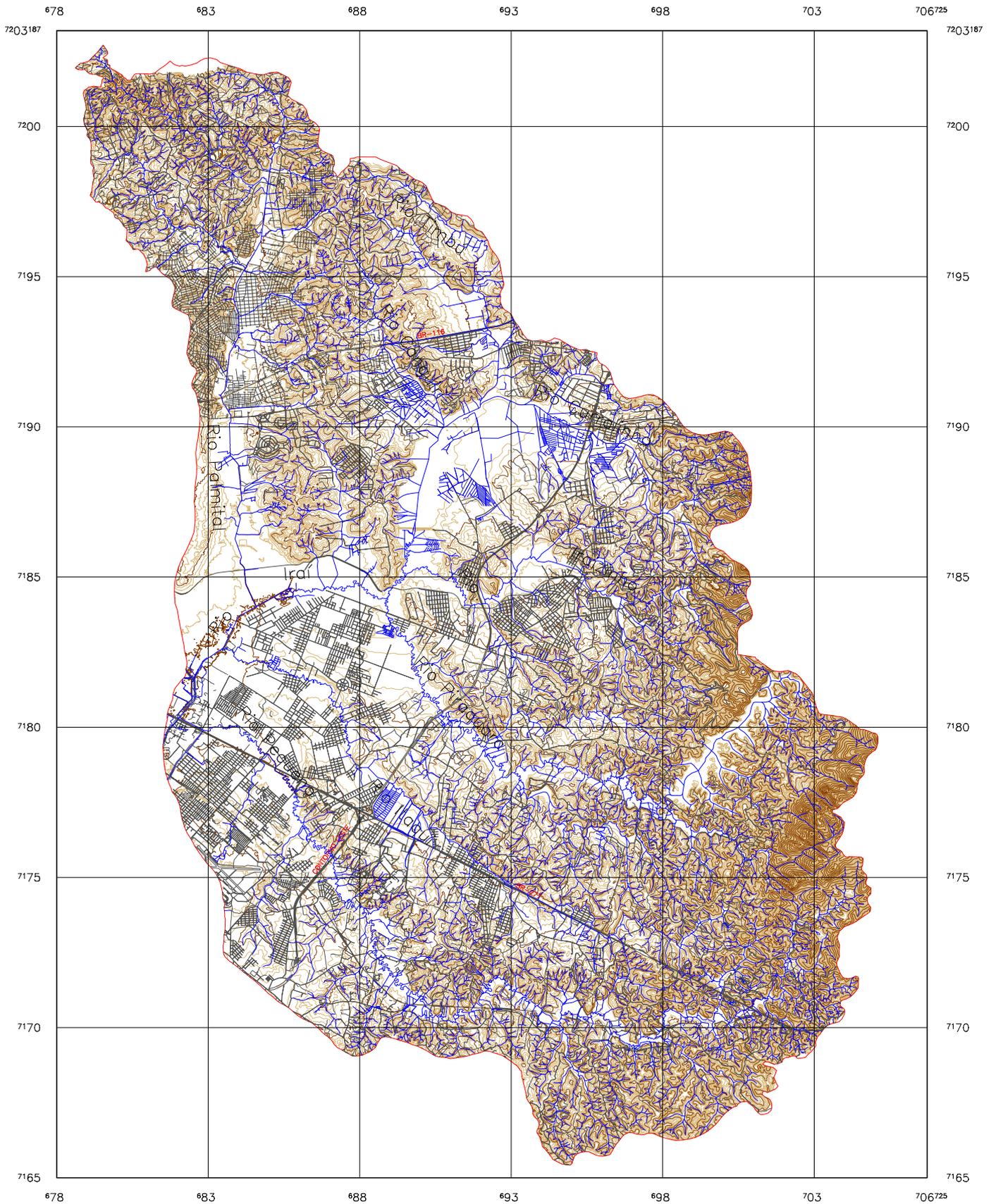
Fisiograficamente a região é composta por colinas arredondadas ou alongadas nas direções nordeste-sudoeste (NE-SW) e noroeste-sudeste (NW-SE), em um relevo não muito íngreme, porém com existência de vales mais profundos em forma de V. Mais próximo às concentrações urbanas maiores a oeste, tais como Quatro Barras, Campina Grande do Sul, Piraquara e Pinhais, por exemplo, estes vales se apresentam predominantemente em forma de U, e o relevo torna-se menos acidentado e caracterizado como planáltico conforme se observa na distribuição e comportamento das curvas de nível (Figura 13). Considerando a rugosidade do relevo e os domínios geológicos estabelecem-se três compartimentos geomorfológicos regionais destacando-se as formações da Serra do Mar, a Bacia Sedimentar de Curitiba e a Formação Serrana do Grupo Açungui (Figura 14).

As vertentes ocidentais da Serra do Mar podem chegar a altitudes de até 1200 m em contraposição às porções mais baixas na região de Curitiba, que podem estar em uma altitude mínima de 880 m, considerando o nível do mar. A Serrania Costeira, na sua vertente ocidental, é constituída por parte dos grandes maciços graníticos-granitóides montanhosos e escarpados. Os solos nos pontos mais altos são invariavelmente litólicos, porém são predominantemente latossolos rejuvenescidos próximos à base.

Seguindo-se na direção oeste, distanciando-se das encostas do relevo montanhoso, onde ocorrem extensos depósitos coluvionais, estão posicionados os diversos terrenos que compõem o Planalto de Curitiba, integrante do Primeiro Planalto Paranaense. O Planalto de Curitiba, grosso modo, pode ser subdividido, ainda, nos planaltos “cristalino” e “sedimentar”, além das planícies aluvionais. O primeiro situa-se na porção intermediária da bacia do “Altíssimo” Iguaçu e o segundo na porção mais ocidental.

O planalto cristalino é formado sobre os terrenos do Complexo Atuba, que apresenta uma morfologia dissecada do tipo mamelonar, caracterizando uma paisagem com colinas de topos arredondados e normalmente vertentes convexas. Os solos ali formados são normalmente latossolos, podzólicos e, secundariamente, cambissolos.

FIGURA 13 – CARTA PLANIALTIMÉTRICA BA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

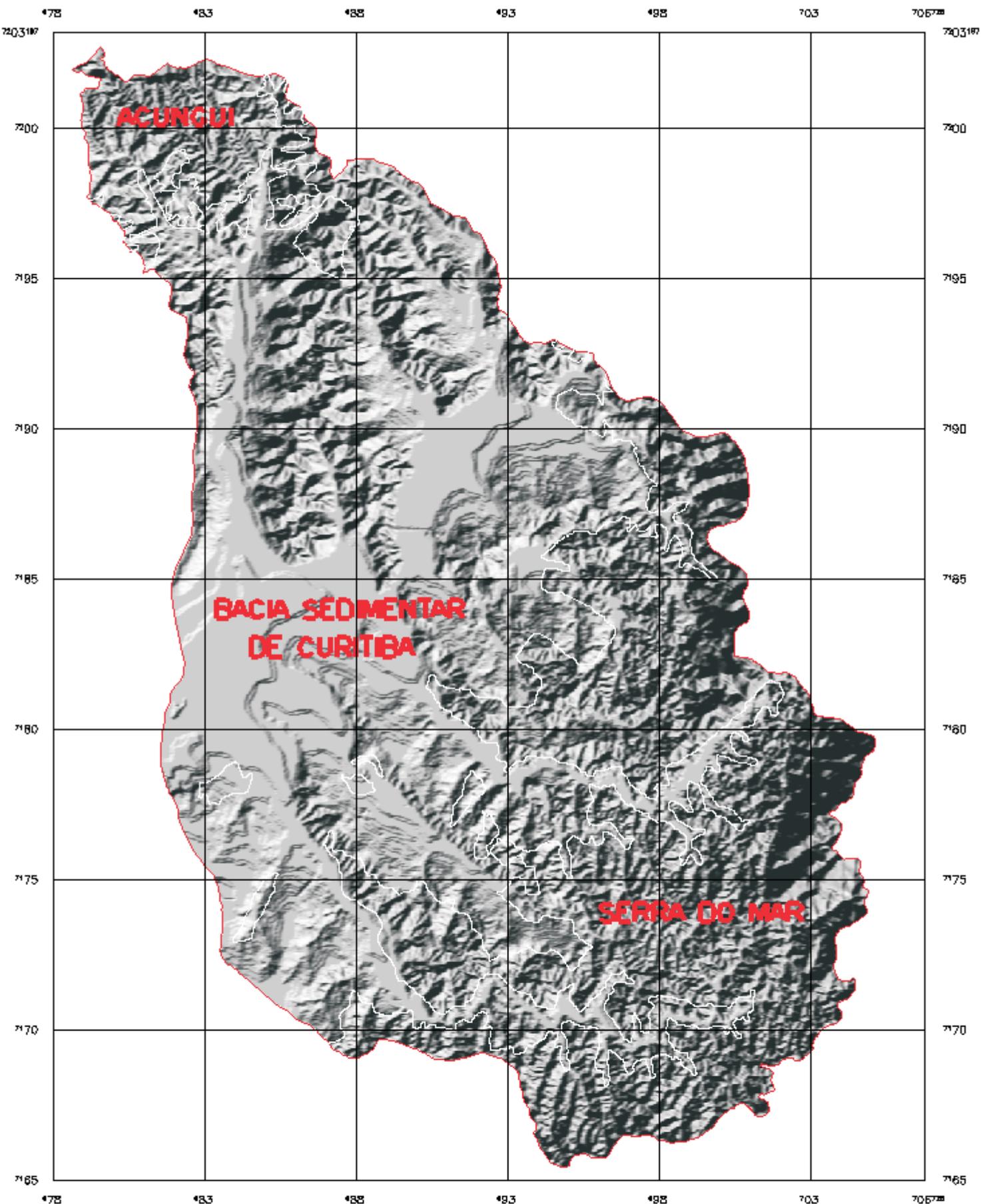
-  LIMITE DA BACIA
-  CURVAS DE NÍVEL
-  REDE DE DRENAGEM
-  REDE VIÁRIA



1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000

Fonte: modificado de SUDERHSA (2000)

FIGURA 14 – CARTA DE COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

- LIMITE DA BACIA
- COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA



1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000

Fonte: curvas – SUDERHSA (2000)  
Compartimentação geomorfológica elaborada a partir do relevo sombreado e arcabouço geológico  
Elaboração: Sandro José Briski (2004)

O planalto sedimentar é caracterizado por um conjunto de colinas suaves, de vertentes pouco inclinadas, sustentadas pelos sedimentos pouco consolidados da Formação Guabirota. Os solos álicos são predominantes, mas ocorrendo, de forma restrita, os distróficos. Há, em grande parte dos sedimentos argilo-siltosos, uma laterização disseminada.

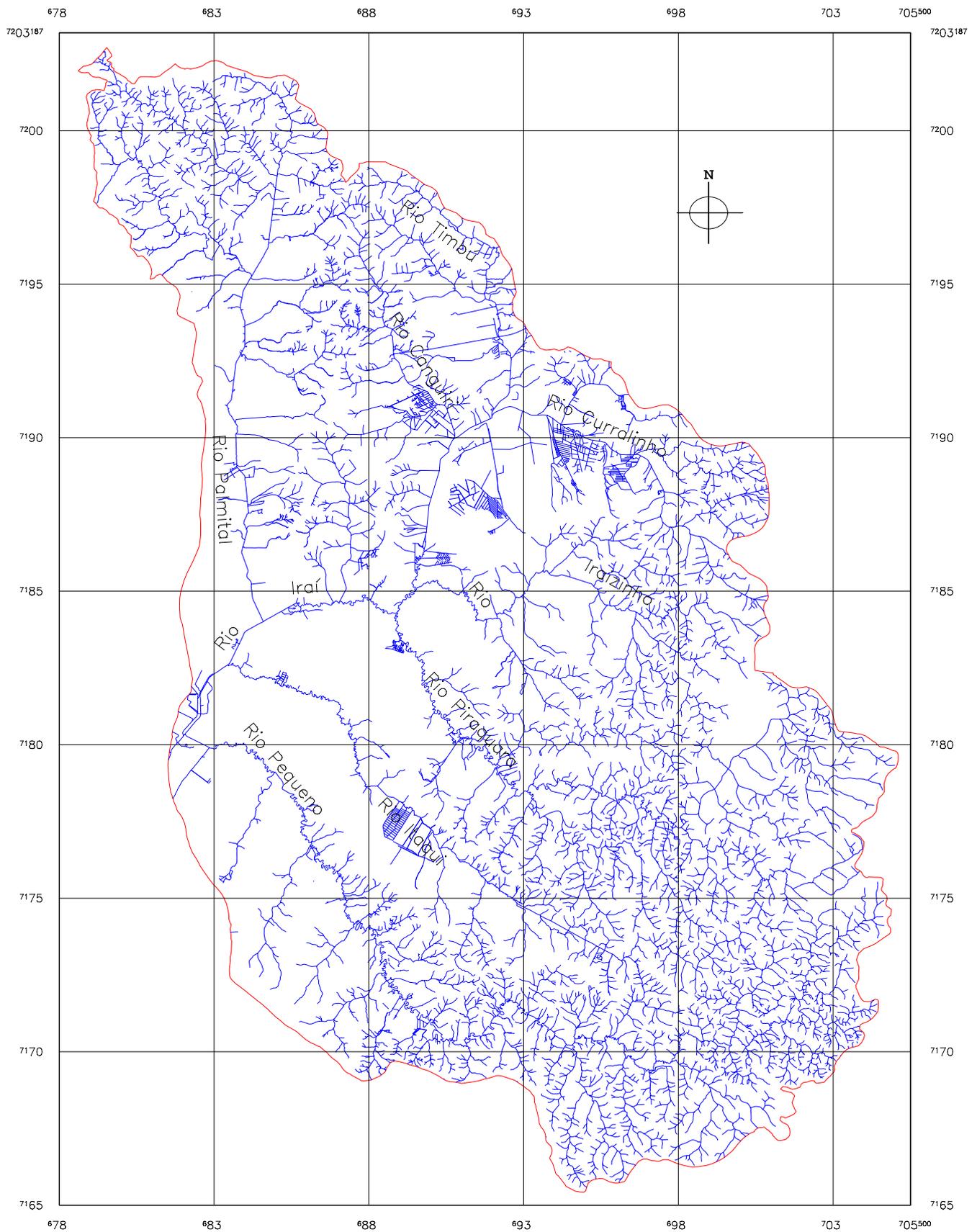
As planícies aluvionais, por seu turno, são superfícies de agradação, horizontalizadas, espaiadas ao longo da maioria dos vales onde estão os rios maiores, incluídas aí as áreas de várzea propriamente ditas. Ocorrem solos hidromórficos gleyzados e solos orgânicos.

Considerando a geomorfologia local, a leste, as vertentes da Serra do Mar mostram terrenos mais escarpados e íngremes, com vales entalhados e mais profundos onde os rios apresentam-se com mais energia. Já a oeste, próximo das zonas urbanas, o relevo é mais suave, planáltico, com cristas arredondadas, vertentes pouco inclinadas, vales pouco profundos e mais espaiados. Tais aspectos favorecem a ocorrência de rios com pouca energia hidráulica facilitando, portanto, a deposição de sedimentos em suas planícies aluvionais e assim favorecendo a formação dos terrenos aluvionares. E ao norte encontra-se uma região com características cársticas com relevo relativamente acidentado da região do Açungui.

Considerando tais características as drenagens, por conseguinte formam padrões mistos, geralmente arborescentes, ou dendrítico, com uma inicial estruturação retangular (Figura 15). Este último padrão demonstra o controle geológico-estrutural do terreno, predominando formas morfo-estruturais razoavelmente bem definidas, tais como vales assimétricos, pequenas escarpas de falhas, extensos depósitos colúvio-aluvionais e cristas regularmente orientadas.

O clima predominante na região é o temperado chuvoso e quente, segundo a classificação climática genérica modificada de W. Köppen, classificando com mais detalhes em tipo climático Cfb, tendo como principais características os meses mais frios com temperatura média entre  $-3^{\circ}$  e  $18^{\circ}$  C. O mês moderadamente mais quente apresenta temperatura média entre  $10^{\circ}$  e  $22^{\circ}$  C. Não apresenta nenhuma estação seca, caracterizando-se por ser úmida o ano todo. Este tipo de caracterização climática, associada a outros fatores de ordem física da região, favorece um índice pluviométrico significativo, importante para a manutenção do potencial hídrico da bacia os quais podem ser observados nos Gráficos 1 e 2.

FIGURA 15 – CARTA DE HIDROGRAFIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

-  LIMITE DA BACIA
-  REDE DE DRENAGEM



1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000

Fonte: modificado de SUDERHSA (2000)

GRÁFICO 1 - MEDIDA DA MÉDIA PLUVIOMÉTRICA NO ANO DE 2000 \*

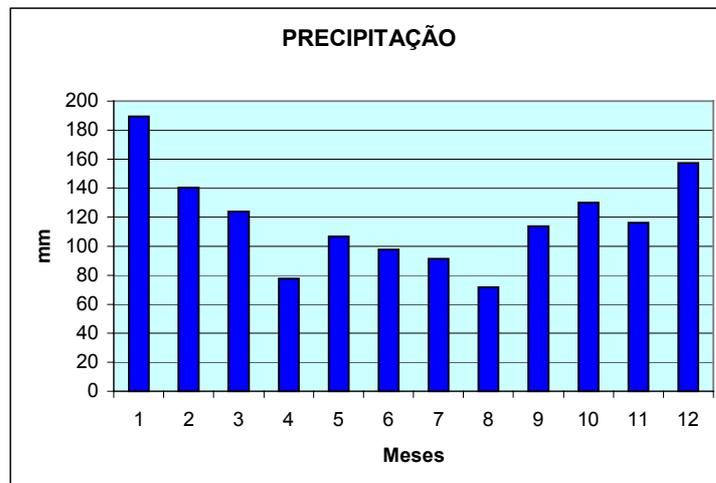
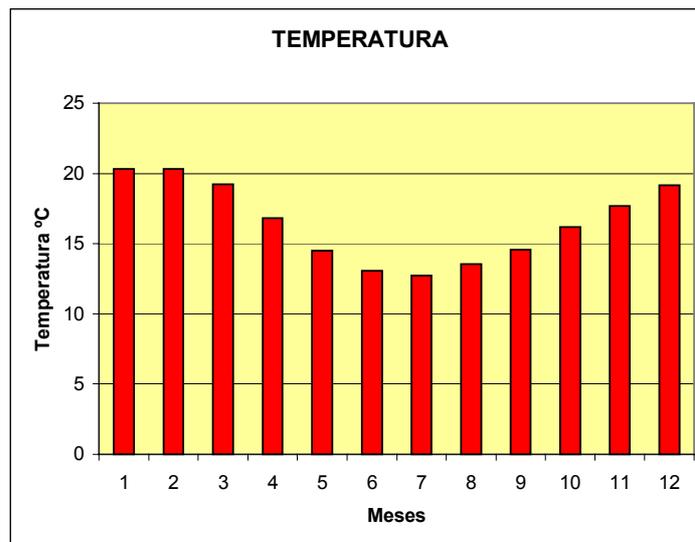


GRÁFICO 2 - MEDIDA DE TEMPERATURAS MÉDIAS NA BACIA DO ALTO CURSO SUPERIOR DO RIO IGUAÇU NO ANO DE 2000 \*



\* Fonte: Extraído através dos dados da Estação Meteorológica de Piraquara cod. 02549041, referentes ao ano de 2000

Observa-se assim que a área apresenta um micro clima característico onde, as combinações dos fatores que definem o modelo climático associados aos aspectos de ordem física, que compõem o recorte espacial analisado, formam um ambiente ideal de retroalimentação das cabeceiras e dos cursos médios dos rios. Elementos estes que são representados por vários fatores, mas principalmente pelos seguintes: a localização geográfica, a proximidade da área com o oceano Atlântico, a transição das feições geomorfológicas do Primeiro Planalto com a Serra do Mar e pela cobertura vegetal.

Entre estes elementos sem dúvida o mais vulnerável às modificações estabelecidas pela ocupação e apropriação do espaço num primeiro momento é a cobertura vegetal. Esta uma vez descaracterizada ou extinta desencadeia vários processos de degradação ambiental como erosões pela denudação do solo, assoreamento dos rios, interferências na qualidade do ar e, conseqüentemente, modificações significativas nos aspectos climáticos.

As mudanças que podem ocorrer no micro clima regional em função dos processos impactantes já relacionados são sentidas através do aumento da temperatura em função da exposição do solo às irradiações solares, diminuição dos índices pluviométricos causados, sobretudo, pela diminuição da evapotranspiração desenvolvida pela cobertura vegetal, modificações da dinâmica dos ventos próximos ao solo desprotegido, entre outras.

Todas estas modificações que possam vir a ocorrer terão efeitos diretos sobre a dinâmica hídrica da região considerando as águas superficiais e subsuperficiais, acarretando baixos índices de qualidade das águas e numa projeção mais catastrófica o esgotamento dos recursos hídricos onde os rios e o lençol freático poderão literalmente secar.

Em função dos fatores geológicos, geomorfológicos e climáticos locais, a região do Altíssimo Iguaçu possui características singulares no que diz respeito ao número das nascentes de cursos d'água. A condição excepcional de grande umidade possibilita que o lençol freático local, na maioria das vezes, esteja próximo à superfície e seja drenado para níveis de base locais, formando um grande número de pequenos córregos de primeira ordem que ao se unirem formam os rios maiores que posteriormente irão formar o rio Iguaçu.

As características ambientais acima citadas são fundamentais para a manutenção da natural exuberância florística que, ao longo do Quaternário (mais precisamente do Holoceno), serviu à manutenção de um ecossistema riquíssimo, inclusive no que tange à fauna. Além disso, a existência da floresta Ombrófila Densa e Ombrófila Mista, mesmo secundária em áreas já desmatadas, serviu como garantia a retroalimentação do ciclo da água e conseqüentemente da manutenção das áreas de mananciais. Qualquer delimitação de áreas de proteção ambiental, ou de zonas que necessitam ser preservadas, deveria levar em consideração os aspectos ambientais acima mencionados, que envolvem a forte interação entre os aspectos geológico-geomorfológicos, pedológicos, climáticos e bióticos.

## 6. CONTROLE GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO DA DRENAGEM

O comportamento dinâmico hidrogeológico invariavelmente está sobre o efeito controlador das características geológicas, representadas pelas diferenciadas litologias, bem como, pela ocorrência de fraturas, tais como falhas ou diaclasamento. Considerando a evolução sistêmica e auto-reguladora dos elementos e fenômenos conjunturais da natureza, evidencia-se os aspectos geomorfológicos como responsáveis pelas condições das características morfométricas dos fluxos de drenagem. Entretanto é inegável a relação estabelecida entre a geologia e os aspectos morfotectônicos com a geomorfologia. Segundo LOCZY (1980, p. 2):

A Geomorfologia liga-se à Geologia Estrutural e Tectônica de um modo biunívoco. Muitas vezes, através dos princípios estabelecidos pela primeira, consegue-se esclarecer determinadas estruturas e movimentos crustais. Por seu turno, a Geologia Estrutural auxilia o geomorfólogo a investigar o modelo da crosta terrestre que depende, além do clima e litologia, da estrutura.

Os processos dinâmicos que ocorrem no interior da bacia hidrográfica como um todo, influenciam direta ou indiretamente os rios. Estas influências se dão em função da litologia, da cobertura vegetal e dos fenômenos condicionantes do clima, que, por sua vez, controlam a morfogênese das vertentes e o tipo de carga detrítica fornecida aos rios. Por esta razão o estudo analítico dos cursos de água só pode ser realizado adotando-se a perspectiva do sistema hidrográfico.

Estes elementos e fenômenos atuando em conjunto são responsáveis pela característica morfogenética da bacia hidrográfica, a qual pode apresentar dentro de uma mesma bacia hidrográfica padrões de distribuição espacial diferenciados, além do comportamento distinto relativo ao fluxo de energia e matéria. Resultando desta dinâmica organizacional, a disponibilidade hídrica na razão quantitativa e qualitativa da água considerando a mesma como um recurso natural.

Para a realização de programas de planejamento e gestão de recursos hídricos, ressalta-se a importância do conhecimento das feições e dos parâmetros morfométricos e geométricos do sistema de drenagem, tomando como unidade básica de estudos a bacia hidrográfica.

Segundo JORGE e UEHARA (1998, p. 104), a bacia hidrográfica de um rio, até a seção considerada, ou exutório, corresponde à área drenada por um conjunto

de rios de ordem secundária convergindo para o rio principal, sendo delimitada pelo divisor de águas que é representado pelos pontos mais elevados do relevo que separam as bacias adjacentes. O conjunto de cursos de água, denominada de rede de drenagem, estrutura-se com todos seus canais, conduzindo a água e os detritos que lhe são fornecidos pelos terrenos da bacia hidrográfica.

A quantidade de água fornecida aos rios está na dependência das características físicas de sua bacia hidrográfica, da precipitação total do regime pluviométrico local, bem como das perdas em função da evapotranspiração e da infiltração.

As características físicas são definidas pelas feições morfológicas, representadas pelo tipo de relevo, forma da bacia, orientação e fator de inclinação da bacia de drenagem e pelos aspectos geológicos, representados pelas estruturas, tipos litológicos, manto de intemperismo e solos. Além destes aspectos, a cobertura vegetal e o tipo de ocupação da bacia exercem também importante influência nas relações entre infiltração e escoamento superficial em uma bacia hidrográfica.

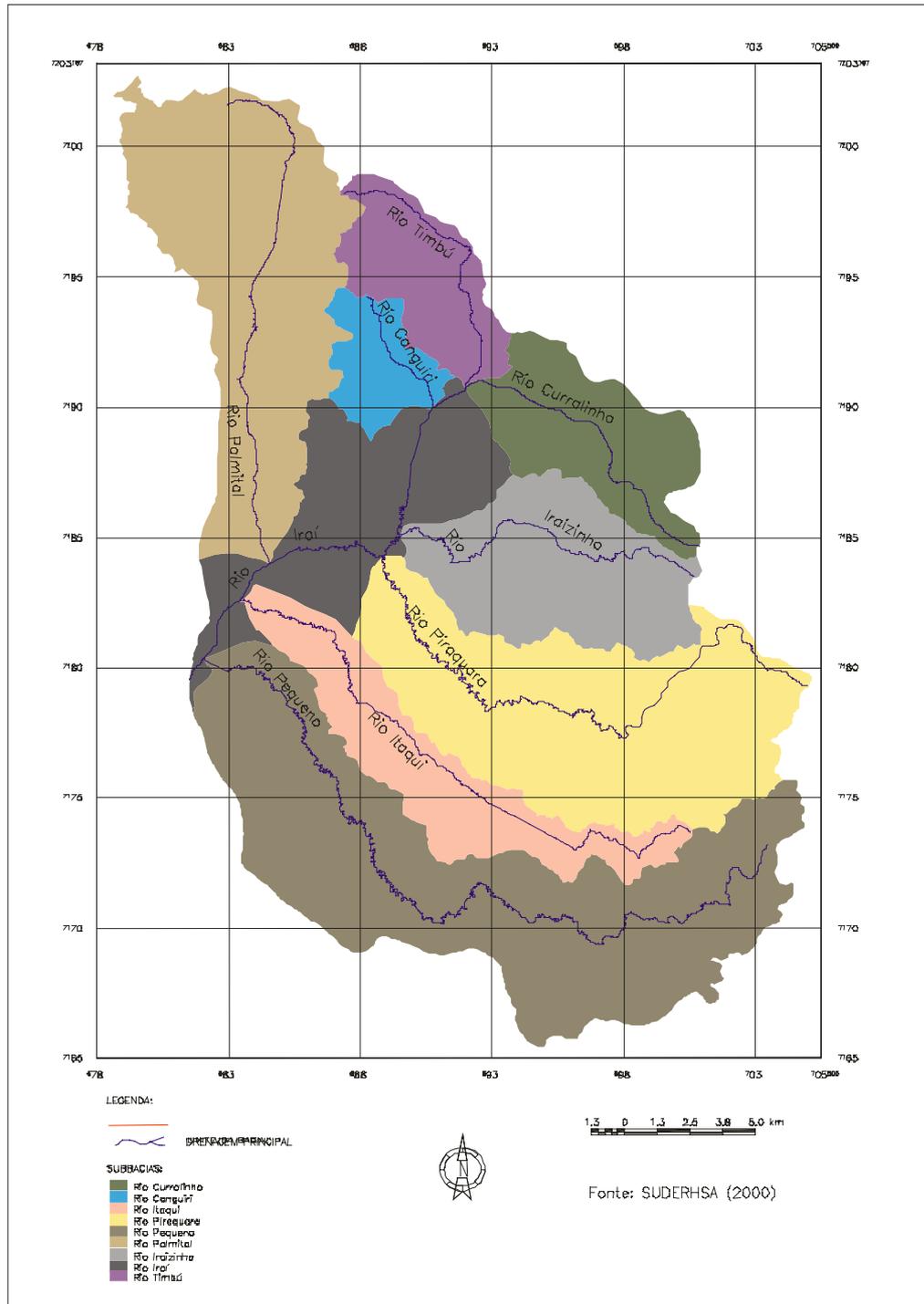
Entre as características mensuráveis dos aspectos morfológicos de uma bacia, algumas representam fundamental importância geoambiental para definições de processos dinâmicos de curto prazo relacionados à forma de uso e ocupação do solo, permitindo apontar áreas com graus diferenciados de fragilidade emergente. Através da identificação destas áreas é possível definir programas de zoneamento ambiental e planejamento territorial.

O controle estabelecido heterogeneamente pela litologia e estruturas geológicas apresenta graus diferenciados de influência, considerando a formação e evolução pretérita e atual de cada unidade territorial representada por uma bacia hidrográfica.

Para efeitos de análise destas relações de influência, alguns parâmetros de condições morfométricas da bacia podem esclarecer através do comportamento e distribuição da drenagem superficial à quantificação destas relações, apontando a responsabilidade das estruturas geológicas e geomorfológicas nestes comportamentos, bem como efeitos indicadores de modificações ambientais podem ser estabelecidos em razão do modo de uso e ocupação do solo.

Visando estabelecer o grau da influência geológica e estrutural relacionados à bacia hidrográfica do alto curso superior do rio Iguaçu, alguns parâmetros morfométricos foram quantificados e analisados, tomando como unidades básicas nove sub-bacias conforme distribuição estabelecida e observada na Figura 16.

FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DAS SUB-BACIAS



## 6.1 RELAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DE SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS

Conforme citado, os parâmetros morfométricos representam indicativos que podem esclarecer a morfogênese dos terrenos sobre os quais se estabelecem os comportamentos organizacionais hidrológicos de superfície e sub-superfície de uma bacia hidrográfica. Neste trabalho foram adotados alguns parâmetros morfométricos apresentados em CHRISTOFOLETTI (1980, p. 102–124), procurando-se estabelecer uma avaliação entre os resultados obtidos e a influência das características geológicas da região. Estes resultados são utilizados para a atribuição de valores ao se cruzar informações lineares, estruturais, comportamentais e altimétricas, que serão correlacionadas a outros indicativos ambientais com o objetivo da construção da Carta de Fragilidade Potencial da região.

Os parâmetros aqui utilizados são necessários para possíveis análises interpretativas do controle geológico sobre a hidrografia associada à cobertura superficial e servem como indicativos para melhor adequação do uso do solo, determinado pela fragilidade potencial da região. Tais parâmetros são os seguintes:

### a) Hierarquia fluvial

Parâmetro que se estabelece pela relação direta da distribuição da rede fluvial considerando a organização ordenada estabelecida pelo rio principal, seus afluentes e sub-afluentes. Segundo CHRISTOFOLETTI (1980, p. 106) a hierarquia fluvial “consiste no processo de se estabelecer à classificação de determinado curso de água (ou área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra”. Sendo sua determinação realizada com o intuito de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias hidrográficas.

Várias são as propostas metodológicas para a realização da hierarquização fluvial destacando-se entre elas a de HORTON<sup>6</sup> (1945) e a de STRAHLER<sup>7</sup> (1952) citados por CHRISTOFOLETTI (1980). Neste estudo optou-se em utilizar a proposta

---

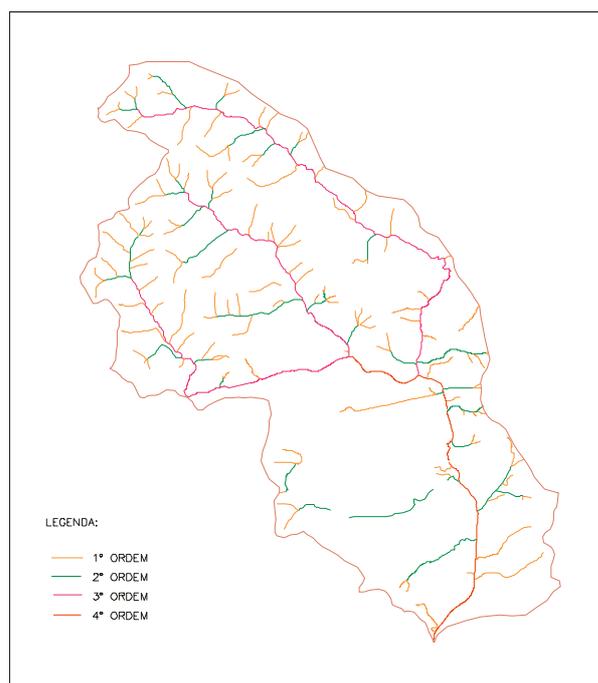
<sup>6</sup> HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology.** Geol. Soc. America Bulletin (1945), 56 (3), p. 275-370.

<sup>7</sup> STRAHLER, A. N. **Hypsometric analysis of erosional topography.** Geol. Soc. America Bulletin (1952), 63, p. 117 – 142.

de STRAHLER (*op. cit.*) que é explicada da seguinte forma por CHRISTOFOLETTI (*op. cit.*):

Os canais menores, sem tributários, são considerados como de primeira ordem, compreendendo desde a nascente até sua confluência. A partir da confluência de dois canais de primeira ordem os canais são chamados de segunda ordem que só recebem os de primeira ordem; da confluência dos canais de segunda ordem surgem os canais de terceira ordem que podem receber canais de primeira e segunda ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência dos canais de terceira ordem e podem receber canais de ordens inferiores, e assim sucessivamente. A proposta de ordenação da hierarquia fluvial de STRAHLER (*op. cit.*) elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda sua extensão, ou seja, da nascente até sua foz além da ausência de obrigatoriedade de refazer a numeração a cada confluência. Tal procedimento pode ser observado na Figura 17. A quantidade de rios de determinada bacia hidrográfica considerando a proposta de STRAHLER (*op. cit.*) é representada pelo número de canais de primeira ordem. Em geral, pode-se considerar que os terrenos relativamente impermeáveis apresentam densa rede de drenagem, enquanto que os mais permeáveis possuem densidade menor.

FIGURA 17 – EXEMPLO DA REPRESENTAÇÃO DA HIERARQUIA FLUVIAL (Figura ilustrativa sem escala definida)



b) Análise linear da rede hidrográfica

Na realização da análise linear englobam-se índices e relações relativas à rede hidrográfica, que necessariamente se efetuam a partir da mensuração obtida ao longo das linhas de escoamento dos canais fluviais inseridos na bacia hidrográfica. Várias podem ser estas relações quantitativas obtidas em função das relações lineares que se estabelecem na rede de drenagem. Neste trabalho foram descritas as seguintes:

- **Relação de bifurcação:** segundo HORTON (1945), é a relação entre o número total de segmentos de uma determinada ordem e o número total dos segmentos de ordem imediatamente superior. Tomando como parâmetro o sistema proposto por STRAHLER (1952), o resultado nunca pode ser inferior a dois. O cálculo é representado pela seguinte expressão:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Onde  $R_b$  é a relação de bifurcação,  $N_u$  representa o número de segmentos de determinada ordem e  $N_{u+1}$  é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

Com base na análise da relação de bifurcação, HORTON (*op. cit.*) estabeleceu uma das leis da composição da drenagem, enunciada da seguinte maneira: “Em uma bacia determinada, a soma dos números de canais de cada ordem forma uma série geométrica inversa, cujo primeiro termo é a unidade de primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação”.

A lei do número de canais estabelece-se sem considerar nenhuma mensuração, mas somente o ponto de origem e a confluência dos segmentos. O reconhecimento e a determinação com precisão dos cursos fluviais, que podem ser realizados a partir de imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas ou no terreno, são fundamentais para a relação e o estabelecimento da lei do número de canais. Esclarece-se que o detalhamento e precisão das informações estão diretamente ligados e podem variar em função da escala utilizada na confecção das cartas topográficas.

Outra questão importante a ser considerada é a distinção entre o escoamento fluvial e os canais pluviais. O primeiro apresenta-se marcado, nitidamente compondo uma rede de drenagem permanente, enquanto que o segundo é resultado do escoamento superficial imediato, considerando-se uma dada precipitação. Estes parâmetros são estabelecidos sobre as vertentes e não devem ser considerados no estabelecimento das redes hidrográficas.

- **Comprimento do rio principal:** consiste na distância que se estabelece ao longo do curso de água desde sua desembocadura até determinada nascente. O problema encontrado para determinar este parâmetro mensurável reside na definição em se estabelecer qual é o rio principal em relação, às suas nascentes ou montante superior da drenagem pré-estabelecida.

Para a resolução deste problema, conforme citado em CHRISTOFOLETTI (1980, p. 111), podem ser considerados de forma prática ou com precisão, alguns direcionamentos como:

- 1) aplicar os critérios determinados por HORTON (*op. cit.*), onde o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal;

- 2) em cada bifurcação, partindo da desembocadura, optar pelo ligamento de maior amplitude;

- 3) a partir de cada confluência, depois da desembocadura, seguir o canal fluvial a montante situado na cota altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem localizada em posição altimétrica mais alta, no conjunto da bacia hidrográfica;

- 4) curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos, SHREVE<sup>8</sup> (1974) citado por CHRISTOFOLETTI (1980).

Considerando os critérios a serem utilizados evidencia-se a subjetividade e praticidade do funcionamento hidrológico dos critérios um e dois, enquanto que o terceiro critério exige determinação precisa das cotas altimétricas, oferecendo a possibilidade para análise das características topográficas. Já o quarto critério também apresenta praticidade interrelacionando-se com aspectos morfométricos e

---

<sup>8</sup> SHREVE, R. L. **Variations of mainstream length with basin area in river networks.** Water Resources Research (1974), 10 (6): p. 1167-1177.

topológicos da rede de drenagem. Salienta-se, no entanto, que a aplicação de quaisquer dos critérios propostos, apresentou diferenças mínimas entre si, que em função da escala utilizada, considerando o tamanho da bacia hidrográfica a ser analisada, pode ser significativa.

Optou-se em trabalhar com estes dois parâmetros na análise linear das sub-bacias do alto curso superior do rio Iguaçu, em função de que os resultados obtidos através destes parâmetros podem indicar o grau de evolução cronológica evolutiva do comportamento da drenagem estabelecida sobre o terreno, considerando a relação de bifurcação estabelecida ao longo do rio principal, relacionadas com a dissecação do relevo. Observando-se também as características litológicas, onde a incidência maior da distribuição de rede de drenagem pode ser relacionada ao número de bifurcações existentes em diferentes momentos ao longo do curso de água principal demonstrando a resistência dos corpos rochosos aos processos de intemperismo natural, e à permeabilidade dos mesmos.

#### c) Análise areal da rede hidrográfica

Para a realização da análise areal da bacia hidrográfica, englobou-se vários índices relacionados especificamente às medições planimétricas, além de medições lineares. Entre os vários índices que podem ser obtidos através destas medições, trabalhou-se com os seguintes:

- **Área da bacia:** considerada como toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada no plano horizontal, ou seja, representa a região ocupada pela rede de drenagem de uma determinada bacia hidrográfica. Esta mensuração pode ser obtida de diversas maneiras, porém as mais ágeis e eficazes são as realizadas com a utilização do planímetro e pelo uso de informações computacionais através de *softwares* específicos.

- **Forma da bacia:** corresponde a semelhança existente entre a forma superficial da bacia hidrográfica projetada no plano horizontal, com uma figura geométrica qualquer. A fim de evitar a subjetividade na caracterização da forma das bacias, entre os vários processos propostos, o utilizado neste trabalho refere-se ao método proposto por MILLER<sup>9</sup> (1953), citado por CHRISTOFOLETTI (1980, p. 114),

---

<sup>9</sup> MILLER, V. C. **A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area.** Technical Report (1953), (3), Dept. Geology Columbia University.

que define o índice de circularidade, que consiste em relacionar a área da bacia e a área de círculo de mesmo perímetro, empregando-se a seguinte fórmula:

$$I_c = \frac{A}{A_c}$$

Na qual,  $I_c$  representa o índice de circularidade;  $A$  é a área da bacia e  $A_c$  significa a área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada. O valor máximo de obtenção é igual a 1, sendo que, quanto maior o valor obtido, mais próxima da forma circular estará a bacia de drenagem.

Outra maneira de se estabelecer o fator de forma de uma bacia foi proposto por LEE e SALLE<sup>10</sup> (1970) citados por CHRISTOFOLETTI (1980), que sugerem a delimitação da bacia, independente da escala, traçando-se uma figura geométrica qualquer (círculo, triângulo, quadrado, etc.) desde que se possa cobrir da melhor maneira possível a área da referida bacia. Na seqüência, relaciona-se a área englobada simultaneamente pelas duas com a área total que pode pertencer à bacia e ou à figura geométrica, obtendo-se um índice de forma, aplicando a seguinte fórmula:

$$I_f = 1 - \frac{(\text{área } K \cap L)}{(\text{área } K \cup L)}$$

Onde  $I_f$  é o índice de forma;  $K$  é a área da bacia;  $L$  é a área da figura geométrica. Neste método, quanto menor for o índice, mais próximo da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia.

É possível também se utilizar o fator de forma ( $K_f$ ), proposta por JORGE e UEHARA (1998) que representa a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. A largura média obtém-se pela divisão da área da bacia ( $A$ , em  $\text{Km}^2$ ) pelo seu comprimento ( $L$ , em  $\text{Km}$ ). O comprimento da bacia está relacionado à

---

<sup>10</sup> LEE, D. R.; SALLE, G. T. **A method of measuring shape**. Geographical Review (1970), 60 (4), p. 555-563.

extensão do curso de água mais longo, desde a sua desembocadura até suas nascentes mais distantes. Expressa-se o fator de forma pela seguinte fórmula:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Observando-se o fator de forma de uma bacia conclui-se que, quando esta se apresenta baixa (por exemplo, estreita e longa), esta estará menos sujeita à inundações que outra de mesmo tamanho porém com maior fator de forma (por exemplo, circular).

- **Densidade de rios:** representa a relação entre o número de rios ou canais de água e a área da bacia hidrográfica. Tem como finalidade comparar a frequência e quantidade de canais de drenagem ocorrentes em determinada área com tamanho padrão podendo ser em Km<sup>2</sup>, por exemplo. Esta relação foi primeiramente definida por HORTON (1945) e pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$Dr = \frac{N}{A}$$

Sendo *Dr* a densidade de rios; *N* o número total de rios ou cursos de água e *A* a área da determinada bacia hidrográfica.

Utilizando os critérios de STRAHLER (1952), de ordenação da drenagem, o número de canais corresponderá à quantidade de canais de primeira ordem, pois implica que todo e qualquer rio procede de uma nascente.

A importância da distribuição e ocorrência dos canais de drenagem consiste em que este represente o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos de água.

- **Densidade da drenagem:** é a relação existente entre o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Índice inicialmente definido por HORTON (1945), que pode ser expresso através da utilização da seguinte equação:

$$Dd = \frac{L_t}{A}$$

Onde  $Dd$  significa a densidade de drenagem;  $L_t$  representa o comprimento total dos canais de escoamento e  $A$  a área da bacia hidrográfica.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1980, p. 116) considerando um mesmo ambiente climático, o comportamento hidrogeológico das rochas terá repercussão na densidade de drenagem. Nas rochas onde a infiltração é menor há condições melhores para o escoamento superficial, criando possibilidades para a esculturação de canais, tal como entre as rochas clásticas de granulação fina, e, como consequência, densidade de drenagem mais elevada. O inverso ocorre com as rochas de granulometria grossa.

Pode representar também o grau de dissecação topográfica. Ou seja, onde ocorre a densidade de drenagem baixa, a presença de rios é menor, pois os solos são mais permeáveis, ocorrendo o predomínio da infiltração sobre o escoamento superficial. Quando a densidade de drenagem é mais alta, há maior número de rios, pois os solos são mais impermeáveis, ocorrendo predomínio do escoamento superficial sobre a infiltração.

Segundo BELTRAME (1994, p.84), a classificação da Densidade de Drenagem e Densidade de Rios, pode ser estabelecida de acordo com o Quadro 8.

QUADRO 8 - CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES DE DRENAGEM

CLASSIFICAÇÃO	VALORES
BAIXA	< 0,5
MEDIANA	0,5 – 2,0
ALTA	2,01 – 3,5
MUITO ALTA	> 3,5

Fonte: modificado de BELTRAME (1994)

- **Coefficiente de manutenção:** este índice proposto por Schumm<sup>11</sup> (1956) citado por CHRISTOFOLETTI (1980), tem por objetivo fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Pode-

<sup>11</sup> SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy.** Geol. Soc. America Bulletin (1956), 67, p. 597-646.

se considerar este como um dos principais parâmetros a serem quantificados em uma rede de drenagem, com fins ao planejamento territorial e ambiental, sendo possível ser calculado através da seguinte expressão, a fim de que seja significativa na escala métrica:

$$C_m = \frac{1}{D_d} \cdot 1000$$

Onde  $C_m$  é o coeficiente de manutenção e  $D_d$  representa o valor da densidade de drenagem, expresso em metros.

d) Análise hipsométrica da rede hidrográfica

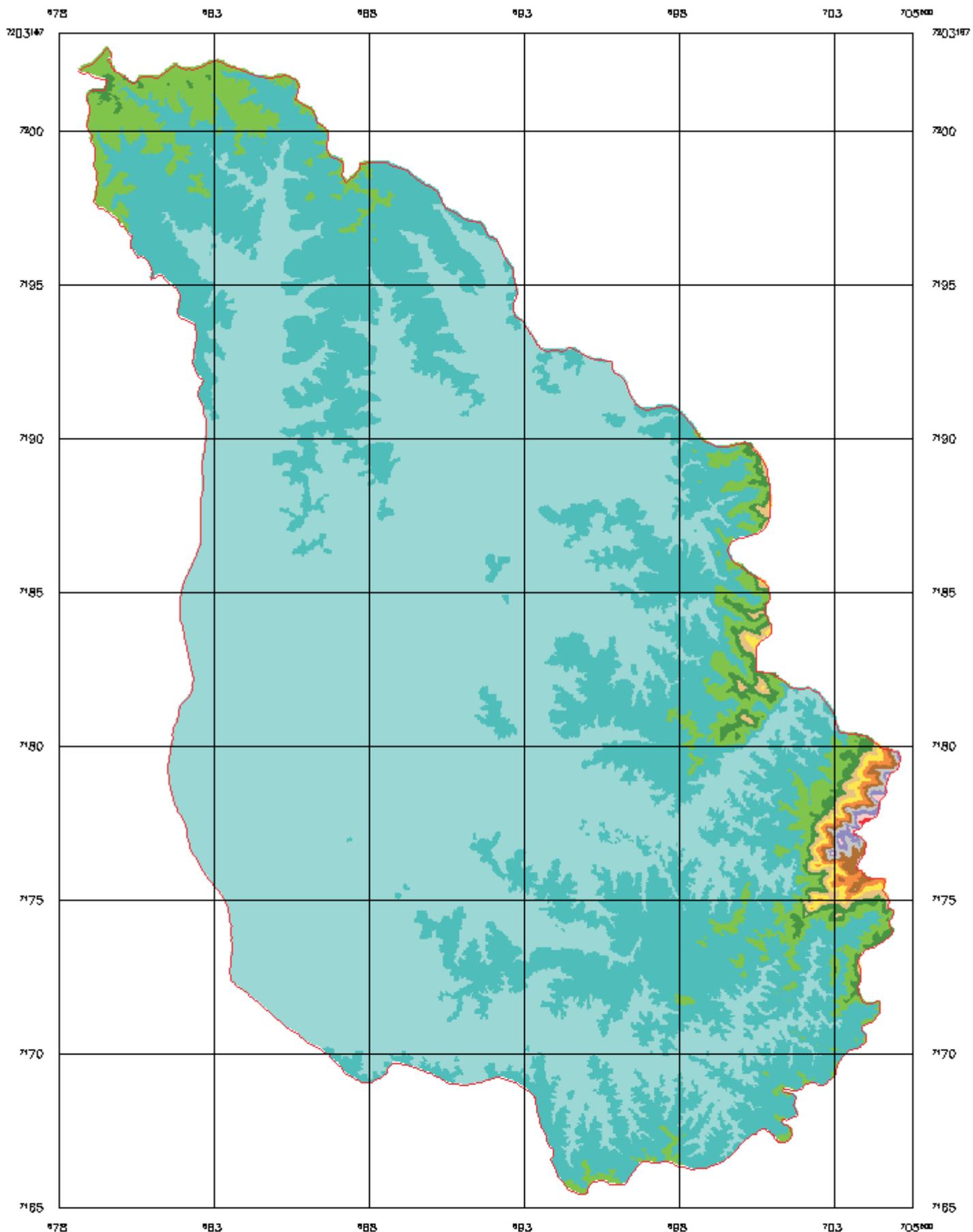
Este parâmetro representa a importância do relevo de uma bacia hidrográfica e, principalmente, a influência que exerce a declividade dos seus terrenos na velocidade do escoamento superficial, agindo, portanto, no tempo que a água pluvial leva para concentrar-se nos leitos fluviais, formadores da rede de drenagem da bacia.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1980 p. 117):

A hipsometria preocupa-se em estudar as interrelações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante a sua distribuição em relação às faixas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoipsa base.

Desta forma pode-se dizer que a curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo médio de uma bacia constituindo o estudo das variações das elevações do terreno da bacia hidrográfica, tomando como referência o nível do mar (Figura 18). Para JORGE e UEHARA (1998), a organização espacial dos rios está diretamente influenciada e controlada pelas características das estruturas geológicas e geomorfológicas da bacia de drenagem. Assim as altitudes das camadas, bem como outras estruturas geológicas tais como falhas e diáclases influem tanto na topografia e forma dos terrenos da bacia, como também no padrão de drenagem.

FIGURA 18 – CARTA HIPSOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

— LIMITE DA BACIA

PARÂMETRO DE HIPSOMETRIA EM METRO

670 – 920 m	1170 – 1220 m
920 – 970 m	1220 – 1270 m
970 – 1020 m	1270 – 1320 m
1020 – 1070 m	1320 – 1370 m
1070 – 1120 m	1370 – 1420 m
1120 – 1170 m	acima da 1420 m



1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000

Elaboração: Sandro José Briski (2003)  
Elaborado a partir das curvas de nível  
da SUDERHSA (2000)

Justifica-se a importância do conhecimento dos índices de variação de inclinação das curvas hipsométricas de uma bacia na aplicação de estudos de processos erosivos, bem como para a elaboração de planos de zoneamento ambiental em relação ao uso e ocupação do solo.

Em relação à análise hipsométrica neste estudo foram tomados dois principais parâmetros:

- **Amplitude altimétrica máxima da bacia ( $H_m$ ):** Corresponde à diferença altimétrica entre a cota mais baixa do exutório da bacia e a altitude do ponto mais elevado de seu divisor topográfico. No entanto cabe salientar que dificuldades podem surgir na determinação destes valores, visto que, por vezes, a cota máxima pode representar apenas um ponto excepcional dentro da bacia, ou escarpas ou frentes montanhosas na qual nascem somente alguns canais da rede de drenagem. Isto pode mascarar a realidade da rugosidade do relevo. É possível também que a cota máxima encontre-se próximo ao exutório da bacia, em faixas interfluviais, quando todo o restante do relevo encontra-se em cotas inferiores.

Nestes casos alguns procedimentos podem ser utilizados para amenizar estes efeitos de sombreamento da realidade como, por exemplo, considerar a magnitude da área da bacia para obter uma média com as cotas máximas dos divisores topográficos da mesma.

- **Relação de relevo:** esta relação foi demonstrada inicialmente por SCHUMM (1956), citado por CHRISTOFOLETTI (1980, p. 120), consiste no relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, tomando como medida a porção paralela à principal linha de drenagem.

Este parâmetro pode ser calculado pela seguinte equação:

$$Rr = \frac{H_m}{L_b}$$

Na qual  $Rr$  significa a relação de relevo,  $H_m$  representa a amplitude topográfica máxima e  $L_b$  o comprimento da bacia, sendo mais aconselhável à utilização do diâmetro geométrico da bacia, ou o comprimento do principal curso da drenagem superficial.

e) Padrões de drenagem da rede hidrográfica

O padrão de drenagem representa o arranjo e distribuição, em planta, dos cursos de água superficiais dentro de uma bacia hidrográfica. É possível em razão destes arranjos estabelecer um sistema de classificação dos rios que pode ser genética e ou geométrica.

Os padrões de drenagem apresentam-se como importante subsídio no indicativo da permeabilidade relativa do terreno e dos controles exercidos pelas estruturas e pelos diferentes tipos de rochas que atuam sobre a infiltração, modelos de arranjos de distribuição das águas superficiais e movimentação das águas subterrâneas. Segundo JORGE e UEHARA (1998), o conhecimento da tipologia dos padrões, possibilitam a realização de algumas interpretações acerca da natureza dos terrenos, a disposição das camadas, as linhas de falhamento e os processos fluviais e climáticos predominantes.

- **Classificação genética:** realizada em função da disposição dos rios em relação à altitude das camadas geológicas, podendo os mesmos ser classificados da seguinte forma (Figura 19):

- a) rios consequentes – são rios que possuem seus canais determinados pela declividade do terreno, coincidindo, de modo geral, com o mergulho das camadas geológicas. Estes rios formam normalmente cursos retilíneos e drenagem paralela, em direção às baixadas do relevo.

- b) rios subsequentes – são os rios que apresentam o sentido de seu fluxo controlado pela estrutura rochosa, acompanhando invariavelmente uma zona de fraqueza, como uma falha, diaclasamento, junta, rochas com menor resistência, etc. Em áreas sedimentares apresentam-se perpendiculares à inclinação principal das camadas, ou seja, normalmente são perpendiculares aos rios consequentes.

- c) rios obsequentes – são os rios que ocorrem no sentido inverso à inclinação do mergulho regional das camadas geológicas, ou seja, em sentido oposto ao dos rios consequentes. Normalmente seus canais possuem pequena extensão, descendo de escarpas e fluindo até desaguar em rios subsequentes.

- d) rios ressequentes – são os rios que possuem seu fluxo na mesma direção dos consequentes mas no entanto nascem em nível mais baixo. Geralmente nascem no reverso de escarpas e fluem até desaguar em rios subsequentes.

e) rios inseqüentes – são os rios cujo os canais não apresentam relações com o controle geológico e estrutural visível na disposição espacial da drenagem. O fluxo de seus canais ocorre de acordo com as particularidades da morfologia, em direções variadas, assim normalmente se desenvolvem em rochas homogêneas, representadas tanto por sedimentos horizontais, como por rochas graníticas.

- **Classificação geométrica:** realizada em função de critérios geométricos da disposição espacial dos rios e seus afluentes, sem haver qualquer conotação genética, podendo os mesmos ser classificados da seguinte maneira (Figura 20):

a) drenagem dendrítica – também designada de arborescente. Ocorre tipicamente sobre litologias de resistência uniforme ou em rochas com estratificação horizontal. Invariavelmente seus entroncamentos formam ângulos agudos de graduações variadas, sem nunca formarem ângulos retos. Caso raramente ocorra a presença de ângulos retos nos padrões dendríticos, o fato se caracteriza como uma anomalia decorrente geralmente de fenômenos tectônicos superimpostos.

b) drenagem retangular – este padrão de drenagem é resultante do controle estrutural de fraturamento geológico exercido por falhas ou sistemas de diaclasamento ou de juntas. Situa-se em regiões onde diáclases ou falhas cruzam-se em ângulo reto. Observa-se que em determinadas ocasiões, a presença desse padrão, pode estar relacionado à composição diferenciada das camadas horizontais ou homoclinais.

c) drenagem paralela – padrão de drenagem que desenvolve-se em áreas onde ocorre a presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existam controles estruturais, motivando a ocorrência do espaçamento regular, praticamente paralelo, dos canais fluviais. Este tipo de drenagem é muito comum em regiões com lineamentos estruturais paralelos bem como em áreas de falhas paralelas.

d) drenagem radial – podem apresentar-se de duas formas a centrífuga ou a centrípeta. A primeira resulta de áreas onde podem ocorrer domos, cones vulcânicos, morros isolados ou relevos residuais situados acima do nível geral de erosão de um modo geral. Tendo esta como característica geral seus canais divergindo a partir de centros mais altos do relevo. Já a drenagem centrípeta apresenta o comportamento inverso onde os cursos de água convergem para as áreas mais deprimidas do relevo, como em crateras vulcânicas, grandes dolinas ou depressões topográficas abaciadas de um modo geral.

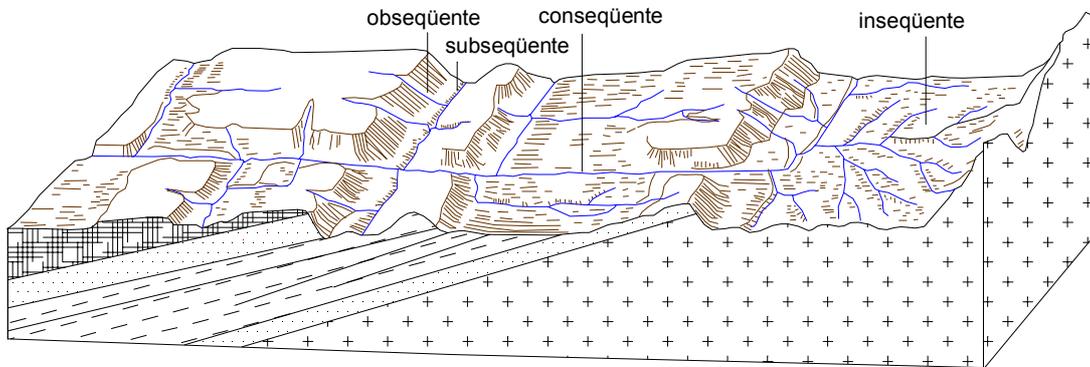
e) drenagem em treliça – caracteriza-se por apresentar rios principais conseqüentes, com fluxos paralelos, recebendo afluentes subseqüentes que correm em direção transversal aos primeiros. Podendo, por sua vez, os últimos receber rios obseqüentes e resseqüentes. Normalmente, suas confluências encontram-se em ângulos retos. O controle estrutural sobre esta forma de padrão de drenagem é bastante acentuado em razão da diferença de resistência entre as camadas inclinadas, com afloramentos estreitos em faixas paralelas. Através do entalhe ocasionado pelos tributários subseqüentes agindo sobre as rochas mais frágeis, propicia a formação de cristas paralelas, devido às camadas mais resistentes sobressaindo ao relevo regional.

f) drenagem anelar – este tipo de drenagem possui sua ocorrência em áreas dômicas profundas entalhadas em estruturas de resistência diferenciada formadas por camadas duras e moles. A acomodação dos cursos de água ocorre preferencialmente sobre os afloramentos de rochas menos resistentes, originando canais subseqüentes os quais por sua vez podem receber tributários obseqüentes e resseqüentes.

g) drenagens irregulares – designadas também de desarranjadas, este tipo de drenagem ocorre em áreas de soerguimento ou sedimentação recentes, onde a drenagem ainda não atingiu um padrão definido.

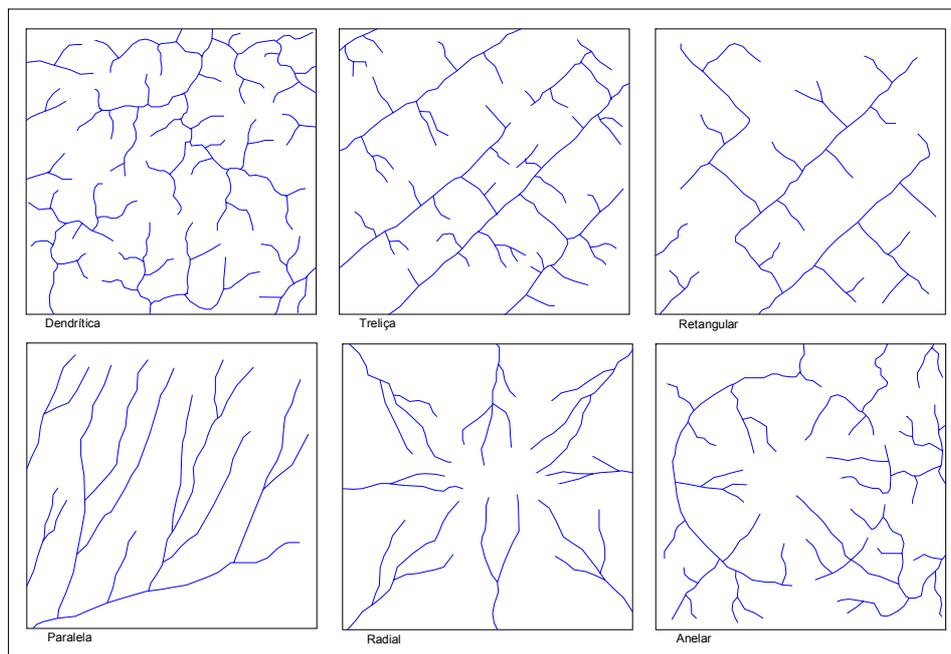
Na análise que segue sobre as sub-bacias do alto curso da bacia hidrográfica do rio Iguaçu, é possível evidenciar claramente a ocorrência de alguns destes padrões acima descritos.

FIGURA 19 – CLASSIFICAÇÃO GENÉTICA DE DRENAGEM



Fonte: Modificado de SUGUIO e BIGARELLA<sup>12</sup> (1990) citados por JORGE e UEHARA (1998)

FIGURA 20 – CLASSIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DE PADRÃO DE DRENAGEM



Fonte: Modificado de CHRISTOFOLETTI (1980)

<sup>12</sup> SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes Fluviais**. 2º ed., Florianópolis: UFSC/UFPR, 1990. 183p.

## 6.2 APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NAS SUB-BACIAS DO ALTO CURSO SUPERIOR DO RIO IGUAÇU

Como anteriormente mencionado, é imprescindível a utilização de alguns parâmetros morfométricos para a caracterização da espacialidade e distribuição da rede de drenagem de uma determinada bacia hidrográfica. Através da análise das relações da morfometria dos canais é possível tecer considerações a respeito dos aspectos geológicos e geomorfológicos determinantes de tais relações de comportamento hidrogeológico superficial nas unidades geológicas presentes na área.

Utilizando-se destas análises tornou-se possível verificar e quantificar alguns aspectos da influência geológica sobre o controle da rede de drenagem. Trabalhando com nove sub-bacias formadoras da grande bacia hidrográfica do curso superior do Alto Iguaçu, aplicou-se a mesma relação de parâmetros em cada uma delas individualizadas. A importância das aplicações morfométricas da hierarquização fluvial, da definição dos padrões da rede de drenagem, da análise linear, da análise areal e da análise hipsométrica, está no fato que os mesmos servem de subsídios para o traçado da compartimentação morfolitoestrutural e as possíveis respostas aos diferentes modelos de uso e ocupação do solo que tais compartimentos fornecem sob o “*stress*” (impacto) das atividades antropogênicas.

QUADRO 9 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO IRAÍ

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		54,15 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		52.503,56 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		4 <sup>o</sup>
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		16.156,41 m
Comprimento do rio principal		22.446,46 m
Comprimento total dos rios		71,36 Km
Densidade de drenagem – Dd		1,31
Densidade de rios – Dr		1,71
Relação de relevo – Rr		0,0043
Coeficiente de manutenção - Cm		763,35
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,21
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		940 m s. n. m.
Altitude mínima		870 m s. n. m.
Amplitude altimétrica		70 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1 <sup>o</sup>	93	-
2 <sup>o</sup>	24	3,88
3 <sup>o</sup>	5	4,8
4 <sup>o</sup>	1	5

Com área aproximada de 54 Km<sup>2</sup>, a bacia hidrográfica do rio Iraí encontra-se situada no setor central da bacia hidrográfica do alto curso do rio Iguaçu, com seu exutório no extremo leste da mesma. Tal fator justifica em parte os resultados dos parâmetros morfométricos observados no Quadro 9.

Os resultados indicam que entre as sub-bacias formadoras da grande bacia hidrográfica, esta é a que apresenta as menores densidades de drenagem e de rios com hierarquia de quarta ordem (Figura 21), podendo ser classificada como mediana tomando os padrões propostos por BELTRAME (1994). Isto se justifica pela mesma se encontrar quase que totalmente inserida sobre a formação geológica das classes aluvionares e coluvionares e, conseqüentemente, sobre a cobertura superficial representada por solos orgânicos e hidromórficos. Esta associação das características superficiais, geologia e solos, indicam áreas com maior permeabilidade considerando a relação destes mesmos aspectos relacionados às outras sub-bacias aqui analisadas.

Quanto à relação de relevo observa-se que, em comparação com as demais sub-bacias, esta apresenta a menor amplitude, condicionando, de um modo geral, uma vazão menos energética. Associado a este fato, também há de se considerar

sua amplitude altimétrica, a qual não ultrapassa 70 m, caracterizando assim uma das áreas mais planas da bacia hidrográfica como um todo, principalmente em seus terços, médio e inferior.

Com um coeficiente de manutenção de aproximadamente 763 m<sup>2</sup> de área para os canais de escoamento, apresenta índices elevados quando considerada toda a área da bacia hidrográfica. Sendo este índice de grande representatividade ao planejamento ambiental, demonstra que esta área em particular requer atenção especial quanto ao modo de uso e cobertura do solo que, considerando seu coeficiente de manutenção o espaço territorial das margens dos canais de escoamento poderiam ser minimamente ocupado.

Outro parâmetro a ser considerado quanto ao modelo de ocupação de uma determinada área localizada dentro dos limites de uma bacia hidrográfica é seu fator “forma” que neste caso específico apresenta um índice de 0,21 onde o máximo é representado pelo índice 1. Considerando este resultado, a sub-bacia em questão não apresenta condições que favoreçam a inundações. Porém há de se considerar que seus terços, médio e inferior, por encontrarem-se inseridos no leito maior dos canais, ou seja, em planícies de inundação, podem em decorrência de precipitações torrenciais ou índices elevados acima da média pluviométrica da região, ter estas planícies inundadas. Conseqüentemente suas águas podem extrapolar para o leito maior dos canais, os quais devem ser preservados quanto à ocupação e uso do solo.

Como fator relacionado ao controle estrutural e litológico sobre a drenagem superficial desta sub-bacia hidrográfica, é possível observar o padrão geométrico dendrítico da drenagem que se estabelece em seu terço superior, (Figura 22). Este tipo específico de padrão de drenagem ocorre sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas estratificada horizontais, que é o caso da região por esta ser uma bacia sedimentar ainda em processo de evolução.

FIGURA 21 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO IRAI

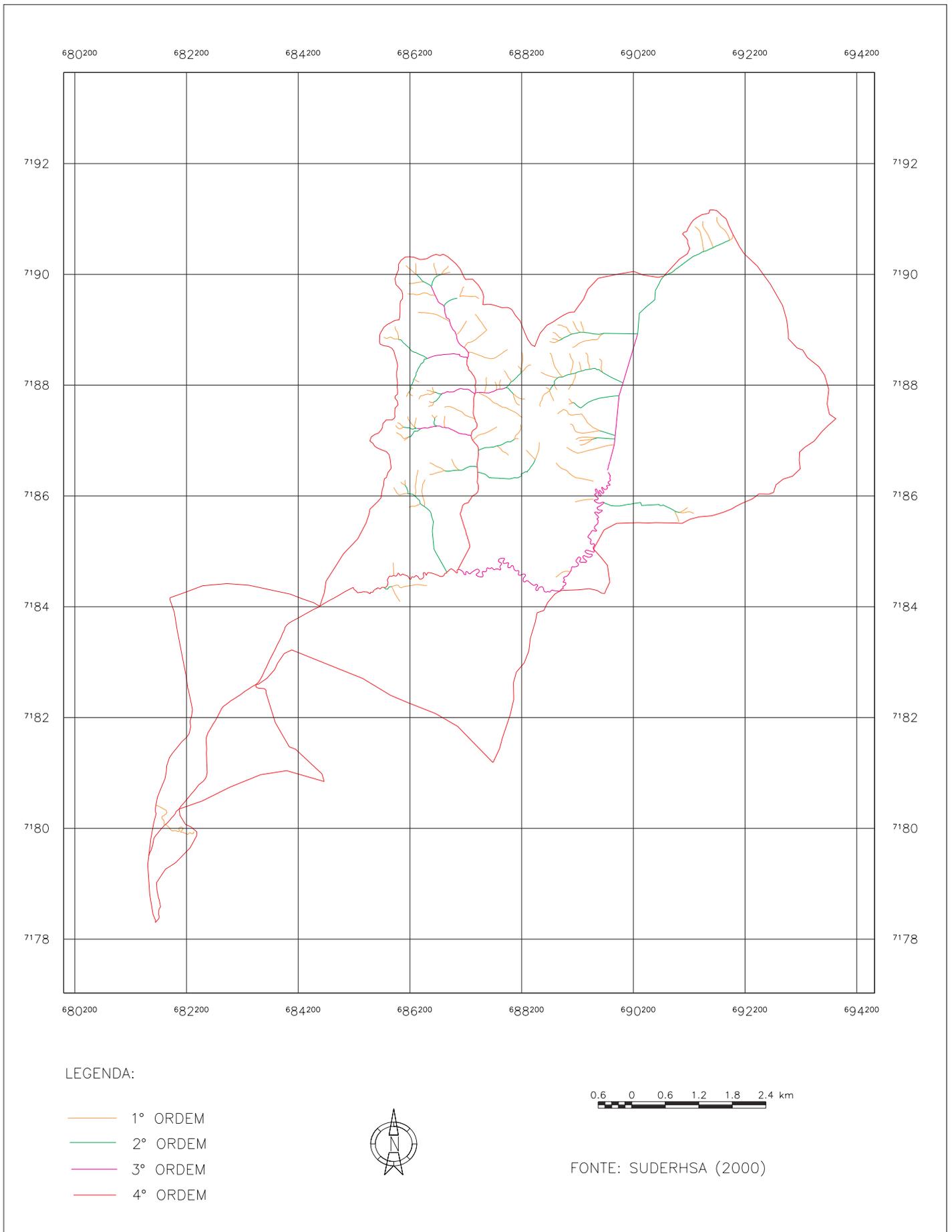
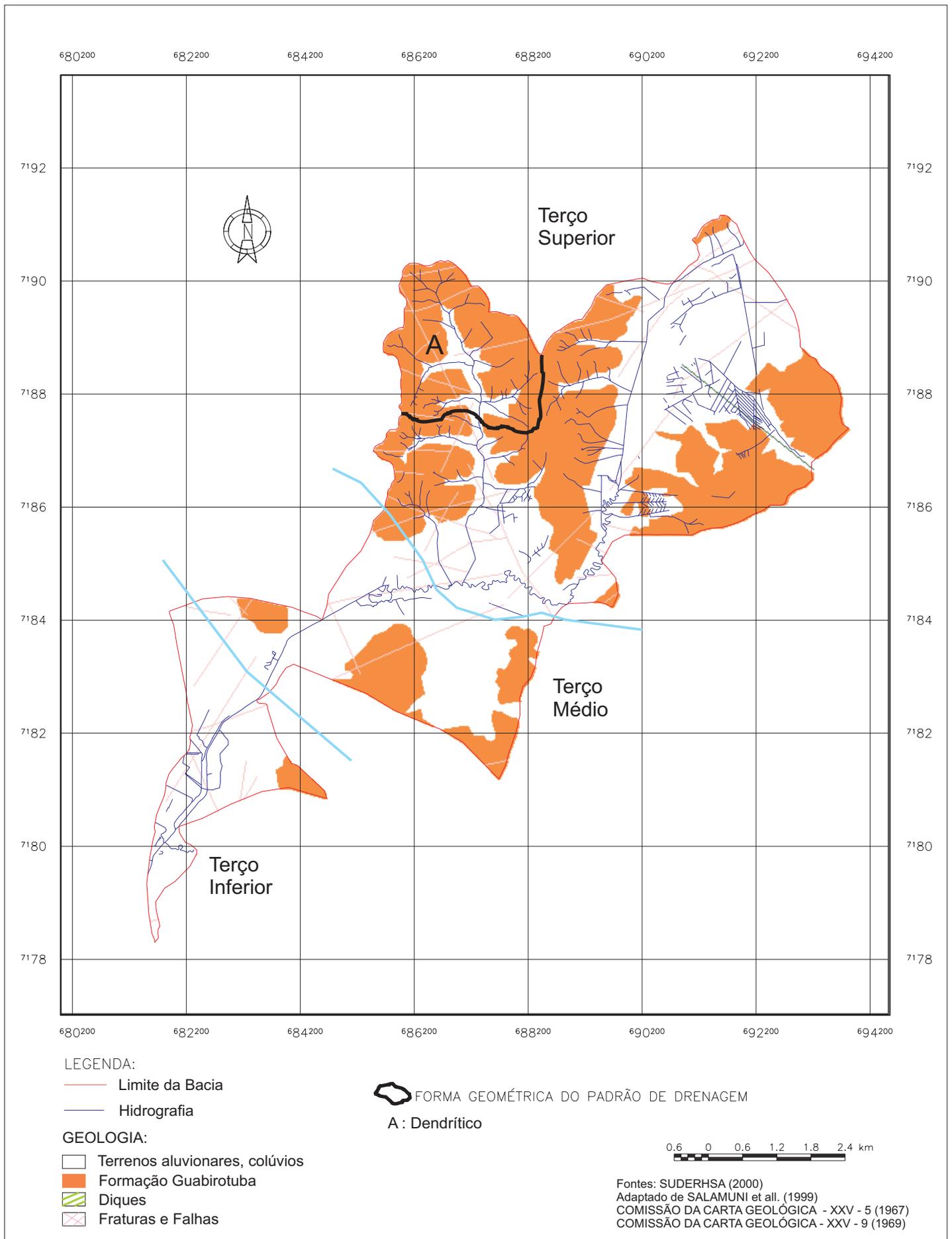


FIGURA 22 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO IRAI



QUADRO 10 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO PALMITAL

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		93,05 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		57.917,16 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		5°
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		19.304,05 m
Comprimento do rio principal		21.204,66 m
Comprimento total dos rios		234,80 Km
Densidade de drenagem – Dd		2,52
Densidade de rios – Dr		4,89
Relação de relevo – Rr		0,0097
Coeficiente de manutenção - Cm		396,82
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,25
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		1064 m s. n. m.
Altitude mínima		875 m s. n. m.
Amplitude altimétrica		189 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1°	464	-
2°	105	4,42
3°	26	4,04
4°	4	6,5
5°	1	4

Com recorte espacial aproximado de 93 Km<sup>2</sup>, a sub-bacia hidrográfica do rio Palmital possui suas nascentes ao norte e seu exutório no extremo leste da bacia hidrográfica do alto curso do rio Iguaçu, sendo a mesma tributária da sub-bacia do rio Iraí. Sua localização espacial, e sua forma alongada são fatores determinantes de seus parâmetros morfométricos relacionados no Quadro 10 acima observado.

Seu terço superior ao norte encontra-se inserido em litologias diferenciadas representadas pelo Grupo Açungui com mármores, filitos e quartzitos, além das formações de gnaisses-granodioritos migmatizados e com presença de diques básicos. Associados no sentido leste nos terços médio e inferior estão os terrenos aluvionares e colúvionares juntamente com a Formação Guabiro tuba. Esta transição morfológica de um ambiente metamorfizado para um ambiente de deposição associada a outros fatores e elementos de ordem física, biológica e química favorece ao desenvolvimento da cobertura superficial representada por latossolos, cambissolos, podzólicos, rubrozen além dos hidromórficos e orgânicos. Estas características conferem uma hierarquia de 5° ordem para a sub-bacia (Figura 23), onde a maior concentração de densidade de drenagem e de rios ocorre em seu

terço superior com maior número canais de primeira ordem, e extremo oeste do terço médio, onde se encontram as rochas mais resistentes e menos permeáveis, assim como as classes de solos que apresentam também baixa permeabilidade. A estas características associam-se os aspectos do relevo mais acidentado com cotas máximas atingindo até 1064 m s. n. m. (sobre o nível do mar). Segundo os parâmetros estabelecidos por BELTRAME (1994) esta sub-bacia pode ser classificada como alta em relação à sua densidade de drenagem e de rios.

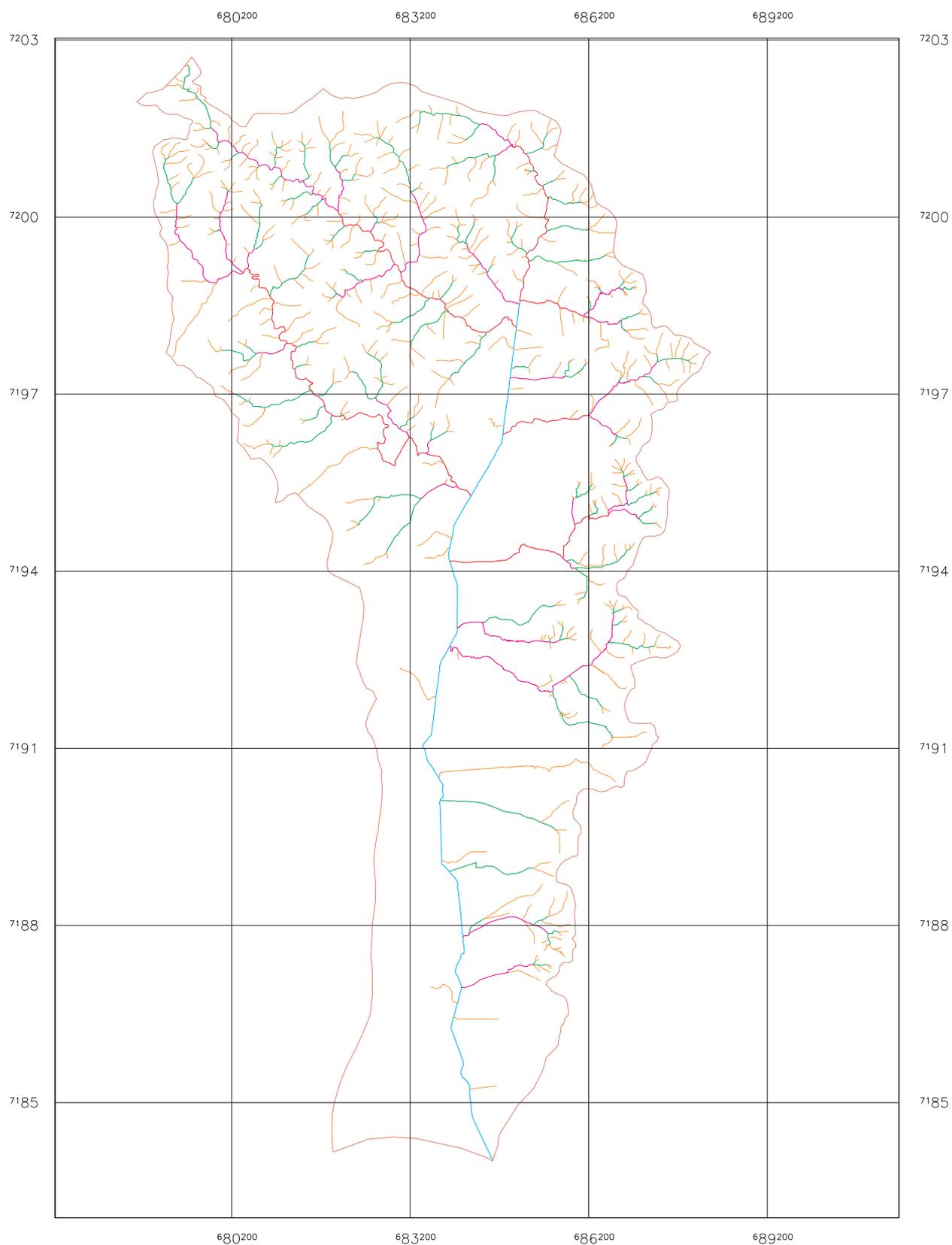
Seu relevo apresentar-se mais acidentado em seu extremo norte, conferindo-lhe no total uma amplitude altimétrica de 189 m. Apesar do coeficiente de relação de relevo ser considerado baixo, apresenta uma energia maior em seu terço superior, diminuindo gradativamente seu gradiente energético de vazão em seus terços, médio e inferior onde o relevo apresenta-se mais suavizado.

Considerando o coeficiente de manutenção este indica que o ideal para a manutenção de seus canais de escoamento, seria de aproximadamente  $396 \text{ m}^2$ , índice que representa uma média entre a maioria das sub-bacias da região.

Quanto ao fator de forma a mesma apresenta o índice de 0,25 com referência ao índice 1, indicando que sua forma não favorece a inundações. Porém as mesmas ressalvas referentes a sub-bacia do rio Iraí se fazem presentes nesta sub-bacia, principalmente em seu terço inferior que encontra-se em ampla planície de inundação, local que conseqüentemente deve ser evitado quanto ao uso e ocupação.

Observando seu padrão geométrico de drenagem nota-se em seu terço superior a ocorrência de drenagem paralela (Figura 24), indicando a presença de inclinações acentuadas e controle estrutural efetivo, com inclinações unidirecionais e camadas resistentes com presença de diques. Em seus terços, médio e inferior a ocorrência maior é do padrão dendrítico, predominando as rochas com resistência uniforme e estratificações horizontais relativo neste caso a ambientes de deposição.

FIGURA 23 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO PALMITAL



LEGENDA:

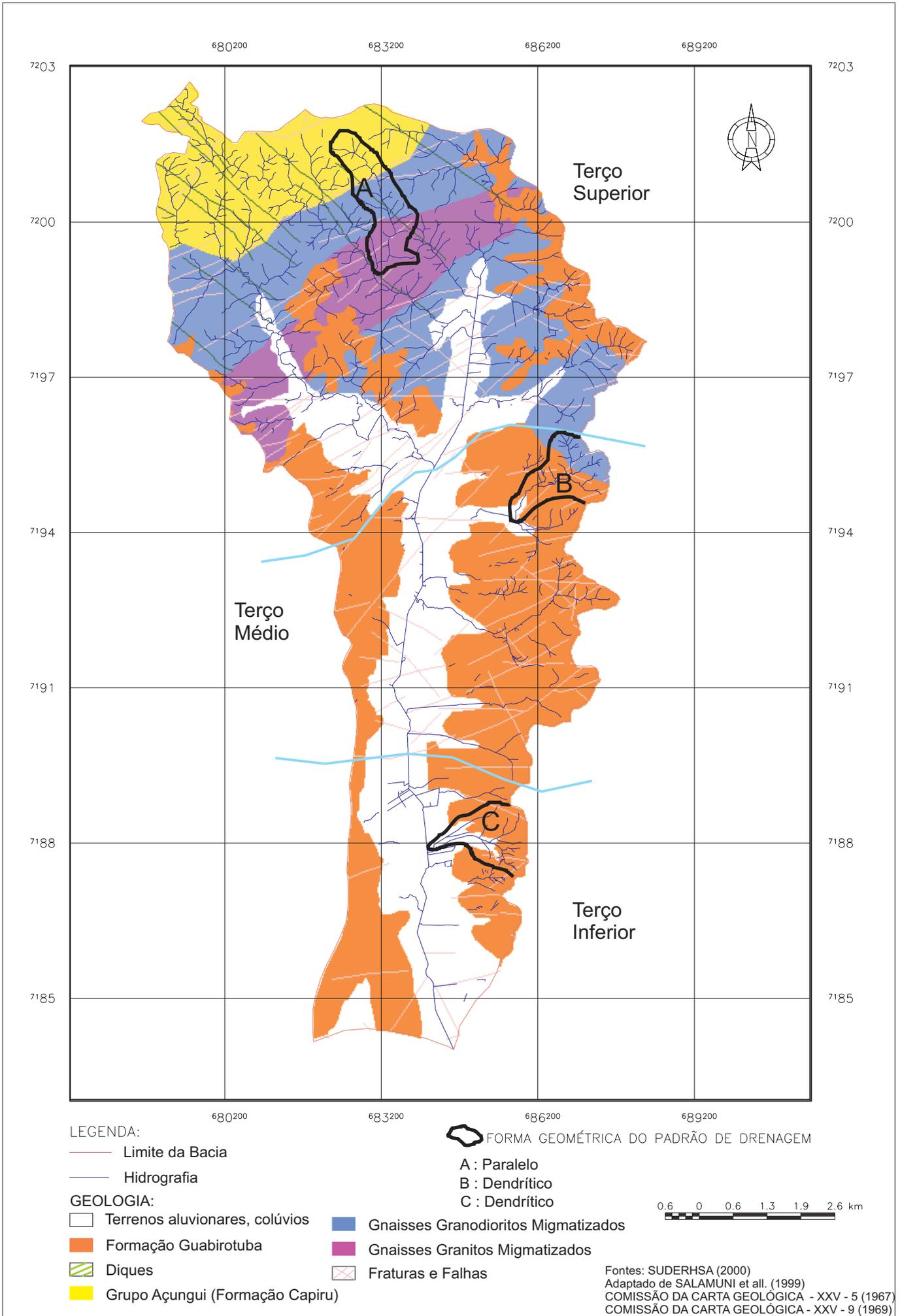
- 1° ORDEM
- 2° ORDEM
- 3° ORDEM
- 4° ORDEM
- 5° ORDEM



0,6 0 0,6 1,3 1,9 2,6 km

FONTE: SUDERHSA (2000)

FIGURA 24 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO PALMITAL



QUADRO 11 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO PIRAQUARA

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		101,25 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		56.437,77 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		6 <sup>o</sup>
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		17.484,03 m
Comprimento do rio principal		37.194,18 m
Comprimento total dos rios		340,90 Km
Densidade de drenagem – Dd		3,36
Densidade de rios – Dr		6,11
Relação de relevo – Rr		0,0285
Coeficiente de manutenção - Cm		297,61
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,33
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		1380 m s. n. m.
Altitude mínima		880 m s. n. m.
Amplitude altimétrica		500 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1 <sup>o</sup>	619	-
2 <sup>o</sup>	148	4,18
3 <sup>o</sup>	36	4,11
4 <sup>o</sup>	11	3,27
5 <sup>o</sup>	2	5,5
6 <sup>o</sup>	1	2

Ocupando área aproximada de 101 Km<sup>2</sup>, a sub-bacia hidrográfica do rio Piraquara é a segunda maior bacia do complexo hidrográfico superior do alto curso do rio Iguaçu, situando-se suas nascentes no setor leste e seu exutório no centro da bacia hidrográfica do alto curso superior do rio Iguaçu, sendo a mesma tributária da sub-bacia do rio Iraí. Através da observação de seus parâmetros morfométricos descritos no Quadro 11, nota-se a influência de sua localização nos resultados obtidos.

Apresentando a segunda maior densidade de drenagem e de rios, hierarquicamente configura-se como uma bacia hidrográfica de 6<sup>a</sup> ordem (Figura 25), podendo ser classificada como alta considerando os parâmetros propostos por BELTRAME (1994). Considerando estes índices, é possível associá-los à base geológica sobre a qual encontra-se estabelecida à bacia, bem como as características da cobertura superficial. Em seu extremo leste a bacia encontra-se nos domínios da formação dos granitos Suíte Serra do Mar tanto a norte como a sul e ao sul de suas nascentes sendo os mesmos cortados por terrenos aluvionares e

colúvios formados a partir do leito principal do rio Piraquara, presentes em praticamente todo o curso do mesmo até sua jusante. No extremo sul de suas nascentes encontra-se a formação dos granitos intrusivos sub-alcálinos do maciço granítico Marumbi. Ambas formações são representativas dos contra fortes ocidentais da Serra do Mar. No sentido leste/oeste a sub-bacia cruza as formações mais antigas do terreno representadas por anfíbolitos, gnaisses-granodioritos migmatizados e gnaisses-granitos migmatizados pertencentes ao Complexo Atuba do Proterozóico Inferior, representando as bordas da bacia sedimentar de Curitiba e, conseqüentemente, a transição morfológica de terrenos até a presença da Formação Guabirota. Toda a área ocupada por esta sub-bacia indica uma região muito movimentada em razão da grande incidência de fraturas, falhas e diques. Associados às formações geológicas e influenciadas pelo relevo e clima pretérito e presente estão as classes de solos, distinguindo-se de leste para oeste, ou da montante para a jusante da sub-bacia os solos litólicos associados a afloramentos de rocha, cambissolos, podzólicos, latossolos além dos orgânicos e hidromórficos encontrados em toda planície inundável do leito maior do canal principal da sub-bacia o rio Piraquara. Estas características geológicas e pedológicas indicam áreas com baixa permeabilidade nos terços superior e principalmente médio da sub-bacia, onde se verifica uma maior densidade de drenagem e de rios, diminuindo gradativamente ao aproximar-se do exutório.

Em relação ao relevo, este se apresenta muito acidentado a leste nos terços superior e médio suavizando-se no terço inferior próximo à jusante com características de um relevo suavemente ondulado. Apresenta uma amplitude altimétrica de 500 m, conferindo um elevado gradiente energético à sua drenagem superficial, e principalmente em suas cabeceiras, fato que pode ter como conseqüência um aumento elevado de sua vazão de jusante com a ocorrência de índices pluviométricos elevados com o excedente extrapolando para o leito maior no seu exutório.

A sub-bacia apresenta coeficiente de manutenção de aproximadamente 298 m<sup>2</sup> de área indicados para conservação da qualidade de seus canais superficiais de escoamento, um índice representativo considerando a densidade de drenagem e de rios, fato representado pela proximidade dos mesmos, indicando a este índice uma área com elevada irrigação. Como indicador a ser considerado na elaboração e

execução de Planejamento Ambiental, este índice demonstra que se deve atribuir atenção especial a esta área como um todo, e principalmente nas suas nascentes.

Considerado como outro fator importante na avaliação e disposição do uso e cobertura do solo, a sub-bacia do rio Piraquara apresenta índice de 0,33 de fator de forma, o qual considerando como parâmetro o valor máximo de 1 um, não representa condições favoráveis a inundações pela sua forma. Porém, em razão de suas condições de relevo e dimensão da sub-bacia, cuidados devem ser tomados quanto à ocupação dos terrenos encontrados no terço inferior da mesma, o qual apresenta-se sujeita à cheias com o aumento dos índices da média pluviométrica da região e principalmente nas suas cabeceiras situadas nos contra fortes da Serra do Mar, extrapolando seu canal principal para sua planície de inundação próxima à jusante.

Os principais padrões de drenagem observados na sub-bacia subsidiam as relações do controle estrutural e litológico sobre a mesma. Nota-se a ocorrência de padrões do tipo dendrítico e retangular no terço superior (Figura 26), indicando a presença de rochas com resistência uniforme no primeiro caso e do controle estrutural no segundo, com presença de falhas e sistemas de diaclasamento, normalmente encontradas em regiões onde diáclases e falhas se cruzam em ângulos retos com direções NE/SO (Nordeste/Sudoeste) e NO/SE (Noroeste/Sudeste). Em seu terço médio o padrão predominante é do tipo dendrítico, indicando também relação litológica sobre as feições superficiais da drenagem. Aproximando-se da jusante da sub-bacia o padrão característico é representado pela forma paralela, tomada neste caso como indicativo de transição e área de contato entre a bacia sedimentar com os contra-fortes da Serra do Mar com relevo mais dissecado, onde este padrão revela a presença de inclinação unidirecional, constituída por camadas resistentes de inclinação uniforme.

FIGURA 25 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO PIRAQUARA

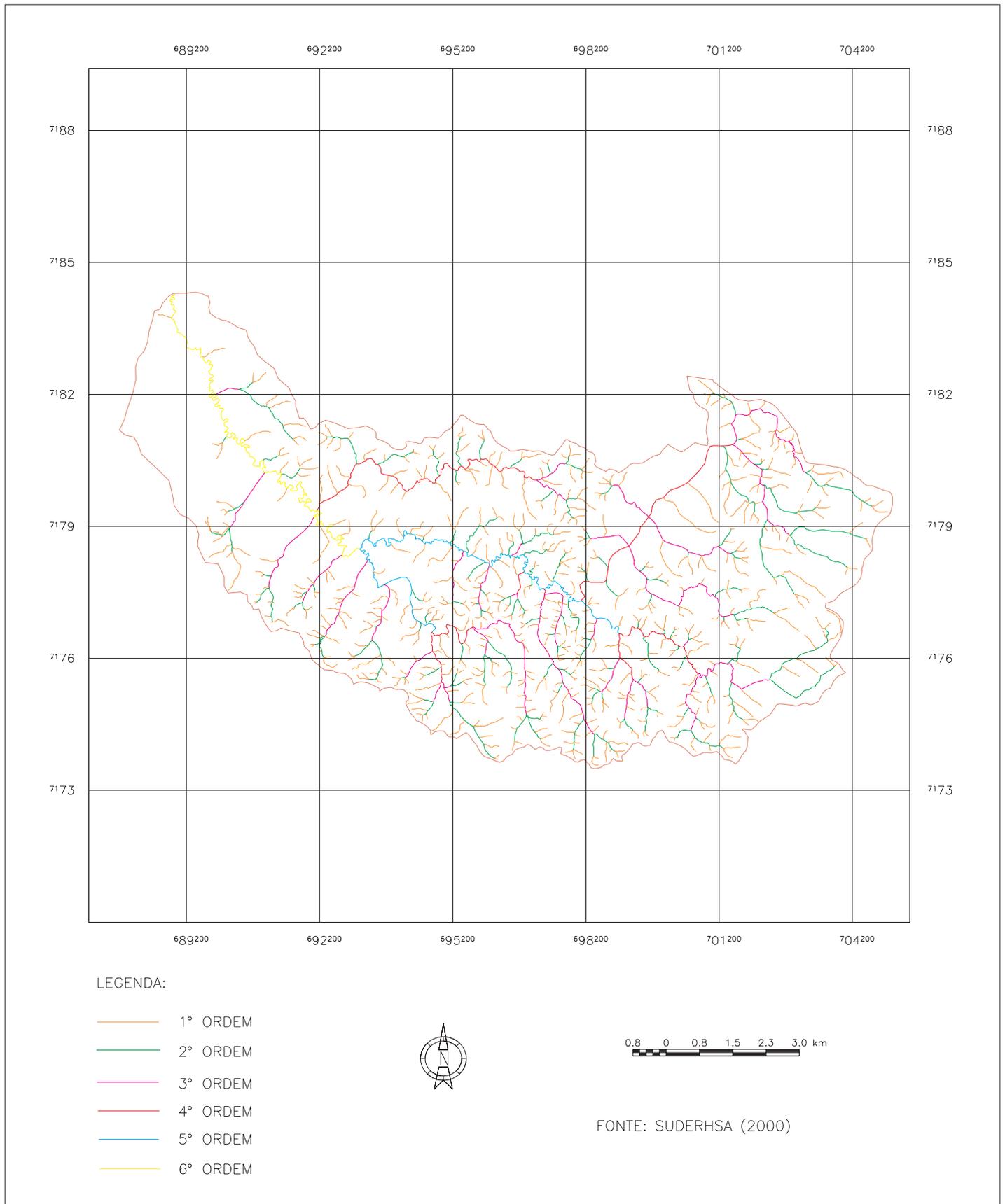
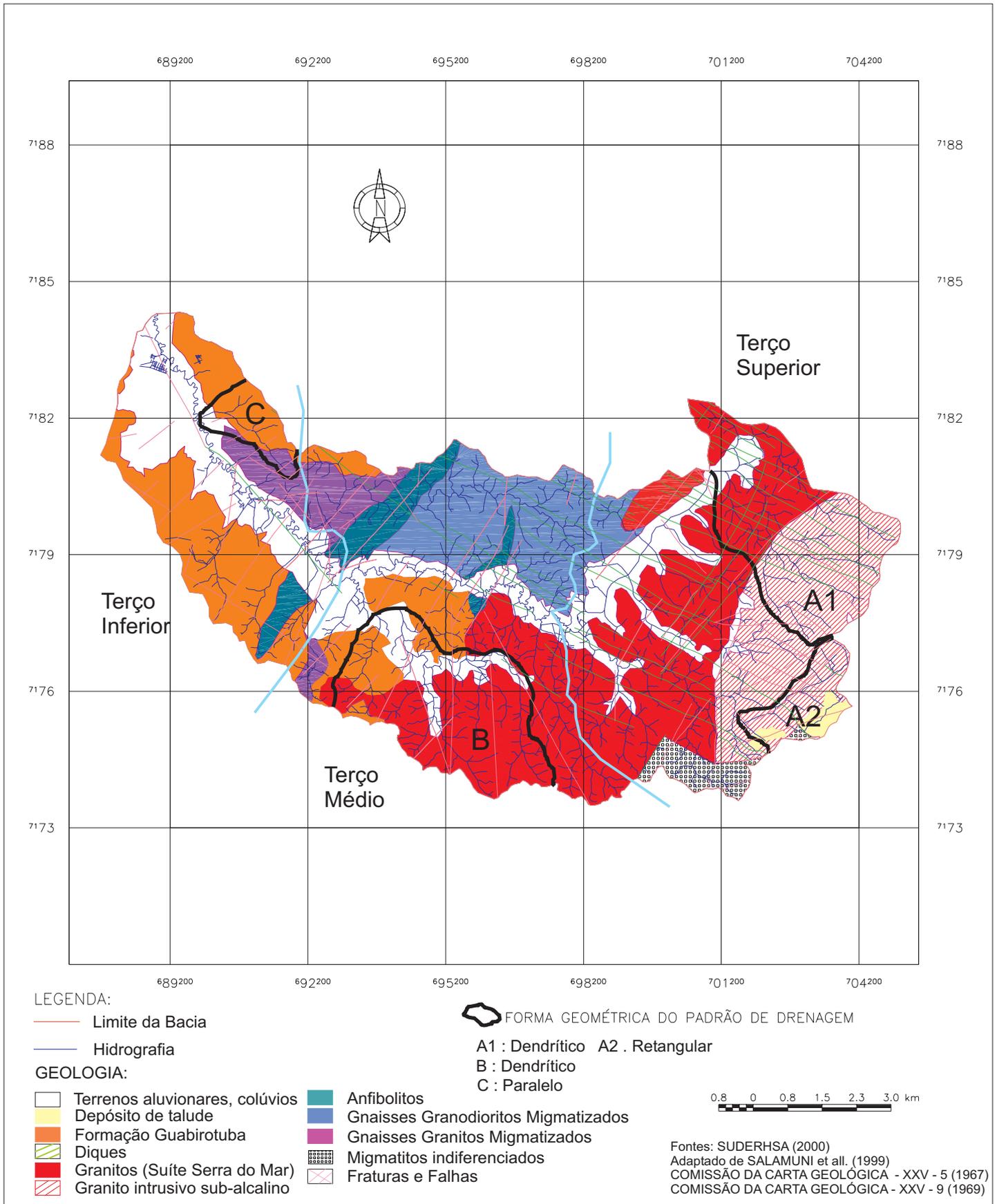


FIGURA 26 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO PIRAQUARA



QUADRO 12 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO ITAQUI

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		45,26 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		52.486,70 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		5°
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		19.377,96 m
Comprimento do rio principal		28.722,70 m
Comprimento total dos rios		106,27 Km
Densidade de drenagem – Dd		2,34
Densidade de rios – Dr		3,91
Relação de relevo – Rr		0,0059
Coeficiente de manutenção - Cm		427,35
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,12
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		990 m s. n. m.
Altitude mínima		875 m s. n. m.
Amplitude altimétrica		115 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação – RB
1°	177	-
2°	44	4,02
3°	7	6,28
4°	2	3,50
5°	1	2

Localizada ao sul da sub-bacia do rio Piraquara e ao norte da sub-bacia do rio Pequeno, situa-se a sub-bacia do rio Itaqui com área aproximada de 45 Km<sup>2</sup>, sendo a mesma tributária da sub-bacia do rio Iraí. Observando os parâmetros morfométricos relacionados no Quadro 12 é possível estabelecer algumas análises indicativas do controle estrutural geológico sobre a mesma.

A densidade de drenagem e rios apresenta-se como alta, tomando como parâmetro à proposta de BELTRAME (1994), estando este fato associado as litologias e formações superficiais relacionadas à mesma. Em função de sua localização a sub-bacia apresenta seu terço superior e especificamente suas nascentes sobre os migmatitos indiferenciados pertencentes ao Complexo Atuba e aos granitos Suíte Serra do Mar, enquanto seu canal principal encontra-se encaixado em terrenos aluvionares e coluvionares praticamente em toda sua extensão já que seu terço médio e inferior encontra-se sobre a Formação Guabirota. Quanto a formação superficial, as classes de solos encontradas na sub-bacia podem ser classificadas da seguinte maneira partindo da montante para a jusante: cambissolos, uma grande porção de latossolos e a presença de solos

orgânicos e hidromórficos associados à planície de inundação do canal principal. Estas características atribuem uma hierarquia de 5º ordem (Figura 27), para a classificação da drenagem desta sub-bacia estando este valor associado em grande parte ao seu terço superior o qual encontra-se sobre rochas com baixa permeabilidade ocasionando uma maior densidade de escoamento superficial.

Avaliando a relação de relevo, esta apresenta um índice relativamente alto quanto comparado às demais sub-bacias formadoras da bacia hidrográfica do alto curso do rio Iguaçu. Este fato pode ser explicado através da amplitude altimétrica que é de 115 m estabelecidos em um eixo de certa forma curto de aproximadamente 19,5 Km considerando a maior distância de sua desembocadura tomando como partida o ponto extremo de sua montante, contribuindo desta forma para uma dinâmica hidráulica energética de fluxo superficial.

Seu coeficiente de manutenção por canais de aproximadamente 427 m<sup>2</sup> representa uma média considerando as demais sub-bacias deste sistema hídrico, indicando assim os mesmos cuidados quanto aos modelos de uso e ocupação do solo desta região.

Considerando o seu fator de forma que é de 0,12 considerando o limite máximo de 1, caracteriza que esta sub-bacia não apresenta condições indicativas para inundações considerando sua forma alongada. No entanto, cabe ressaltar que cuidados extremos devem ser considerados quanto ao uso do solo em suas planícies de inundação e principalmente em sua desembocadura onde a mesma avoluma-se consideravelmente sendo as mesmas naturalmente inundáveis quando as vazões sobem acima da média normal do fluxo superficial dos canais de escoamento.

Apresentam em seu terço superior padrões geométricos de drenagem do tipo dendrítico, característicos de rochas com resistência uniforme como é o caso dos migmatitos indiferenciados. Em seu terço médio estabelece-se padrões do tipo paralelo associados ao controle estrutural de vertentes unidirecionais com inclinações uniformes (Figura 28).

FIGURA 27 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO ITAQUI

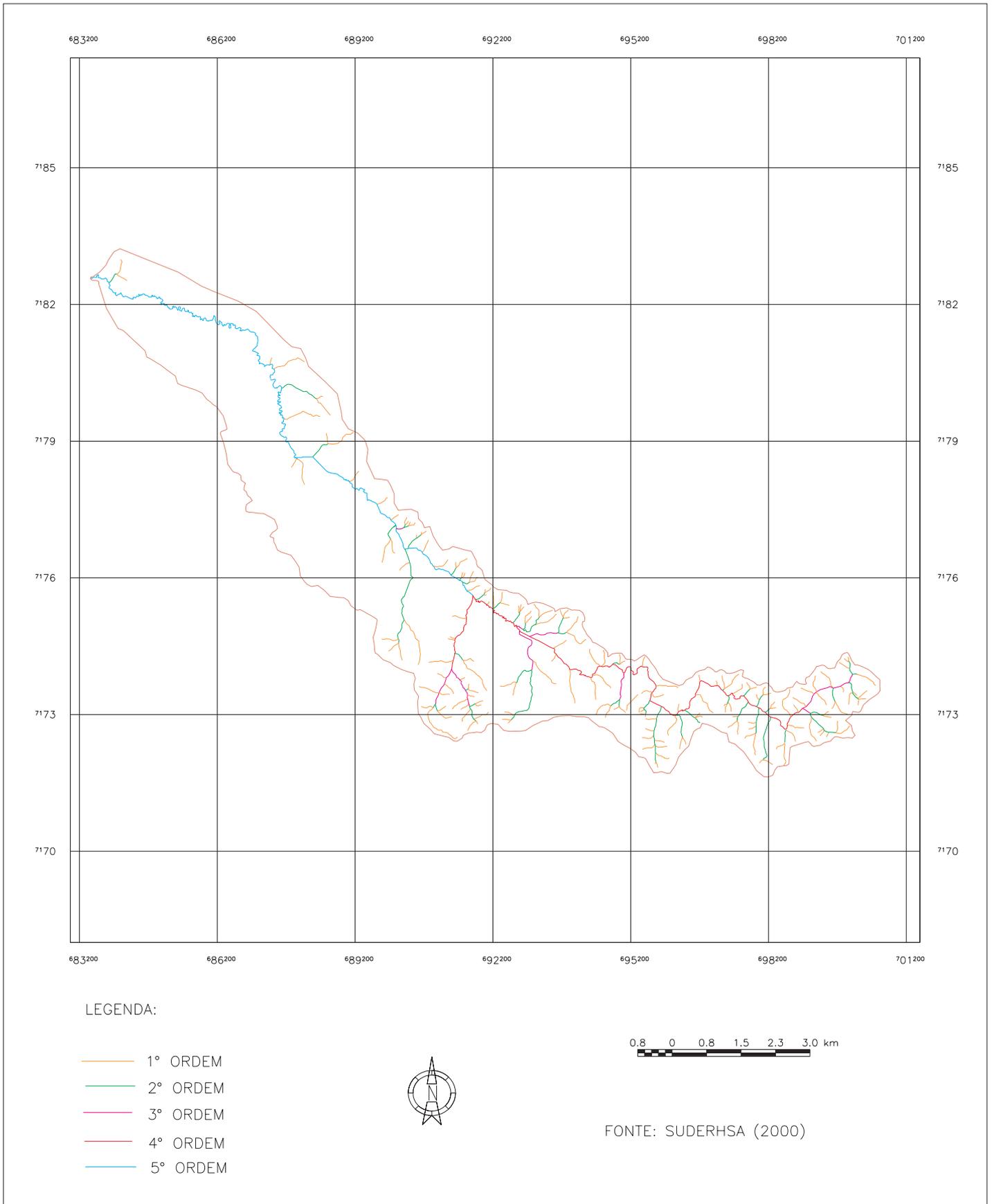
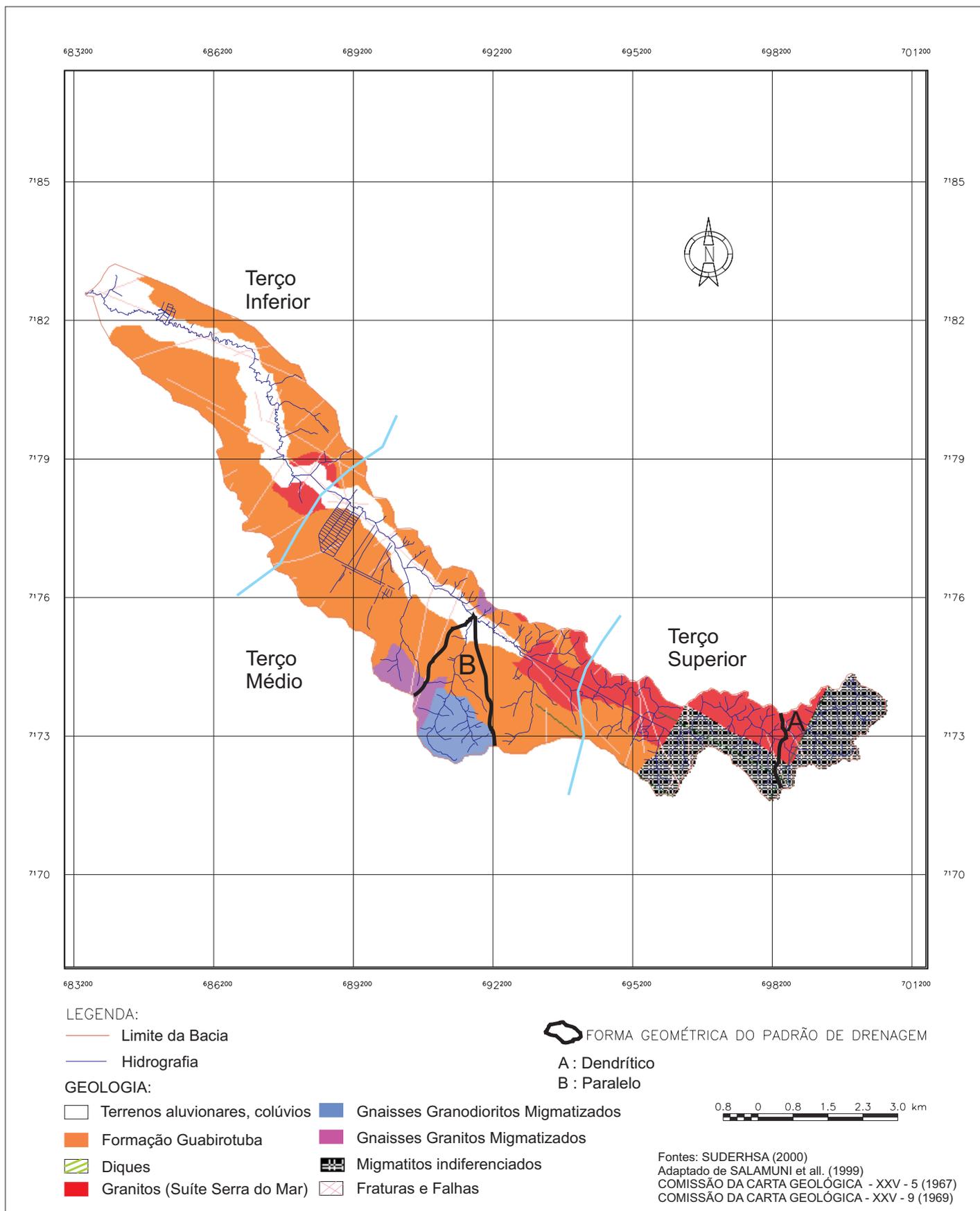


FIGURA 28 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO ITAQUI



QUADRO 13 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO PEQUENO

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		136,47 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		79.791,63 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		5°
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		23.076,27 m
Comprimento do rio principal		57.524,34 m
Comprimento total dos rios		451,26 Km
Densidade de drenagem – Dd		3,30
Densidade de rios – Dr		7,36
Relação de relevo – Rr		0,0174
Coeficiente de manutenção - Cm		303,03
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,26
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		1273 m s. n. m.
Altitude mínima		870 m s. n. m.
Amplitude altimétrica		403 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1°	1005	-
2°	238	4,22
3°	55	4,32
4°	13	4,23
5°	1	13

Compreendendo um recorte espacial aproximado de 136 Km<sup>2</sup> a sub-bacia do rio pequeno localiza-se no extremo sul, parte do sudoeste/sudeste da bacia hidrográfica do alto curso superior do rio Iguaçu. Dada a sua localização esta sub-bacia apresenta maior complexidade em relação às características litológicas, estando a mesma sobre os domínios de diferentes unidades geológicas. Esta relação de complexidade evidencia-se quando observados alguns de seus parâmetros morfométricos descritos no Quadro 13.

Apresentando a maior área em relação às outras sub-bacias deste sistema, possui uma densidade de drenagem e de rios significativamente densa com hierarquia de 5<sup>a</sup> ordem (Figura 29), classificada, segundo proposta de BELTRAME (1994) como alta, ou seja, com índices estabelecidos entre 2,01 e 3,5. Este fator, em parte é resultante de seu embasamento geológico, rugosidade do relevo e conseqüentemente sua formação superficial. Relacionando os aspectos geológicos de sua montante para jusante observam-se suas nascentes sobre os migmatitos iniferenciados do Complexo Atuba correspondendo aos granitos Suíte Serra do Mar do Proterozóico Superior e a Formação Guaratubinha formada por seqüência

vulcano-sedimentar com a presença de conglomerados, arcósios e siltitos do Eo-Paleozóico. Ainda em seu terço superior apresenta seu rio principal, encaixado em terrenos aluvionares e coluvionares do Quaternário com processos de sedimentação recentes e atuais seguindo até seu exutório onde se encontra com a sub-bacia do rio Iraí. Em seu terço médio ocorre à presença de anfíbolitos, gnaisses-granodioritos migmatizados e gnaisses-granitos migmatizados do Complexo Atuba. Finalizando em seu terço inferior sobre a Formação Guabirotuba, formada principalmente por depósitos argilosos, arcósios, areias finas e diamictitos rudáceos do Quaternário e Terciário.

Apresenta em toda a área da bacia a presença de falhas e fraturas bem como a ocorrência de diques, fatores que devem ser considerados quanto à dinâmica hidrogeológica uma vez que esta estruturação é também responsável pela recarga de sub-superfície da sub-bacia. Sobre esta diversidade geológica associada ao relevo e sobre os efeitos climáticos pretéritos e presentes desenvolveram-se em seu terço superior as formações superficiais de cambissolos associados ao rubrozem, em seu terço médio os latossolos e podzólicos ao norte do curso principal e em seu terço inferior os latossolos. Os solos hidromórficos encontram-se presentes em praticamente toda a extensão da planície de inundação ou leito maior do rio Pequeno com exceção de suas nascentes que ocorrem em relevo acidentado nos contra fortes ocidentais da Serra do Mar.

Estas características geológicas associadas às classes pedológicas e clinográficas conferem terrenos com maior impermeabilidade nos terços superior e médio da sub-bacia, e terrenos mais permeáveis em seu terço inferior, justificando desta forma a maior concentração de drenagem na sua montante, onde se encontram as rochas mais resistentes.

Considerando os índices referentes à relação de relevo de 0,0174, este apresenta-se de certa forma baixo apesar da sub-bacia ter um dos maiores índices de amplitude altimétrica de aproximadamente 403 m, no entanto é também a sub-bacia com maior eixo linear considerando a distância entre a montante e a sua desembocadura. Conferindo desta maneira um equacionamento da energia hidráulica superficial, com índices energéticos maiores nos terços superior e médio diminuindo gradativamente em seu terço inferior favorecendo uma vazão lenta na sua jusante considerando sua amplitude altimétrica.

A sub-bacia em questão apresenta um coeficiente de manutenção de aproximadamente de 303 m<sup>2</sup> para seus canais de escoamento superficial, para que a qualidade hídrica seja mantida em seus valores físicos, químicos, biológicos e estéticos (de valor cênico), sendo este parâmetro como já mencionado um dos mais importantes nas questões de planejamento ambiental de bacias hidrográficas. Este índice de 303 m<sup>2</sup> por canal considerando a densidade de drenagem e de rios da sub-bacia, torna a mesma quase que inteiramente inapropriada ao uso e ocupação do solo, se respeitado o coeficiente de manutenção.

Quanto ao fator de forma a mesma apresenta um índice de 0,26 de um limite máximo de 1, caracterizando desta maneira uma bacia hidrográfica não condicionada a inundações considerando sua forma, que neste caso específico é alongada. Porém, atenção especial deve ser tomada em seu terço inferior em relação à ocupação destas áreas, pois grande parte destas sub-bacias do sistema do alto curso superior do rio Iguaçu converge para uma ampla planície de inundação favorável ao transbordamento do canal principal em vazões acima da média natural.

Esclarecendo o fator do controle geológico sobre a drenagem superficial, observa-se em seu terço superior o padrão geométrico dos tipos dendrítico, característico de rochas uniformes quanto à resistência; radial centrífuga, associada a relevos residuais situados acima do nível geral da superfície considerada; e paralelo caracterizando áreas com vertentes com inclinações acentuadas e unidirecionais. Em seu terço médio apresenta padrões do tipo dendrítico e paralelo, e em seu terço inferior paralelo principalmente em seu setor norte onde as vertentes apresentam-se mais curtas e íngremes (Figura 30).

FIGURA 29 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO PEQUENO

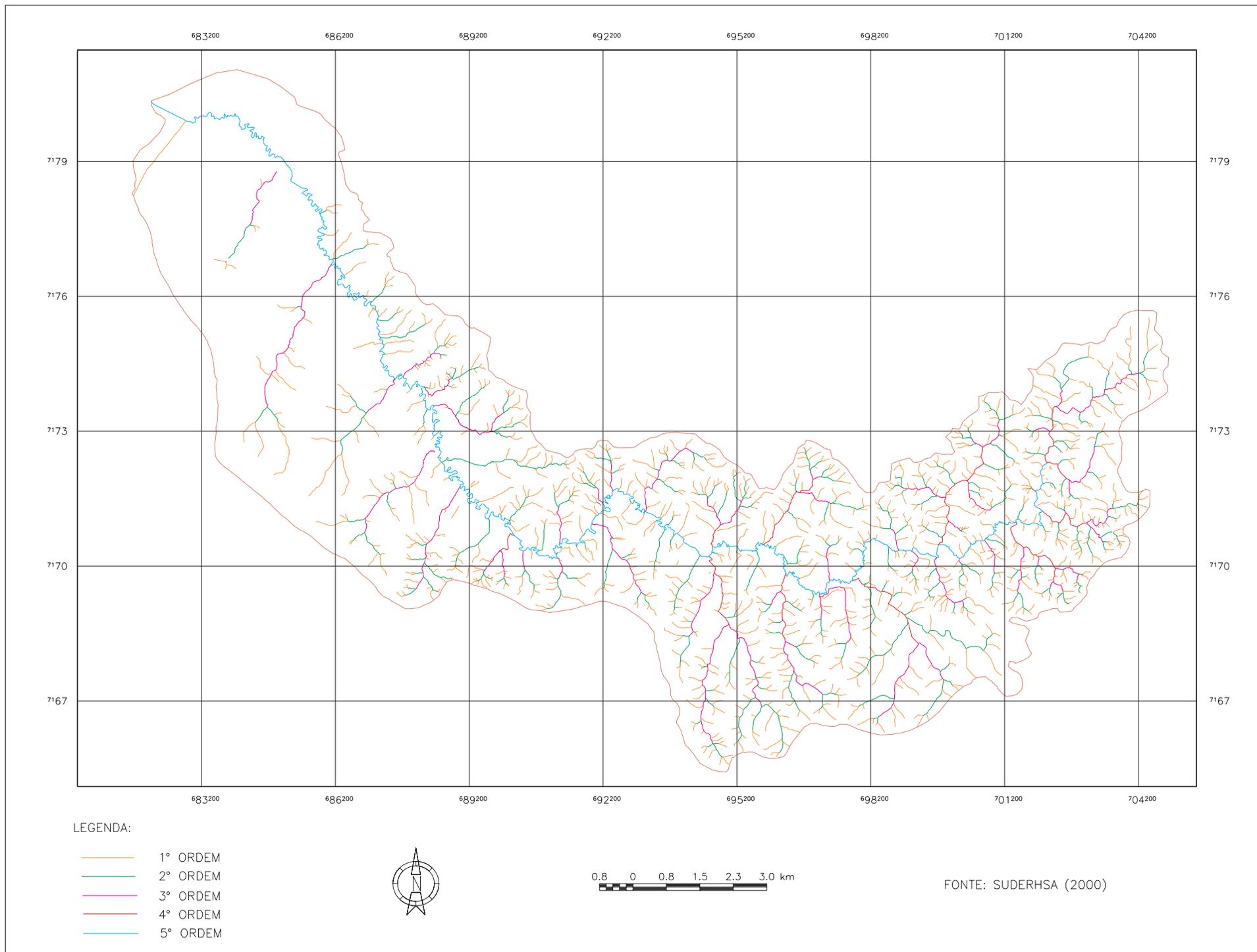
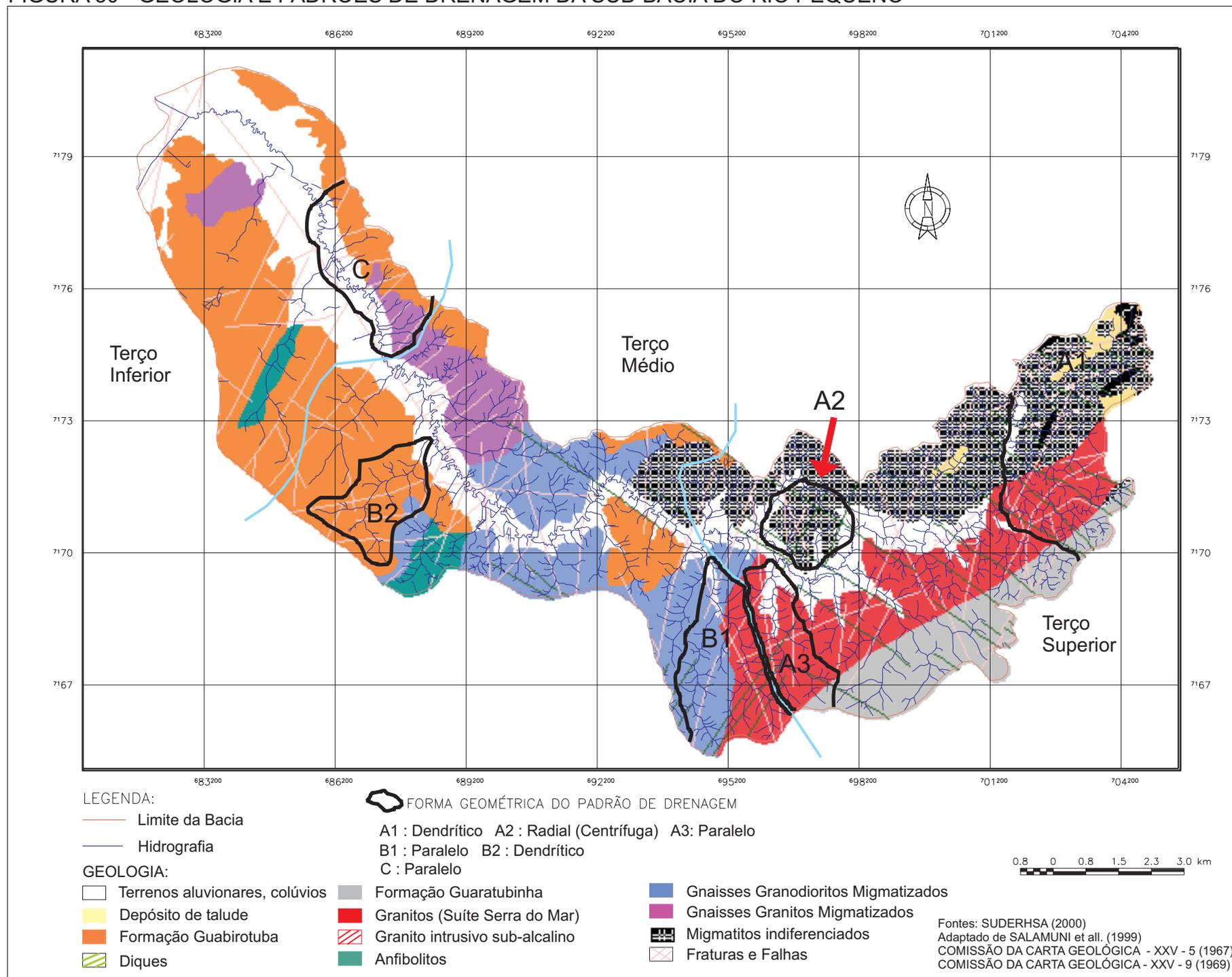


FIGURA 30 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO PEQUENO



QUADRO 14 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO IRAIZINHO

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		52,57 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		34.506,07 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		5°
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		12.190,96 m
Comprimento do rio principal		17.601,84 m
Comprimento total dos rios		140,89 Km
Densidade de drenagem – Dd		2,68
Densidade de rios – Dr		4,49
Relação de relevo – Rr		0,0241
Coeficiente de manutenção - Cm		373,13
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,35
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		1175 m s. n. m.
Altitude mínima		880 m s. n. m.
Amplitude altimétrica		295 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1°	236	-
2°	55	4,29
3°	11	5
4°	2	5,5
5°	1	2

Ocupando área aproximada de 52 Km<sup>2</sup>, a sub-bacia hidrográfica do rio Iraizinho localiza-se no extremo leste da bacia hidrográfica do alto curso superior do rio Iguaçu, entre as sub-bacias do rio Pequeno ao sul e rio Curralinho ao norte. Também tributária da sub-bacia do rio Irai, pode ser analisada segundo resultados dos parâmetros morfométricos descritos acima no Quadro 14.

Através dos resultados observa-se que a mesma apresenta densidade de drenagem e de rios (Figura 31) estabelecendo uma relação de 5ª ordem concentrando-se esta densidade principalmente nos terços superior e médio da sub-bacia. Tomando como indicador os parâmetros propostos por BELTRAME (1994), relacionados à quantificação da drenagem a mesma é classificada como alta, indicando que a sua dinâmica hídrica está sobre áreas com baixos índices de permeabilidade.

Este fato pode ser compreendido ao analisar-se as unidades geológicas e de formação superficial associadas à sub-bacia. Em seu terço superior encontram-se os granitos Suíte Serra do Mar, e em seu terço médio ocorrem os gnaisses-granodioritos migmatizados e os anfibolitos ambos pertencentes ao Complexo Atuba

representando as rochas mais antigas da sub-bacia. Ambas ocorrências geológicas referentes aos terços superior e médio da sub-bacia caracterizam-se por apresentar rochas resistentes ao intemperismo físico-químico e com baixo grau de permeabilização, resultando nesta área maior densidade de drenagem. Em seu terço inferior onde esta densidade é menor a área está associada à Formação Guabirota com depósitos argilosos, arcósios, areias finas e diamictitos rúdiceos principalmente, e aos terrenos aluvionares e coluvionares onde se encontra encaixado o canal do rio Iraizinho, ambas pertencentes ao Quaternário. Quanto à formação superficial em seu extremo leste ocorrem os solos litólicos associados a afloramento de rochas. Direcionadas para oeste ou a jusante da sub-bacia sucessivamente encontram-se solos podzólicos, latossolos, pequenas manchas de cambissolos e os hidromórficos orgânicos nas áreas mais rebaixadas do terreno, ou seja, nas planícies de inundação.

A relação de relevo pode ser considerada alta, apresentando uma amplitude altimétrica de 295 m, em uma bacia curta considerando sua maior distância entre a desembocadura e o ponto extremo de sua montante. Este aspecto atribui à sub-bacia vazão mais energética na dinâmica hídrica superficial. Apresenta um índice de coeficiente de manutenção de aproximadamente 373 m<sup>2</sup> por canal de escoamento superficial. Em relação ao seu fator de forma a mesma apresenta um índice de 0,35, sendo este o segundo maior índice considerando as outras sub-bacias do sistema, representando uma maior tendência para inundações que as demais, e principalmente em seu terço inferior.

Esclarecendo o controle estrutural sobre a drenagem superficial da sub-bacia, esta apresenta padrões geométricos do tipo dendrítico em seus terços, superior e médio, caracterizando ambientes com a ocorrência de rochas com resistência uniforme como é o caso das formações geológicas associadas a estas regiões específicas da sub-bacia do rio Iraizinho (Figura 32).

FIGURA 31 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO IRAIZINHO

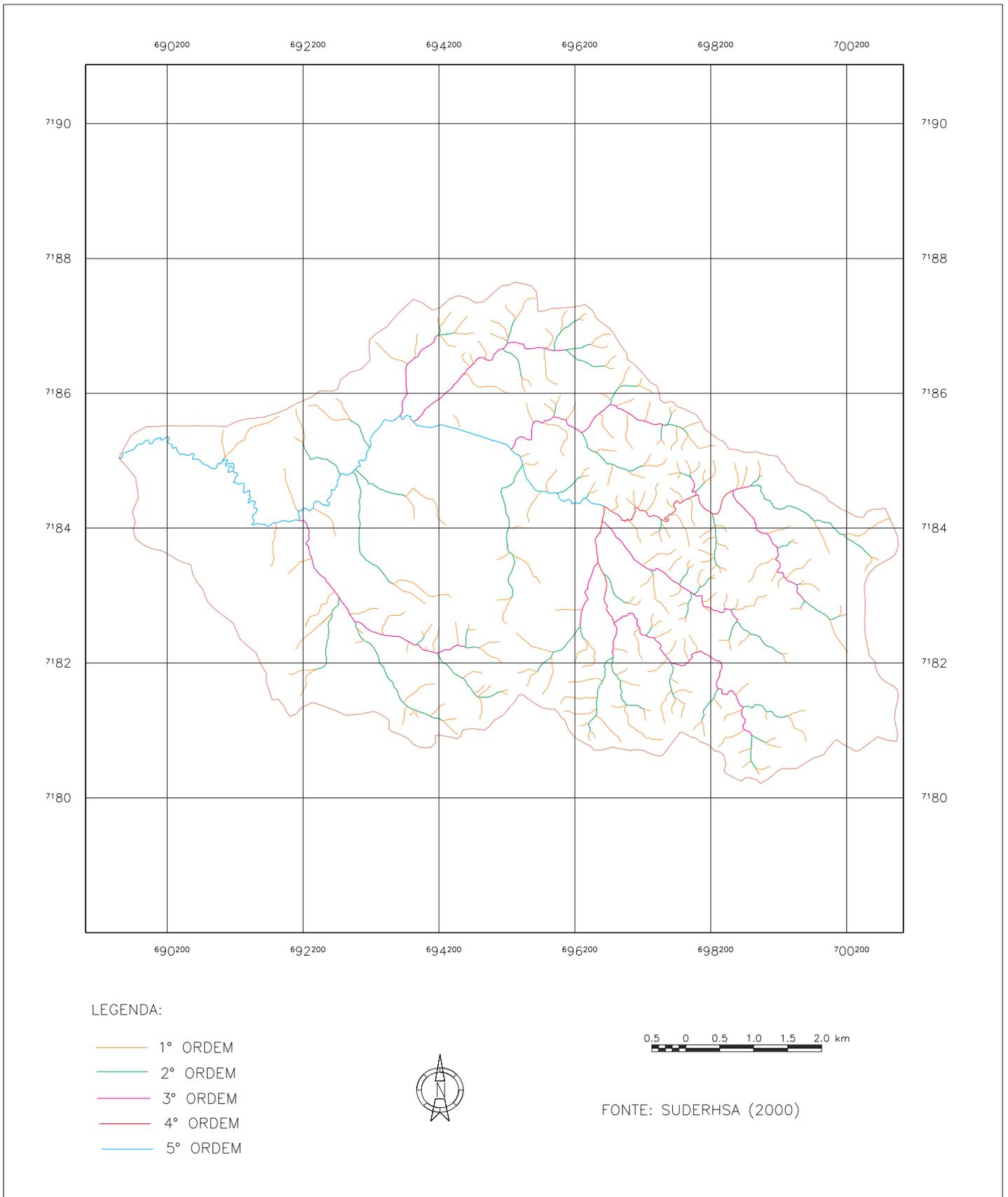
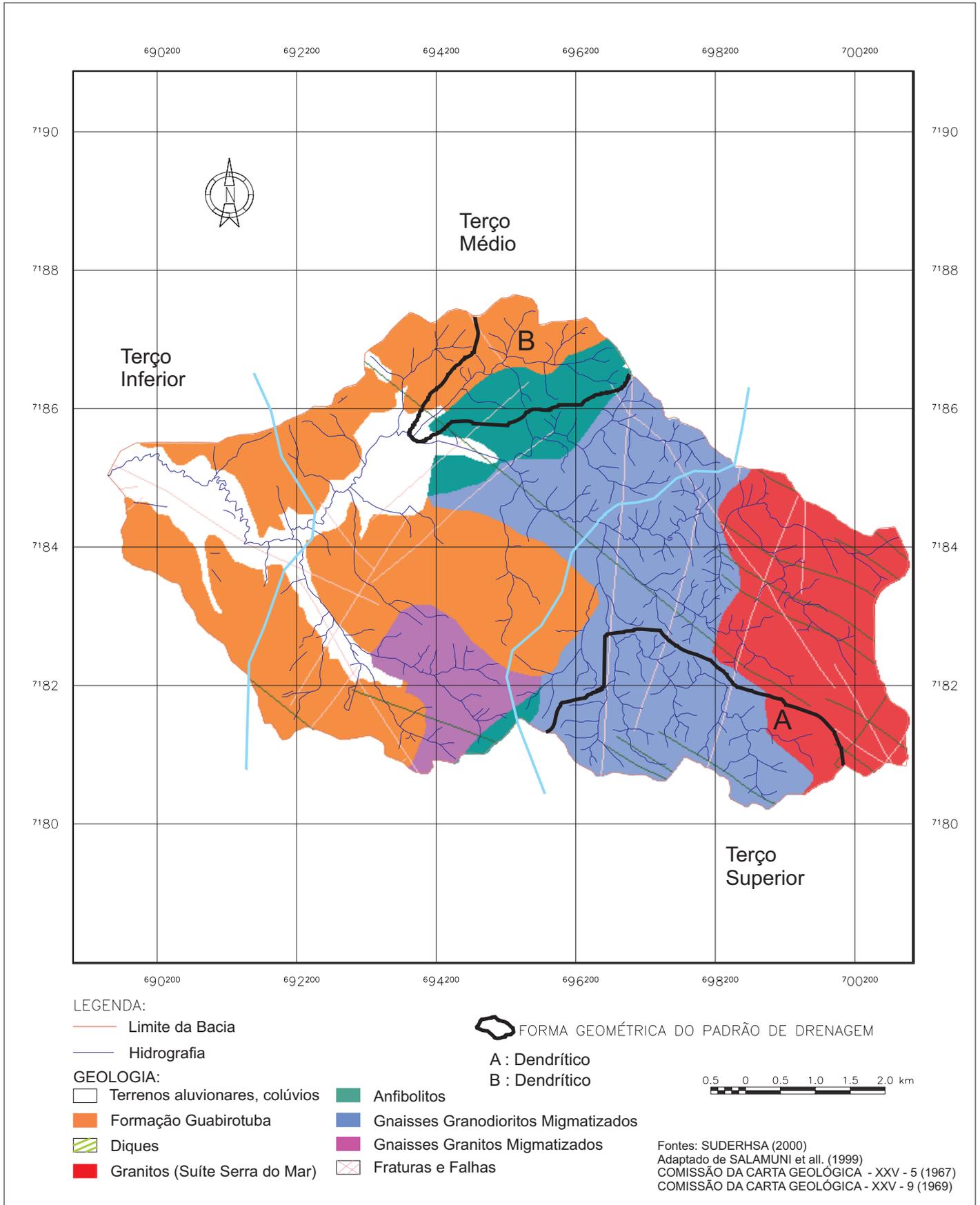


FIGURA 32 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO IRAIZINHO



QUADRO 15 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO CURRALINHO

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		37,67 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		32.005,49 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		5 <sup>o</sup>
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		10.891,01 m
Comprimento do rio principal		12.547,31 m
Comprimento total dos rios		114,33 Km
Densidade de drenagem – Dd		3,03
Densidade de rios – Dr		5,73
Relação de relevo – Rr		0,0270
Coeficiente de manutenção - Cm		330,03
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,32
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		1180 m s. n. m.
Altitude mínima		885 m s. n. m.
Amplitude altimétrica		295 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1 <sup>o</sup>	216	-
2 <sup>o</sup>	54	4
3 <sup>o</sup>	8	6,75
4 <sup>o</sup>	2	4
5 <sup>o</sup>	1	2

Localizada ao norte da sub-bacia hidrográfica do rio Iraizinho e a leste/nordeste da bacia do alto curso superior de rio Iguaçu, a sub-bacia do rio Curralinho apresenta uma área aproximada de 37 Km<sup>2</sup>, encontra-se sobre as influências dos contrafortes ocidentais da Serra do Mar. Esta influência decorrente de sua espacialização atribui-lhe características que podem ser observadas ao serem analisados seus parâmetros morfométricos constantes no Quadro 15 acima descrito.

Através de seus resultados quantitativos, observa-se uma densidade de drenagem e de rios elevada, tomando como indicador os parâmetros propostos por BELTRAME (1994), estando o índice de densidade de drenagem entre 2,01 e 3,5, caracterizando uma hierarquia de 5<sup>a</sup> ordem para a sub-bacia (Figura 33). Este resultado pode ser atribuído a dois fatores principais: à dimensão e localização da área, e ao embasamento geológico e sua cobertura superficial no qual encontra-se estabelecida a rede de drenagem. Ocupando em parte os contrafortes da Serra do Mar, a mesma localiza-se em seu terço superior e médio sobre os granitos Suíte Serra do Mar, e sobre os gnaisses-granodioritos migmatizados e pequenas porções

de anfibolitos ambos pertencentes ao Complexo Atuba do Proterozóico Inferior, concentrando nestas rochas as maiores incidências de canais superficiais desta sub-bacia. Já seu terço inferior encontra-se sobre os efeitos geológicos da Formação Guabirota e aos terrenos aluvionares e colúvios, ambos do período do Quaternário pertencente à Era do Cenozóico. Apresenta nesta área uma diminuição da incidência dos canais superficiais em função da maior permeabilidade das rochas ali estabelecidas. Considerando a formação superficial intimamente associada aos aspectos geológicos observa-se nesta sub-bacia da montante para a jusante, a presença dos solos litólicos associados aos afloramentos de rocha, os cambissolos, os latossolos e em seu leito maior os hidromórficos orgânicos e gleyzados.

Quanto à relação de relevo esta apresenta um índice alto, quando comparada às demais sub-bacias do sistema. Este fato se dá, ao associar-se a dimensão da área com sua amplitude altimétrica que é de 295 m, atribuindo ao escoamento superficial da sub-bacia vazões mais energéticas, e principalmente em seus terços superior e médio.

Em relação ao seu coeficiente de manutenção, este apresenta um índice de  $330 \text{ m}^2$  por canal de escoamento, que deveria ser respeitado ao serem traçados planos ambientais para a área da sub-bacia. Considerando seu fator de forma, esta apresenta o índice 0,32 de um máximo de 1. Fato que somado à dimensão da área e sua dinâmica energética superficial de escoamento, representa riscos de inundação principalmente no terço inferior no exutório da sub-bacia, onde localiza-se extensa planície de inundação.

Os padrões geométricos da drenagem em seu terço superior são principalmente do tipo dendrítico controlados por rochas de resistência uniforme como os granitos e gnaisses. E, em seus terços médio e inferior predominam os padrões do tipo paralelo onde se observa a ocorrência de vertentes com inclinações acentuadas, unidirecionais e constituídas por camadas resistentes de inclinação uniforme, associados especificamente neste caso aos gnaisses presentes na sub-bacia (Figura 34).

FIGURA 33 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO CURRALINHO

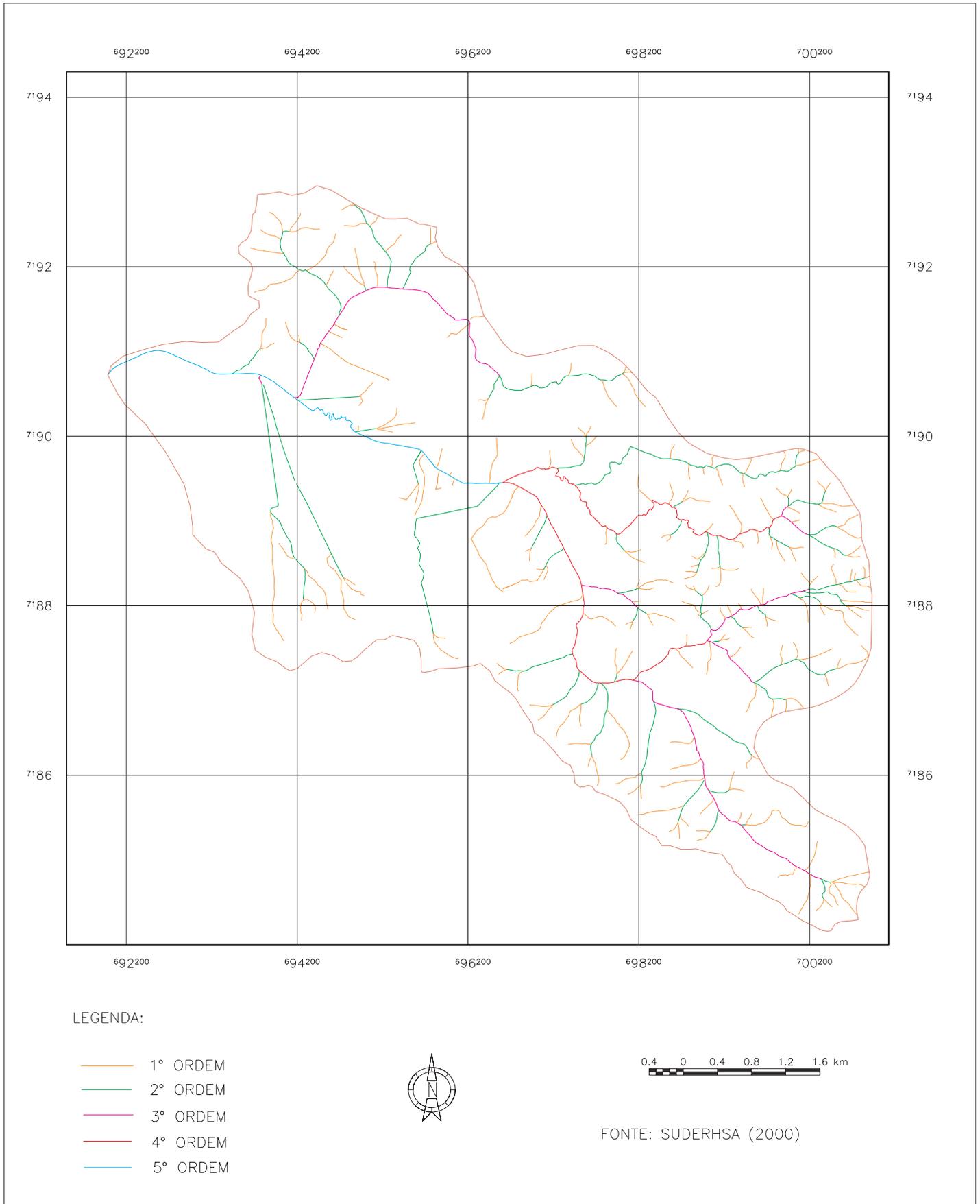
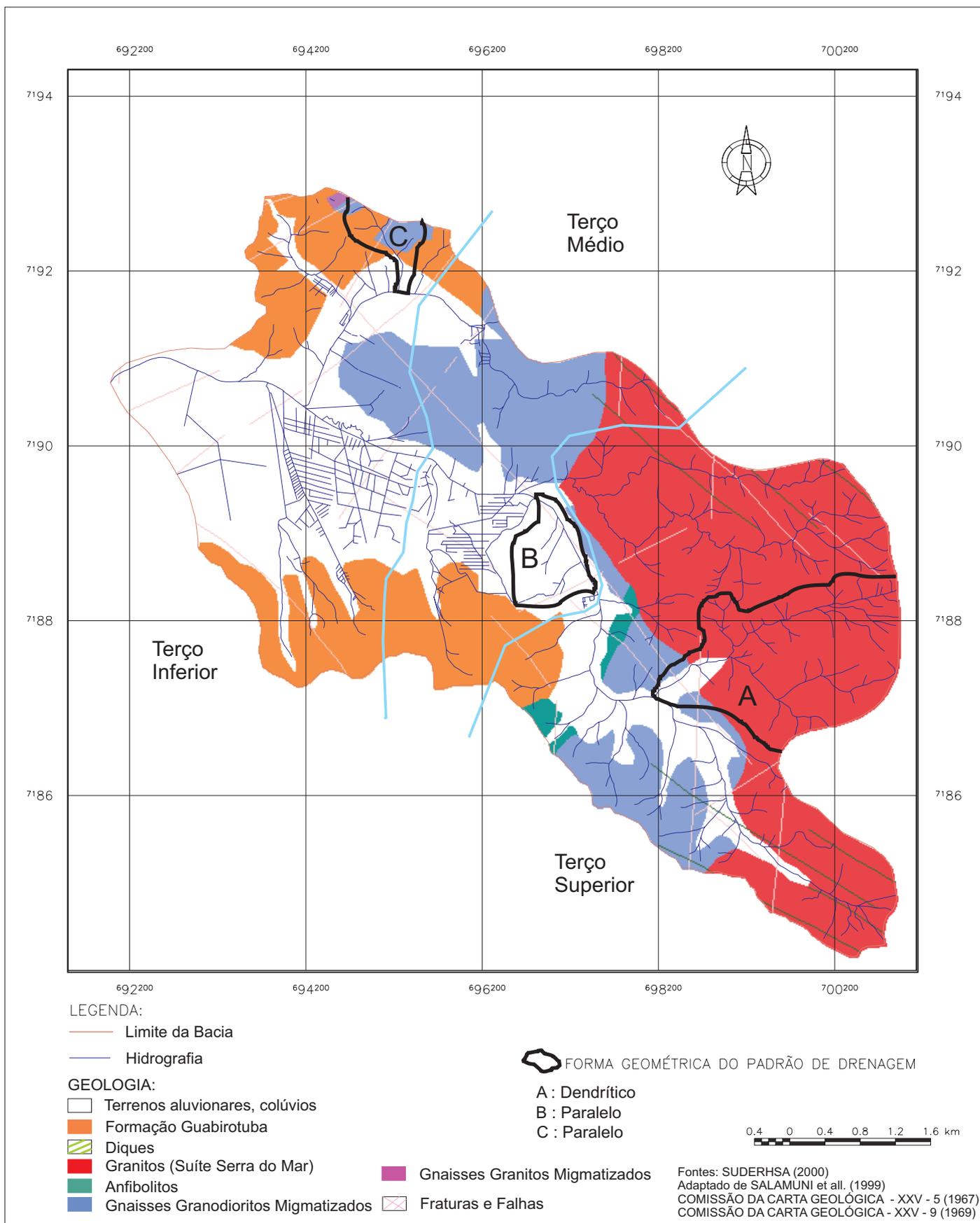


FIGURA 34 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO CURRALINHO



QUADRO 16 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO CANGUIRI

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		15,85 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		21.106,10 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		4 <sup>o</sup>
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		5.947,07 m
Comprimento do rio principal		5.613,50 m
Comprimento total dos rios		49,69 Km
Densidade de drenagem – Dd		3,13
Densidade de rios – Dr		7,0
Relação de relevo – Rr		0,0126
Coeficiente de manutenção - Cm		319,48
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,45
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		960 m. s. n. m.
Altitude mínima		885 m. s. n. m.
Amplitude altimétrica		75 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1 <sup>o</sup>	111	-
2 <sup>o</sup>	26	4,27
3 <sup>o</sup>	5	5,2
4 <sup>o</sup>	1	5

Com recorte espacial aproximado de 16 Km<sup>2</sup>, a sub-bacia do rio Canguiri localiza-se ao norte entre as sub-bacias dos rios Palmital e Timbú e ao sul sobre a sub-bacia do rio Iraí da qual é tributária. Considerando sua localização e sua dimensão espacial, é possível interpretar os resultados de seus parâmetros morfométricos apresentados no Quadro 16.

Em relação à densidade de drenagem e de rios associado à sua dimensão espacial, esta pode ser considerada alta tomando como parâmetro os índices propostos por BELTRAME (1994), como balizadores destes padrões. Estes resultados se refletem na hierarquização da drenagem da sub-bacia que é de 4<sup>a</sup> ordem, como pode ser observado na Figura 35.

Apesar do alto índice de canais superficiais toda a sub-bacia encontra-se sobre a Formação Guabirotuba com a presença de depósitos argilosos, arcósios, areias finas e diamictitos rudáceos e dos terrenos aluvionares e coluvionares de sedimentação variada recente. Ambas pertencentes ao Quaternário, as quais possuem graus mais elevados de permeabilidade, comparando com as demais rochas encontradas na bacia hidrográfica do alto curso do rio Iguaçu principalmente nos contrafortes ocidentais da Serra do Mar, e no extremo norte da mesma, na

Formação Açungui. A elevada densidade de drenagem está associada à saturação hídrica desta área, onde o nível freático é praticamente aflorante.

A relação de relevo desta sub-bacia caracteriza-se como baixo, com uma amplitude altimétrica de 75 m. A representação deste índice explica-se pelo fato de uma grande área desta sub-bacia encontrar-se inserida em uma extensa planície de inundação confluindo com a sub-bacia hidrográfica do rio Iraí. Somente suas nascentes encontram-se em relevos mais movimentados, com a presença de algumas vertentes mais inclinadas na transição do terço superior com o médio e terço inferior no setor leste onde, estas vertentes apresentam-se além de inclinadas, mais curtas. Estas características atribuem à sua vazão de um modo geral uma dinâmica superficial menos energética.

Considerando seu coeficiente de manutenção este é de aproximadamente 319 m<sup>2</sup> por canal de escoamento, índice considerado alto tomando como parâmetro a reduzida dimensão de área da sub-bacia, ou seja, qualquer tipo de uso e ocupação do solo deveria considerar este índice para manter a qualidade dos seus recursos hídricos. De grande importância também para o planejamento adequado de uso e ocupação do solo desta sub-bacia, é o seu fator de forma que é de 0,45 de um máximo de 1, representando desta maneira uma das sub-bacias com maiores probabilidades a riscos de inundação, e principalmente em seu terço inferior que encontra-se praticamente todo inserido em uma vasta planície de inundação. Sendo estes locais extremamente suscetíveis às inundações quando no aumento da média das suas vazões superficiais, os mesmos devem ter atenção especial quanto ao uso do solo, sendo mais viável a preservação de sua cobertura natural.

Em relação aos padrões geométricos dos canais superficiais estes se apresentam dendríticos em seu terço superior e parte do terço médio, onde também ocorrem padrões do tipo paralelo, observados também no terço inferior. As primeiras formas de padrão associam-se às rochas com estratificações horizontais e as segundas aqui relacionadas a vertentes com maiores inclinações unidirecionais (Figura 36).

FIGURA 35 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO CANGUIRI

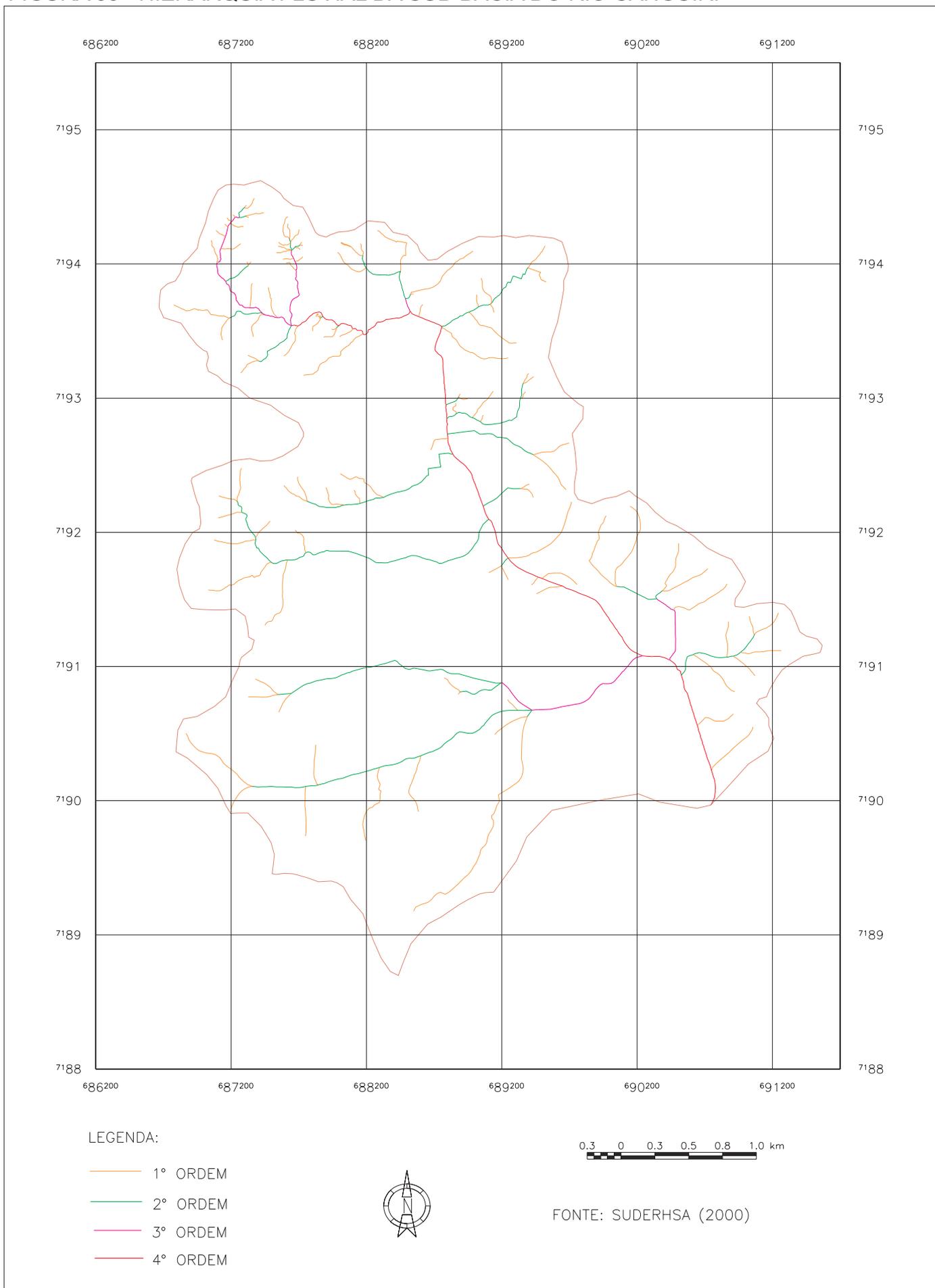
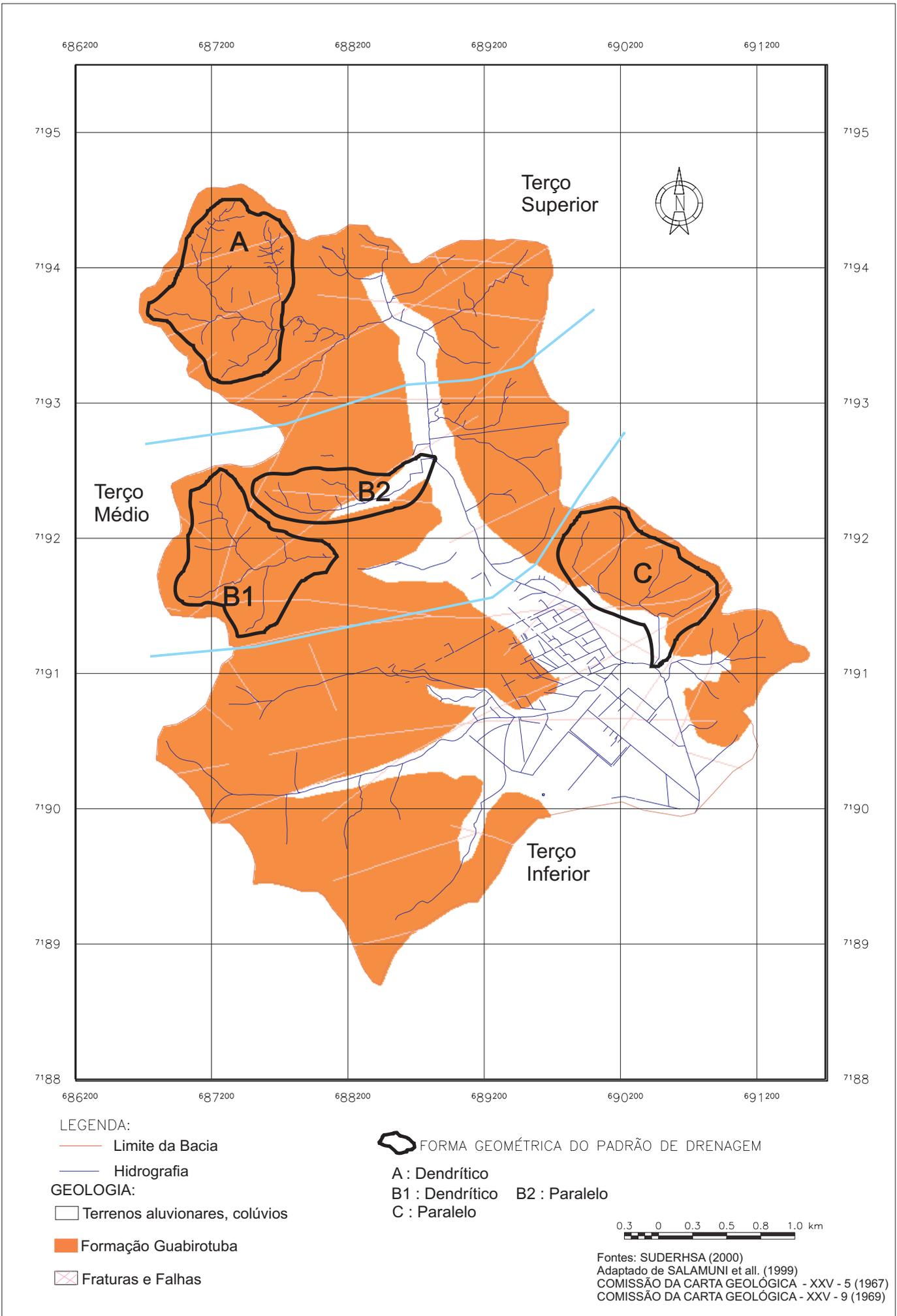


FIGURA 36 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO CANGUIRI



QUADRO 17 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA SUB-BACIA DO RIO TIMBU

PARÂMETROS		RESULTADOS
Área da Bacia		28,71 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia		27.473,77 m
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)		4 <sup>o</sup>
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)		9.183,85 m
Comprimento do rio principal		12.543,89 m
Comprimento total dos rios		76,40 Km
Densidade de drenagem – Dd		2,66
Densidade de rios – Dr		4,45
Relação de relevo – Rr		0,0109
Coeficiente de manutenção - Cm		375,93
<b>Forma da Bacia</b>		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)		0,34
<b>Altitude</b>		
Altitude máxima		986 m s. n. m.
Altitude mínima		885 m s. n. m.
Amplitude altimétrica		101 m
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1 <sup>o</sup>	128	-
2 <sup>o</sup>	33	3,88
3 <sup>o</sup>	4	8,25
4 <sup>o</sup>	1	4

Localizada no nordeste da bacia hidrográfica do alto curso do rio Iguaçu e leste da sub-bacia do rio Palmital, a sub-bacia do rio Timbu apresenta uma área aproximada de 29 Km<sup>2</sup>, tributária do rio Iraí. Considerando sua localização e dimensão de espaço físico, pode-se através dos resultados de seus parâmetros morfométricos observados no Quadro 17, desenvolver as considerações a seguir.

Em relação à densidade de drenagem e de rios esta sub-bacia pode ser considerada como alta, apesar de seus índices já se aproximarem dos considerados baixos entre 0,5 e 2,0, tomando os padrões propostos por BELTRAME (1994). Relacionando a densidade de drenagem a mesma apresenta uma hierarquia de 4<sup>o</sup> ordem em relação ao número de segmentos de canais superficiais como observado na Figura 37.

Esta sub-bacia encontra-se inteiramente sobre a Formação Guabirotuba, e dos terrenos aluvionares e coluvionares. Resulta deste embasamento geológico as características edáficas da cobertura superficial que associada principalmente aos aspectos climáticos pretéritos e presentes e a morfologia do relevo, propiciaram o desenvolvimento de latossolos e cambissolos, além de uma pequena porção de solos hidromórficos em seu exutório, próprios de planícies de inundação. Atribui-se

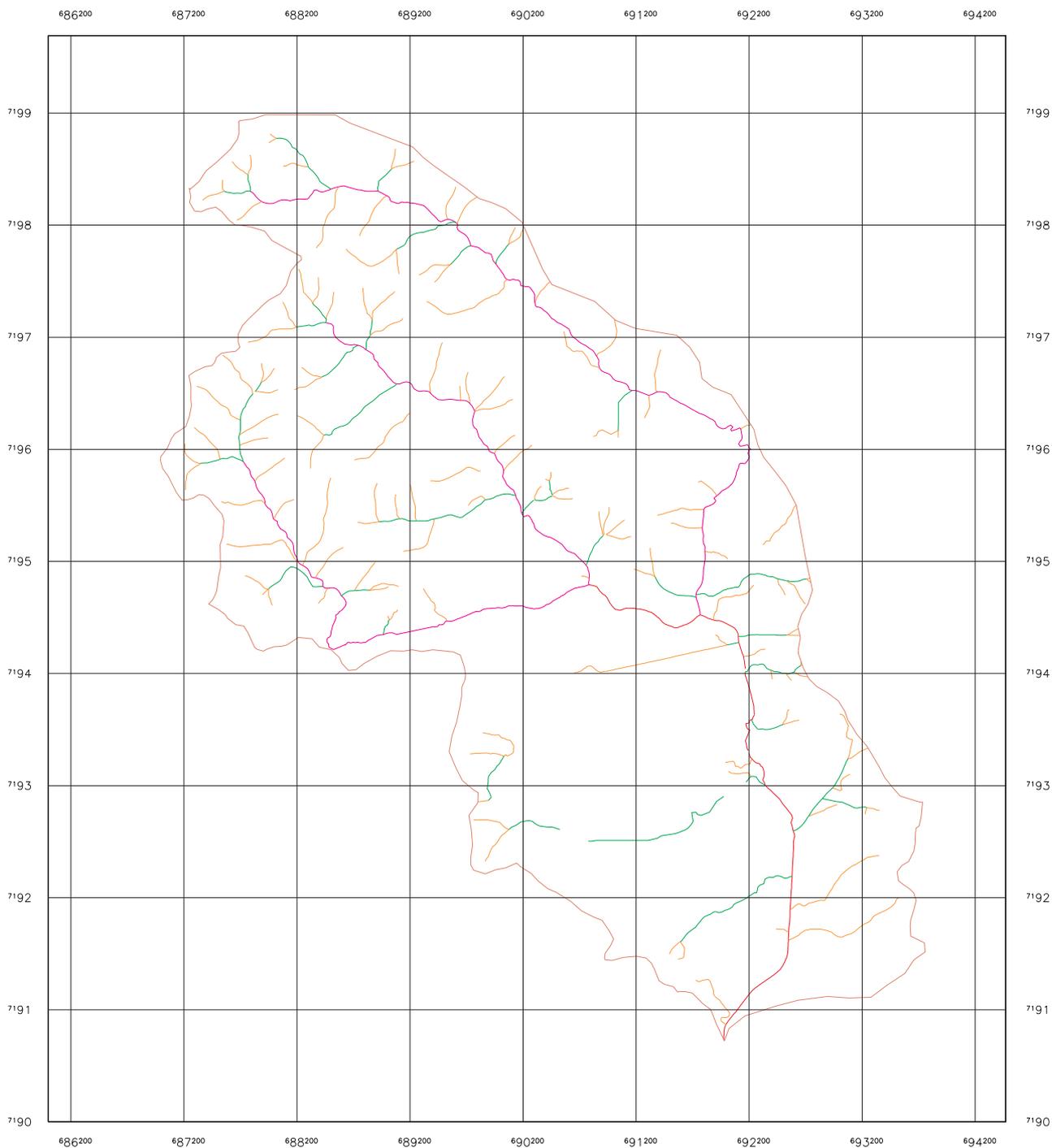
em partes a estes aspectos geológicos, pedológicos e sua dimensão espacial, a menor densidade de drenagem em relação às demais sub-bacias do sistema hidrográfico do alto curso superior do rio Iguaçu.

A respeito da relação de relevo a mesma apresenta um índice na média das sub-bacias com índice de relação baixo, possuindo uma amplitude altimétrica de aproximadamente 101 m, estabelece menor energia de escoamento nos seus canais superficiais. Este parâmetro associado ao seu fator de forma que é de 0,34 de um máximo de 1, indica que esta sub-bacia não é potencialmente propícia a inundações, a não ser em seu terço inferior e toda a extensão do leito maior de seus principais canais de escoamento onde encontram-se as planícies de inundação.

Em relação ao seu coeficiente de manutenção a sub-bacia hidrográfica do rio Timbu apresenta um índice aproximado de 376 m<sup>2</sup> de área por canal de escoamento superficial, que deveriam ser preservados na cobertura natural do solo para que fosse mantida a boa qualidade de seus recursos hídricos. É inegável a extrema importância que representa o índice de coeficiente de manutenção dos canais de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica quanto a aplicação e desenvolvimento de projetos de planejamento ambiental regional, principalmente em áreas de mananciais.

Quanto às formas dos padrões geométricos da drenagem observa-se nesta sub-bacia em seu terço superior o tipo dendrítico, possivelmente neste caso relacionado a estratificações horizontais relativas a bacias de sedimentação. E em seu terço médio e inferior ocorre à formação de padrões do tipo paralelo, indicando neste caso a presença de controles estruturais, em inclinações unidirecionais e uniformes. Fatores que elucidam e demonstram sem dúvidas o controle estrutural geológico sobre a drenagem (Figura 38).

FIGURA 37 - HIERARQUIA FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO TIMBÚ



LEGENDA:

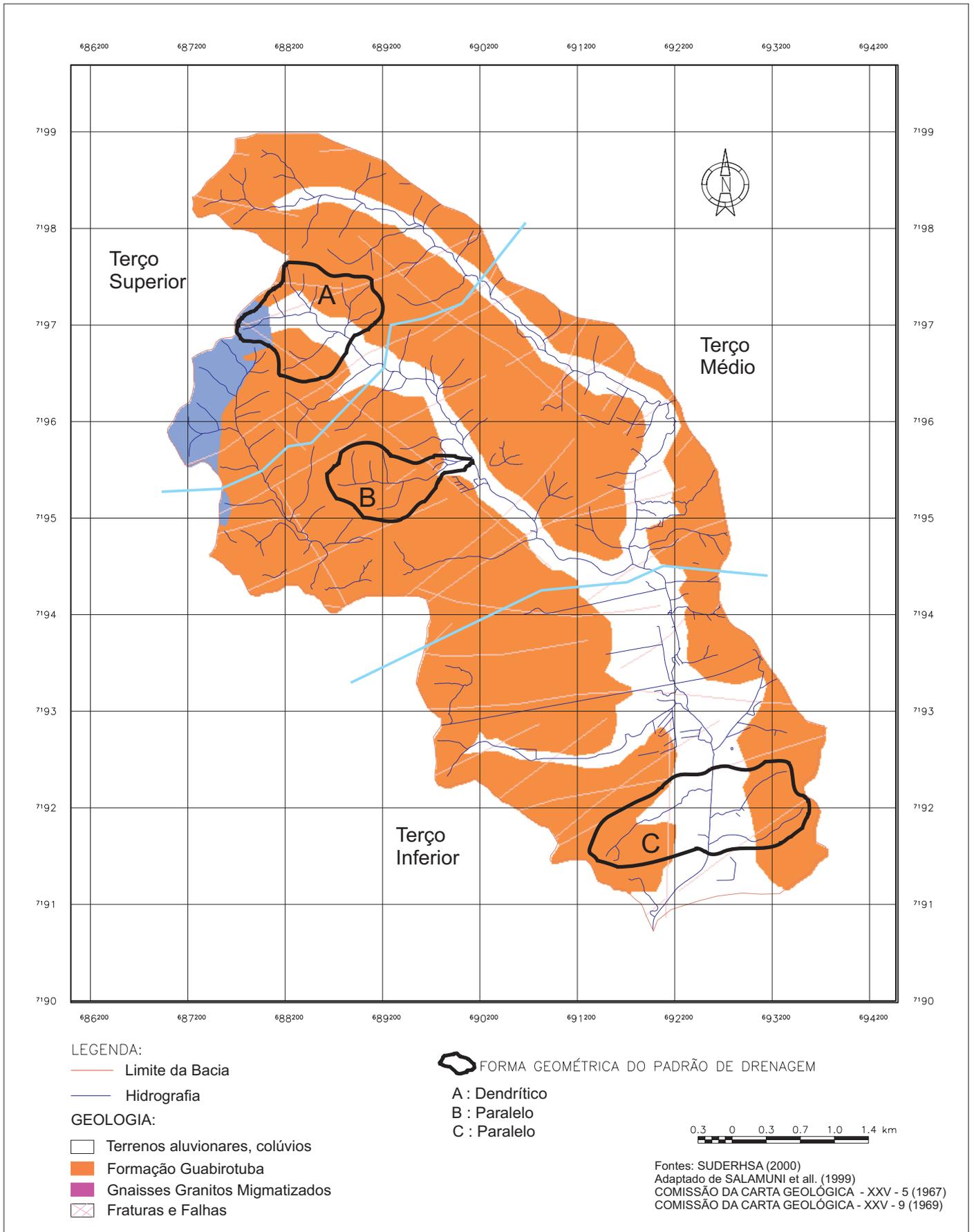
- 1° ORDEM
- 2° ORDEM
- 3° ORDEM
- 4° ORDEM



0.3 0 0.3 0.7 1.0 1.4 km

FONTE: SUDERHSA (2000)

FIGURA 38 - GEOLOGIA E PADRÕES DE DRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO TIMBÚ



### 6.3 ANÁLISE CONJUNTURAL DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO SUPERIOR DO RIO IGUAÇU

Analisando o sistema hídrico do alto curso superior do rio Iguaçu, através dos parâmetros morfométricos das suas principais sub-bacias hidrográficas, em conjunto responsáveis pela disponibilidade de água para abastecimento público de Curitiba e parte considerável de sua Região Metropolitana, é possível esclarecer as relações geológicas, geomorfológicas e morfoestruturais controladoras do sistema hidrogeológico superficial desta importante área de mananciais. Salienta-se a importância de tais elucidações, atribuindo ao conjunto dos elementos físicos e fundamentalmente suas características geológicas formadoras deste complexo sistema, grande representatividade nas decisões a serem tomadas quanto ao planejamento e gestão mais adequados de uso e ocupação do solo desta região, considerando suas competências naturais de disponibilidade de tão importante recurso, a água.

Considerando os índices referentes à densidade de drenagem e de rios perenes, de um modo geral apresentam-se altos, caracterizando a presença de terrenos com grau elevado de impermeabilidade. Relacionando estes índices com a localização espacial da área, observa-se que estes resultados se elevam consideravelmente em toda a borda leste e extremo norte da bacia hidrográfica, nos contrafortes Ocidentais da Serra do Mar e no Grupo Açungui onde se encontram as rochas mais antigas referentes ao Proterozóico Inferior e Superior e ao Eo-Paleozóico cortadas por diques pertencentes ao Mesozóico. De um modo geral as rochas associadas a esta região apresentam maior resistência e menor permeabilidade encontrando-se em relevos mais acidentados, por outro lado, a permeabilidade desta região é potencializada significativamente por esta apresentar alto índice de fraturamento. Já o centro e a borda oeste da bacia hidrográfica do alto curso do rio Iguaçu encontra-se sobre a Bacia Sedimentar de Curitiba, que apresenta rochas bastante recentes associadas, aos terrenos aluvionares e coluvionares formados a partir dos leitos maiores escavados em relevo suavizado pelo leito dos principais canais de escoamento superficial, resultando em extensas planícies de inundação. Elevando-se acima das planícies de inundação encontra-se a Formação Guabirota relativo ao Oligo-Mioceno (Terciário Superior), ocupando

maior extensão da área da bacia hidrográfica. Formada por depósitos argilosos, arcósios, areias e diamictitos rudáceos principalmente, apresenta maior permeabilidade justificando a diminuição da distribuição superficial da rede de drenagem no exutório de suas sub-bacias que se encontram praticamente todas sobre esta unidade geológica.

Quanto à **relação de relevo**, observa-se que a bacia hidrográfica de um modo geral apresenta baixos índices, considerando sua amplitude altimétrica pelo seu comprimento. Este fato traduz-se em uma drenagem energética superficial baixa, com exceção de sua borda leste e sudeste, onde ocorrem as maiores cotas altimétricas da área associadas aos contrafortes da Serra do Mar. Considerando juntamente com estas características de **relevo** o fator **forma** das sub-bacias num contexto amplo, utilizando a proposta apresentada por BELTRAME (1994) para caracterizar a influência deste índice, os mesmos configuram-se baixos indicando que a bacia hidrográfica não apresenta propensão a inundações. No entanto é importante observar que estes índices são representativos, considerando-se a dinâmica natural da região e controlam as características e amplitude de seus canais maiores, cuja principal função é absorver os excessos da capacidade hídrica superficial em momentos de pico. Fato contrastável na região, onde podem ser observadas as maiores concentrações demográficas e conseqüentemente as maiores modificações estruturais da paisagem natural, substituída e ou associadas à implementação de obras urbanas.

O adensamento demográfico, além de estar localizado em áreas inadequadas ao uso do solo para urbanização, contrapõe-se ao coeficiente de manutenção. Com índices variando aproximadamente entre 300 e 700 metros, que deveriam ser respeitados quanto ao uso e ocupação do solo, adequados para garantir a integridade da qualidade e quantidade dos recursos hidrogeológicos desta importante bacia hidrográfica. os quais praticamente em sua totalidade não são respeitados, indicando a falta ou inadequação de planejamento ambiental na região.

Como fato esclarecedor do controle estrutural geológico sobre o comportamento e distribuição dos canais superficiais nota-se que os padrões geométricos da drenagem em sua maioria são dendríticos e paralelos, indicativos de litologias muito estruturadas, e relevo condizentes como os mesmos encontrados na região. Detalhando é possível associar a ocorrência de padrões dendríticos a rochas

com resistência uniforme ou em rochas com estratificação horizontais, e os padrões do tipo paralelo caracterizam áreas com presença de vertentes com inclinação acentuadas ou controle estrutural, ou seja, inclinações unidirecionais, constituídas por camadas resistentes com inclinação uniforme.

Outro fator de relevância a ser considerado é o alto grau de estruturação geológica com uma grande densidade de fraturas da área da bacia hidrográfica, há um condicionamento estreito do comportamento hídrico superficial com estas feições estruturais. Trazendo influências também na qualidade, e quantidade da água, relacionando estas feições de diáclases e falhas com a recarga de água através do nível freático para os canais de superfície e de infiltração mais profundas para a recarga dos aquíferos fraturados, comuns à região, os quais representam importantes reservas deste imprescindível recurso natural.

Salienta-se que os índices morfométricos são em sua maioria quantificáveis considerando a estrutura ambiental natural e ou muito pouco modificada, sendo possível a alteração destes índices em função de determinados modelos de uso e ocupação do solo.

É inegável a importância da avaliação dos parâmetros morfométricos, e geológicos no que diz respeito à elaboração e execução de planejamento ambiental, e gestão territorial para bacias hidrográficas de um modo geral, e principalmente, para mananciais de abastecimento público, onde são de grande relevância as condições de qualidade e quantidade do recurso hídrico, que são indissociáveis dos demais fenômenos e elementos conjunturais do sistema ambiental.

Os resultados demonstrados e discutidos neste capítulo tem o objetivo de fundamentar a designação dos graus de fragilidade potencial que por sua vez indicarão as melhores adequações de zoneamento ambiental a partir da designação da fragilidade emergente designada pela forma de uso e cobertura do solo, que por sua vez apontará as áreas com utilização conflitante, concretizando desta maneira ferramenta valiosa aos planejadores e administradores desta importante bacia hidrográfica de mananciais.

## 7. DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Considerando a relação integradora entre os elementos que, em conjunto formam os diferenciados sistemas ambientais em variadas escalas e cronologias distintas, estes podem ser avaliados sob os aspectos do ecossistema e/ou do geossistema.

Cabe a ressalva de que, os ecossistemas centralizam suas atenções na dinâmica, evolução e interação das espécies entre si e outras espécies e destas com os elementos inanimados que as cercam e possibilitam a vida. Tratando-se dos geossistemas estes tem como objeto central de estudos as paisagens geográficas distribuídas sobre a superfície da Terra integradas às necessidades e atividades da sociedade humana.

Sob este aspecto, quando se trata da resiliência do sistema ambiental, deve-se considerar estas duas vertentes conceituais de maneira diferenciada, pois, invariavelmente as atividades humanas que se desenvolvem sobre o arranjo sistêmico do ambiente tendem à artificialização do meio bem como podem acelerar processos de instabilidade trazendo como conseqüências, na maioria das vezes, a degradação ambiental colocando em risco a integridade e qualidade dos recursos ambientais sejam estes minerais, hídricos, atmosféricos ou biológicos.

Atualmente um dos maiores desafios da sociedade humana é a compatibilização entre o uso de recursos naturais e a manutenção da estabilidade e qualidade da natureza. Diante da expectativa em se equacionar este problema, a sociedade hodierna tem como principal entrave o acelerado crescimento demográfico.

Através da forma que a sociedade constrói, manipula e envolve-se culturalmente com o espaço geográfico, criam-se áreas com aspectos bem definidos considerando suas características estruturais e funcionais. Entre as principais relações geossistêmicas regionais considerando tais aspectos, destacam-se os subsistemas rurais, urbanos e rurbanos designados pela forma de uso do solo desenvolvida pela sociedade humana.

Podem estas áreas ser consideradas como sistemas individualizados sob os aspectos do uso do solo, porém, invariavelmente, são sistemas que se apresentam intimamente conectados e interdependentes. As principais relações que se

estabelecem dizem respeito às trocas de recursos naturais, produtos beneficiados e tecnologias para atender a demanda das necessidades humanas.

Os espaços rurais caracterizam-se por um menor adensamento demográfico e elementos noóticos, e pelo modo de utilização dos recursos que tem como principal objetivo à produção de alimentos e matéria prima biológica ou mineral, para determinados processos industriais visando abastecer o sistema urbano e em partes, o próprio sistema rural e urbano na forma de insumos, defensivos e artefatos de um modo geral. No entanto cabe a ressalva que se torna comum nos dias atuais encontrar jazidas mineralógicas sendo exploradas dentro de perímetros urbanos.

Quanto aos espaços urbanos, estes se caracterizam pela intensa artificialização dos aspectos naturais que são substituídos ou acrescidos por elementos noóticos e por maior concentração demográfica. Entretanto observa-se que os sítios urbanos em sua grande maioria surgem e desenvolvem-se sem um planejamento específico que considere as características físicas e biológicas da região aonde irá se estabelecer, confluindo inevitavelmente para a geração de problemas de ordem ambiental e conseqüentemente social e administrativa. Segundo TROPMAIR (1995, p. 137):

Os centros urbanos funcionam como sistemas abertos, isto é, mantêm relações com outros sistemas. Verifica-se que, nas cidades, há entradas – *input* – de matéria (madeira, papel, minerais) e de energia (alimentos, eletricidade, combustível) e há saídas – *output* – de materiais acabados (móveis, automóveis, produtos de consumo, etc) e mesmo de idéias (livros, jornais e revistas). Ao mesmo tempo há retroalimentação – *feedback* – em que substâncias semi-acabadas são transformadas em material acabado.

Atualmente com o crescimento das grandes cidades e das regiões metropolitanas, surge uma nova modalidade de espaço, o urbano, que apresenta como características fundamentais de uso do solo um modelo muito semelhante ao do sistema rural, porém sobre forte influência e dependência do sistema urbano.

Diante da forma pela qual são substituídos ou explorados os elementos que compõem as paisagens naturais do sistema terrestre, estes podem desencadear ou acelerar processos de instabilidade ou degradação ambiental potencializando graus diferenciados da fragilidade emergente. Segundo BASTOS e FREITAS (2000, p. 17):

Sob o ponto de vista da melhoria da qualidade de vida e da própria sobrevivência das espécies sobre o planeta, a relação homem-natureza está sendo reavaliada. A natureza não pode mais ser vista como uma simples fonte de matéria-prima ou um local de despejo da sucata industrial. Esta mentalidade, largamente empregada em tempos passados, resultou em desequilíbrio ambiental, que atualmente manifesta-se de diversas formas: poluição hídrica, poluição atmosférica, chuva ácida, destruição da camada de ozônio. E os processos erosivos são apenas alguns exemplos dos problemas ambientais que comprometem nossa qualidade de vida.

A estes problemas somam-se diversos outros que historicamente são transmitidos às gerações futuras permeando um caos inevitável em que na maioria dos casos torna-se tarefa difícil de ser avaliada e quantificada quanto aos efeitos nocivos que os mesmos possam trazer para o meio ambiente e para a sociedade humana.

Tais modalidades de uso do solo trazem além dos efeitos imediatos, conseqüências que provocam a instabilidade da dinâmica natural dos ecossistemas ocasionando processos indesejáveis e onerosos, criando impasses incalculáveis para as administrações públicas e para a sociedade de um modo geral. Desta forma é imprescindível em estudos ambientais a classificação das modalidades de uso do solo. Segundo IBGE (1999, p. 13):

As classes de Uso da Terra podem ser definidas como unidades simples ou associações de classes; isto vai variar com o espaço a ser estudado e a escala de trabalho. Com a experiência ver-se-á que na maioria das vezes a unidade simples aparecerá apenas em estudos de detalhe ou semidetalhe; nos levantamentos a nível regional predominarão as associações de classes.

Considerando a área de estudo e a relevância da diversidade significativa de estruturas do meio físico, e as associações que a compõem, estabeleceu-se as seguintes classes de uso do solo: agricultura, campo/pastagem, corpos d'água, ocupação, solo exposto, vegetação e vias de acesso. O modelo de uso e cobertura do solo diante das características naturais da região representa formas diferenciadas que podem contribuir para a instabilidade ou acelerar os processos naturais ocasionando respostas diferenciadas aos problemas geotécnicos referentes ao grau da fragilidade emergente.

## 7.1 AVALIAÇÃO MULTITEMPORAL DO ADENSAMENTO DEMOGRÁFICO

Comumente nas grandes cidades, a aglutinação e o crescimento demográfico têm fortes tendências em se expandir no decorrer do tempo, interligando e apropriando-se de espaços geográficos adjacentes formando uma complexa rede de instrumentos e atividades urbanas. Através deste processo surgem com o passar do tempo através de instrumentos legais ou não as regiões metropolitanas, onde a partir de centro urbano comum, normalmente uma grande ou média cidade vai se integrando municípios periféricos. Esta integração ocorre através de formas, produtos, processos e pessoas convergindo para o bem comum, porém respeitando limites administrativos de competência pública. Segundo BITAR e ORTEGA (1998, p. 507):

A acelerada expansão urbana, verificada nas médias e grandes cidades brasileiras, sobretudo a partir da década de 50, tem gerado o processo de conurbação e a conseqüente formação de áreas metropolitanas no País, sejam oficialmente reconhecidas ou não. São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Recife, Belo Horizonte, Curitiba, Manaus, Porto Alegre e Belém, são algumas das cidades que nuclearam esse processo, tornando-se centros de intensas relações continuadas entre as atividades humanas e o meio físico.

A Região Metropolitana de Curitiba não foge a regra desta aglutinação de pessoas e estruturas participantes de um espaço geográfico comum, onde, no entanto, questões de planejamento territoriais, em alguns casos são desconsideradas e fogem às expectativas do poder público no que tange às questões ambientais como na maioria das outras regiões metropolitanas do país. Segundo COMEC (2001) o período entre 1970/91, a população concentrada nas nove regiões metropolitanas – RMs – brasileiras instituídas pela lei Complementar n.º 14/73, passou de 24 milhões para 42,7 milhões de pessoas, representando uma variação de 78% em apenas 21 anos. O contingente residente nas regiões metropolitanas em 1996 era de 46,1 milhões de pessoas, acréscimo de 8% em relação a 1991.

Ao tratar da avaliação do adensamento demográfico e conseqüentemente do inchaço urbano, o que se observa nas últimas décadas é que a Região Metropolitana de Curitiba apresentou um dos maiores índices de crescimento como pode ser observado no Quadro 18.

QUADRO 18 - TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL DAS REGIÕES METROPOLITANAS – 1970/96

REGIÕES METROPOLITANAS	1970/81	1980/91	1991/96
Belém	4,15	2,65	2,23
Fortaleza	4,15	3,50	2,33
Recife	2,55	1,86	1,47
Salvador	4,21	3,19	1,68
Belo Horizonte	4,49	2,53	2,25
Rio de Janeiro	2,31	1,03	0,77
São Paulo	4,36	1,88	1,46
<b>Curitiba</b>	<b>5,56</b>	<b>3,03</b>	<b>3,99</b>
Porto Alegre	3,62	2,61	1,44
Total RMs	3,65	2,00	1,57
Brasil	2,34	1,93	1,38

Fonte: PNUD/IPEA/IBGE/FJP – Atlas do Desenvolvimento Humano; IBGE – Contagem da População, 1996. – extraído de COMEC (2001)

Este fato vem ocorrendo nestas metrópoles de maneira desigual criando uma área periférica desestruturada convergindo ao abandono social e ao caos ambiental, desconsiderando a dinâmica sistêmica da natureza. Esta situação apresenta como resposta problemas geotécnicos multivariados, com potencialidades diferenciadas, devido ao grau de fragilidade emergente que apresenta a estrutura do meio físico, em razão do modo de uso e cobertura do solo. Segundo BITAR e ORTEGA *op cit* (1998, p. 508):

O gerenciamento da qualidade ambiental nessas metrópoles tem-se voltado, prioritariamente, para problemas como poluição do ar, ruído, disponibilidade de água, poluição visual, condições subnormais de habitação popular, depósitos de lixo e outros. Somam-se, a estes aspectos, outros problemas decorrentes da indução de processos do meio físico, como erosão, escorregamentos, assoreamento, enchentes, inundações, recalques, afundamentos de solo, contaminação de mananciais e outros, cujas conseqüências, com freqüência, agravam as condições de saúde e segurança e, em decorrência, a qualidade de vida nas cidades.

Trata-se de uma difícil tarefa compatibilizar questões ambientais a uma região em acelerado processo de crescimento, onde é preciso criar condições sociais através de estruturas urbanas, porém respeitando as estruturas do meio físico. Entretanto o que se observa é que muitas vezes o sistema ambiental com suas diversas variáveis fica relegado a um plano secundário, principalmente no que tange às características geológicas. Segundo CARVALHO e PRANDINI (1998, p. 492):

Uma cidade, independente do porte, tem espectro amplo de funções distribuídas no território. Se o meio geológico e os respectivos atributos hidrogeotécnicos são homogêneos, a distribuição de funções será feita por critérios urbanísticos que não incluem o fator geológico. Uma vez que esta não é a regra, há interesse em que tal distribuição seja feita de acordo com as características geológicas e decorrentes atributos das porções homogêneas individualizadas. Esta é a orientação, cuja adoção promete otimizar o aproveitamento do território disponível. É corolário deste princípio o fato de que no meio urbano inexistem áreas imprestáveis, havendo sempre função importante que poderão desempenhar com proveito para a qualidade do ambiente urbano.

Tomando como área de estudo a Região Metropolitana de Curitiba o fato da desconsideração das características geológicas é evidenciado através de problemas setorializados observados na mesma e principalmente na região que compreende o curso superior da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, que ao longo do tempo vem sofrendo forte adensamento populacional conforme pode ser observado nas Figuras 39, 40 e 41 e nas cartas imagens dos anos de 1994, 1997, 2000 e 2002 Figuras 42 a e 42 b.

As tendências do crescimento no setor leste da Região Metropolitana de Curitiba se dão em função, principalmente, das características geológicas e geomorfológicas. Ocorre nesta área em maiores proporções territoriais os compartimentos geológicos aluvionares e coluvionares que apresentam terrenos pouco acidentados, porém sujeitos a um grau elevado de instabilidade ambiental quanto à sua fragilidade emergente.

As conseqüências deste vetor de crescimento urbano direcionado para esta região contrapõem-se sobremaneira as características ambientais resultando em problemas de ordem ambiental e social. Uma das maiores pressões ocorre sobre os recursos hídricos onde são afetadas sua qualidade e disponibilidade, visto que a maior parte da água para abastecimento público advém desta bacia hidrográfica. Tal pressão sobressalta-se aos aspectos hidrogeológicos devido à contraposição aos aspectos legais, onde há um grande aporte de efluentes domésticos e industriais despejados diretamente nos cursos superficiais de água e pela substituição da vegetação natural por elementos noóticos.

# FIGURA 39 - DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL RIO PEQUENO

Foto aérea de 17-09-1980 - A



Foto aérea de 07-06-2000 - B



Análise Multitemporal (período de 20 anos) entre as fotos aéreas A e B - de parte da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno.

FIGURA 40 - DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL RIO IRAÍ

Foto aérea de 28-06-1980 - A



Foto aérea de 07-06-2000 - B



Análise Multitemporal (período de 20 anos) entre as fotos aéreas A e B - de parte da Bacia Hidrográfica do Rio Iraí.

FIGURA 41 - DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL RIO PALMITAL

Foto aérea de 28-06-1980 - A



Foto aérea de 07-06-2000 - B



Análise Multitemporal (período de 20 anos) entre as fotos aéreas A e B - de parte da Bacia Hidrográfica do Rio Palmital

FIGURA 42a -DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU



IMAGEM 1994



IMAGEM 1997

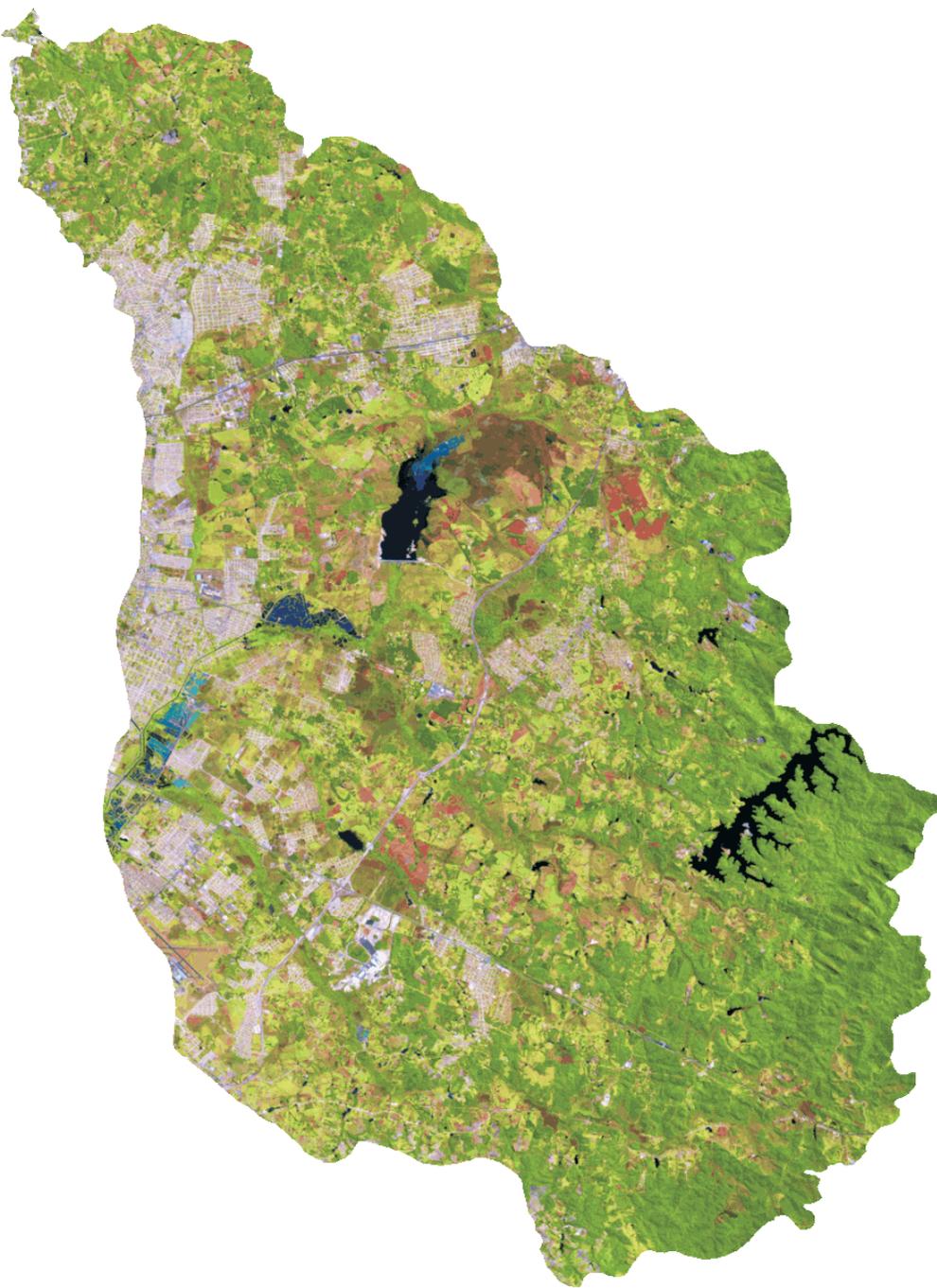


IMAGEM 2000

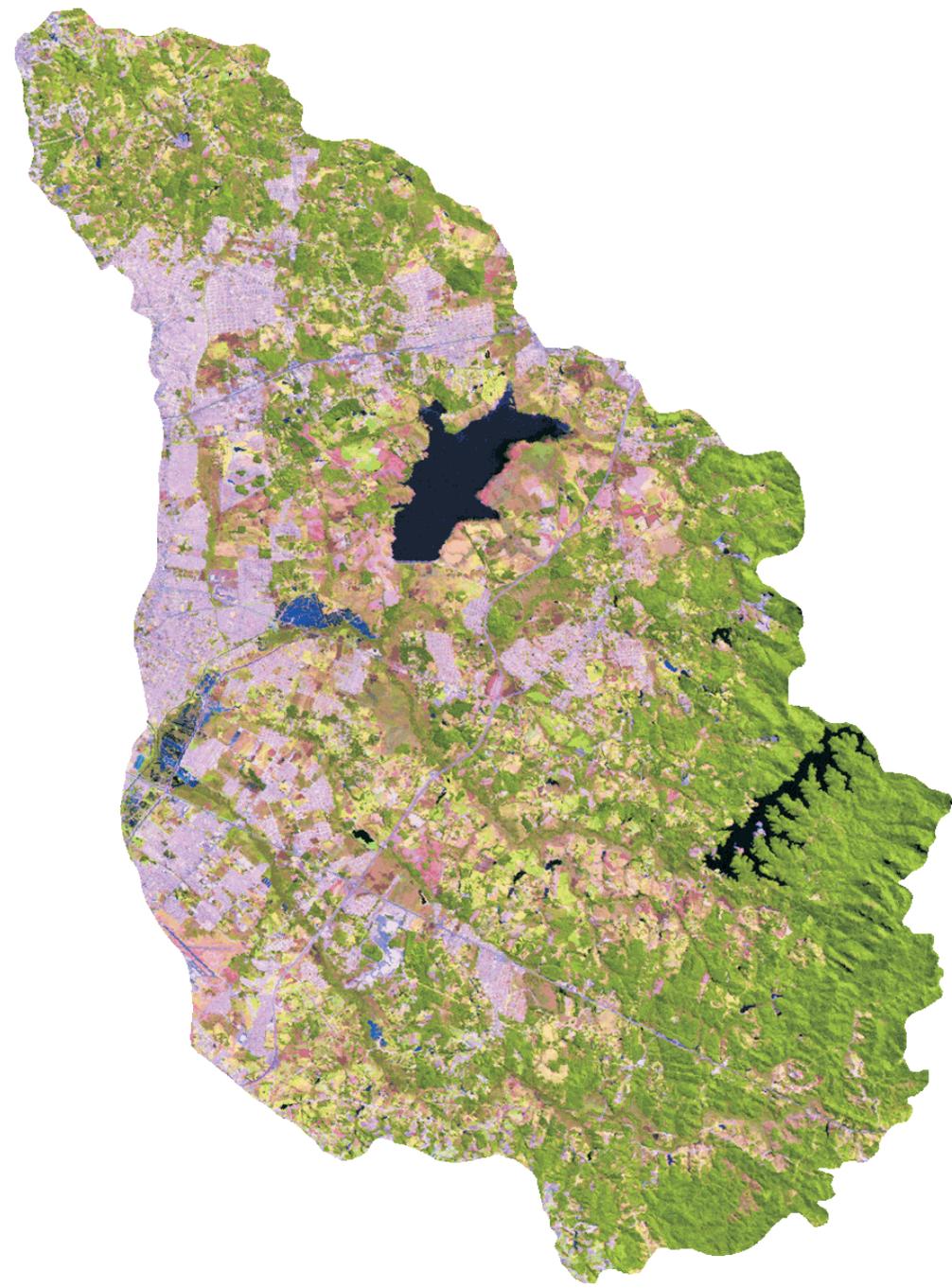


IMAGEM 2002

## 7.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MANANCIAL

Diante da expectativa para o equacionamento entre as necessidades de recursos naturais em suas diversas esferas, inclusive, no que diz respeito ao uso do solo, atenção especial deve ser dedicada às bacias hidrográficas de mananciais. Haja visto que estas áreas representam nobre função em se tratando da disponibilidade dos recursos hídricos em questões de qualidade e quantidade. Desta forma é de fundamental importância os dispositivos legais que estabelecem restrições e determinações para áreas com tais características e função e para o recurso hídrico propriamente dito. Conforme cita BARROS e MONTICELLI (1998, p. 512):

A legislação brasileira é pródiga em dispositivos legais referentes às águas. O Código das Águas, baixado pelo Decreto nº 24.643 de 10 de junho de 1934, modificado já em 1938 e por leis subseqüentes, é o mais completo documento legal existente. Nele se define, por exemplo, que o uso mais nobre da água, e que deve predominar sobre os demais, é o abastecimento público. O conflito entre diversos usuários pode ocorrer em bacias hidrográficas críticas, necessitando de ações capazes de conciliar os distintos interesses. Falar em gestão de recursos hídricos significa tentar compatibilizar em um rio ou uma bacia hidrográfica o uso para abastecimento público, para geração de energia elétrica, irrigação, processos industriais, pesca, navegação, lazer, etc.

No entanto é notório de que associado aos dispositivos legais que regulamentam e dispõem diretrizes para uso do recurso hídrico devem ser consideradas outras atribuições legais interconectando diversos ramos da ciência jurídica, que segundo CUSTÓDIO<sup>13</sup> (1993) citado por ARAÚJO (2000, p. 190) dita que:

Pela própria evidência dos elementos integrantes do meio ambiente, o conteúdo e o alcance da legislação protetional correlata ora integram normas, notadamente de *Direito Urbanístico*, com sua legislação de uso e ocupação do solo, do *Código Florestal*, das *Leis de Proteção da fauna e da Flora*, do *Código de Águas* com legislação complementar, ora se relacionam, direta ou indiretamente, com normas do *Estatuto da Terra* (Código Rural), do *Código de Mineração*, do *Código Civil* (Direito das Coisas – Direito da Propriedade), do *Código da Saúde Pública*, do *Código de Defesa do Consumidor*, *Código Tributário*, *Código Penal*, *Direito Administrativo*, *Direito Econômico*, dentre outros ramos do Direito.

---

<sup>13</sup> CUSTÓDIO, H. B. (1993) A Questão Constitucional: Propriedade, Ordem Econômica e Dano Ambiental. Competência Legislativa Concorrente, In: BENJAMIM, A. H. V. **Dano Ambiental: Prevenção, Reparação e Repressão**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais: p. 115-43.

Porém, apesar de amplo aparato legal que em conjunto decretam normatizações que vem ou podem vir de encontro às tendências emblemáticas entre as questões e embates ambientais, socioeconômicos e de uso do solo, estas tem habitualmente maneira de tratamento individualizado e não sistêmico.

Esta maneira de tratamento pontual e individualizado sobre aspectos legais referentes ao meio ambiente ou questões concernentes, na maioria das vezes abrem lacunas passíveis de recursos aos aparatos legais burlando as determinações legislativas.

Segundo MINER (2003), vários são os cuidados que devem ser tomados para a utilização e conservação das águas de mananciais, visto que como qualquer outro recurso esta também pode apresentar esgotamento. Desta forma áreas de mananciais possuem algumas restrições quanto às atividades a serem desenvolvidas na região, sendo que alguns empreendimentos podem causar ou agravar a poluição das águas. Assim é proibida a instalação de indústrias poluentes bem como a instalação de estabelecimentos hospitalares e depósitos de resíduos sólidos. Existem também grandes restrições aos empreendimentos habitacionais, como loteamentos, parcelamentos ou conjuntos habitacionais, principalmente se estes empreendimentos apresentarem alta densidade demográfica.

Objetivando evitar e diminuir a degradação das áreas de proteção, são estabelecidas restrições quanto à ocupação das bacias de mananciais. Nas áreas destinadas à preservação, recuperação e conservação dos recursos naturais (áreas de restrição à ocupação) serão somente permitidos usos e atividades que atendam minimamente requisitos a manutenção da qualidade da água, que são caracterizadas por serem:

- faixas de drenagem dos corpos d'água;
- áreas cobertas por matas;
- áreas com declividade superior a 30%;
- áreas do entorno dos reservatórios e as áreas sujeitas a inundação.

Devem também ser consideradas as áreas de ocupação orientada, ou seja, onde há ocupação urbana, ou transição entre áreas urbanas e rurais, onde pode ser permitido o loteamento, parcelamento, instalação de estabelecimentos, porém essa ocupação deve ser controlada pelo poder público minimizando os efeitos poluidores sobre os mananciais.

Diante de tal situação seria muito valioso e produtivo que quando na determinação e elaboração de diretrizes legais fossem considerados os aspectos sistêmicos que permeiam e designam os geossistemas e os ecossistemas.

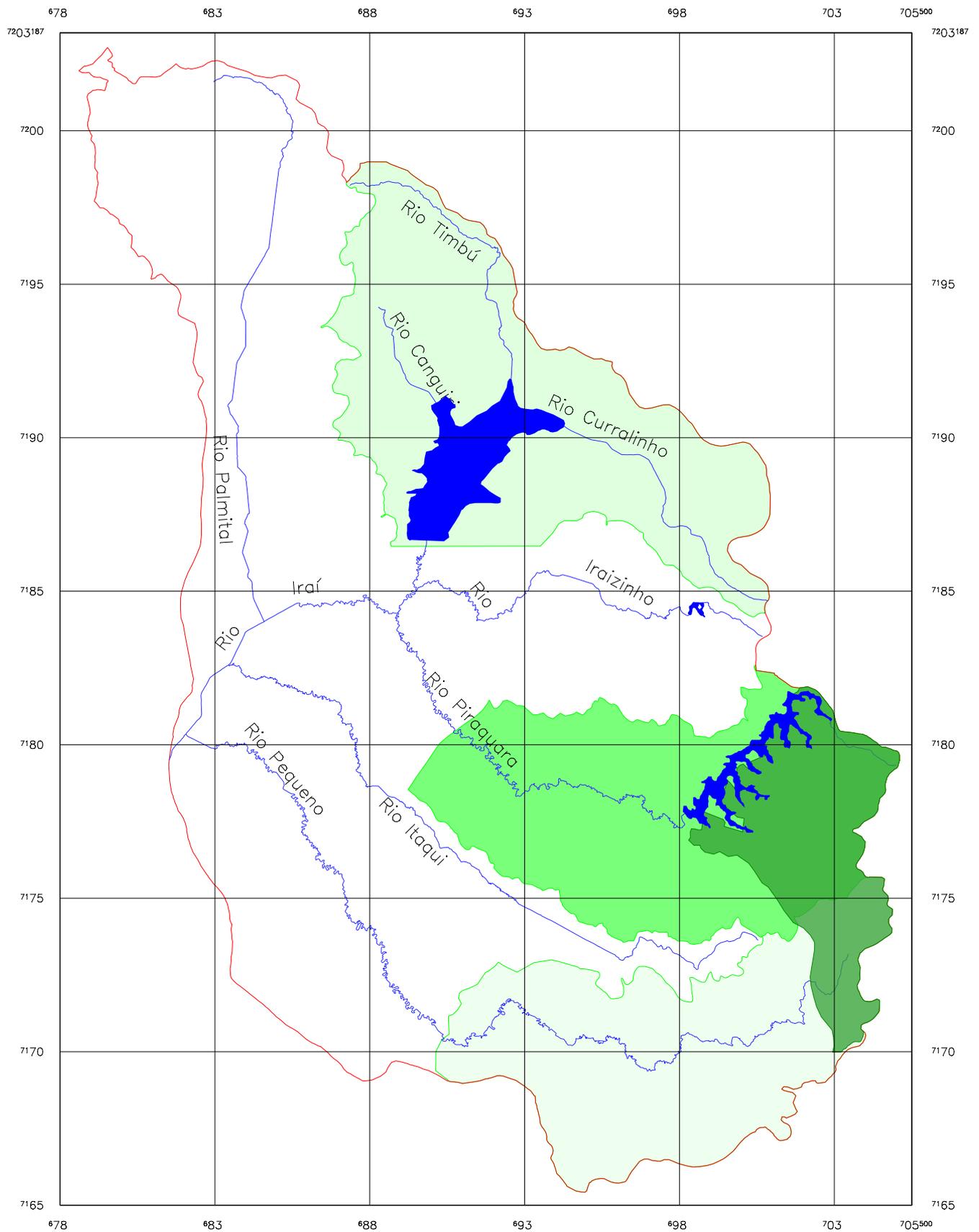
Considerando os princípios sistêmicos que compõem a natureza, pouco ou muito alterada pelas relações humanas, indubitavelmente os aspectos geológicos apresentam fortes relevâncias a serem consideradas e principalmente no que diz respeito a questões protecionais relativas a bacias hidrográficas de mananciais. Assim as contribuições da geologia ambiental possuem relevância significativa na formulação de aparatos legais, pois constituem a base estrutural essencial onde estarão assentados todos os outros elementos constituintes da natureza conectados aos fenômenos internos e externos modificadores do meio de modo sistematizado.

Outras formas de regulamentação legal que podem apresentar eficiência nas questões ambientais relacionadas a bacias hidrográficas de mananciais desde que cumpridas suas determinações são as áreas amparadas por lei, que segundo BARROS e MONTICELLI *op cit*:

... por decreto ou lei, o poder público pode definir Área de Proteção de Mananciais (APM) e Área de Proteção Ambiental (APA), visando delimitar porções territoriais, nas quais objetiva inibir ou restringir atividades consideradas prejudiciais aos mananciais ou ao meio ambiente que se pretende proteger. As diferentes esferas de governo (municipal, estadual e federal), podem utilizar este procedimento, também para a delimitação de parques, reservas e áreas de preservação ambiental.

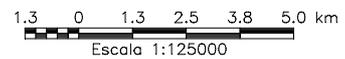
Estas áreas representam porções territoriais importantes quanto às questões do zoneamento ambiental para uso e ocupação do solo, considerando essencialmente a fragilidade emergente ficando restrito às atividades que possam representar riscos ou acelerar processos de degradação ambientais. Na região do alto curso superior da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu algumas áreas são amparadas legalmente pelo Estado (Figura 43) desde o ano de 1996, além de outras instauradas a partir de 2002 por decreto municipal por apresentarem importância estratégica ambiental, e devem sem dúvida ser consideradas na determinação de zonas de uso bem como na identificação de áreas com utilização atual conflitante.

FIGURA 43 – CARTA DE ÁREAS AMPARADAS POR LEI DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

-  LIMITE DA BACIA
-  CORPOS D'ÁGUA
-  Área Especial de Interesse Turístico do Marumbi
-  Áreas de Proteção Ambiental
-  Iraí
-  Pequeno
-  Piraquara



Fonte: COMEC (2001)

As questões legais que determinam os direcionamentos da sociedade em atitudes e responsabilidades são instrumentos essenciais para o fortalecimento do respeito e da dignidade humana entre si, e o meio que as cercam. No entanto por questões históricas e desordens político administrativas dos órgãos responsáveis, muitas vezes observa-se um contra-senso entre o que determina a lei, e o fato ocorrido propriamente dito.

Fatos que podem ser observados comumente nas questões que se referem ao meio ambiente, onde entre os problemas mais comuns apontam-se as ocupações em áreas irregulares, ocupação de áreas protegidas por lei, utilização inadequada dos recursos naturais, descarte inapropriado de produtos inservíveis, desrespeito à fauna e flora, entre outros.

Estes problemas não ocorrem pela inexistência de determinações regulamentadoras legais, e sim pela falta de aplicação das mesmas, as quais em muitos casos devem ir além das atitudes punitivas e restritivas, alcançando as esferas educacionais, procurando estabelecer um comportamento humano responsável com aquilo que lhes é essencial para própria sobrevivência.

### 7.3 PROJEÇÕES DE CENÁRIOS FUTUROS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Os problemas ocasionados ao meio ambiente e conseqüentemente em maior e mais acelerado grau ocorrem nas parcelas menos favorecidas da sociedade e tendem a agravar-se na medida em que aumenta o crescimento e adensamento demográfico, em virtude da pressão sobre o território e aumento das necessidades básicas humanas de sobrevivência como espaço físico, moradia, saúde pública e alimentação.

Observa-se que nas regiões metropolitanas há fortes tendências a um crescimento contínuo e desproporcional em relação às características físicas naturais. Esta forma desordenada de crescimento pode ser avaliada quanto à temporalidade e direcionamento tendencioso ocupacional, sendo possível através de análise multitemporal estabelecer projeções indicativas de situações futuras de uso e cobertura do solo.

Normalmente o crescimento ocorre das áreas mais nobres para as áreas menos nobres e desprovidas de qualidade no que se refere às condições do meio físico e ou estruturas urbanísticas. Porém, mesmo nestas áreas de baixa qualidade a escolha via de regra tende para aquelas que apresentam menores impeditivos para o assentamento das estruturas de moradias considerando principalmente as condições da estrutura geomorfológica e geológica. Desta forma as áreas preferenciais num primeiro momento são os fundos de vale, por apresentarem relevo menos acidentado, porém constituintes de regiões pouco estáveis, com riscos de enchentes e inundações e normalmente insalubres para ocupação humana. A partir do momento em que se esgote a parcela deste espaço territorial, outras áreas mais acidentadas vão sendo ocupadas aumentando significativamente o risco de acidentes geotécnicos de escorregamentos e desmoronamentos colocando em risco a integridade da população ali estabelecida.

Os primeiros efeitos a serem sentidos sobre os aspectos ambientais dizem respeito à remoção da cobertura vegetal e perda da qualidade dos recursos hidrogeológicos que resultam inevitavelmente na perda de qualidade de vida da sociedade de um modo geral ocasionando problemas atuais e futuros.

Tomando a área de estudo, notadamente observa-se que estes fatos vêm ocorrendo em proporções alarmantes com tendências futuras catastróficas quando se projeta condição futura de uso e cobertura do solo.

Segundo estudos realizados por JACOBS e RIZZI, (2003, p. 119) estes apontam para uma substituição da cobertura vegetal pela ocupação urbana, onde em uma análise multitemporal indica que as áreas ocupadas por florestas eram da ordem de 58,99% em 1976, passando respectivamente para 50,22% em 1984, 48,08% em 1990, 44,99% em 1996 e 44,95% em 1999, perfazendo um índice de perda de 14,04% em um período de aproximadamente duas décadas. Em contrapartida as áreas urbanas que representavam em 1976 um percentual de 3,14% do território passaram respectivamente para 7,40% em 1984, 8,95% em 1990, 18,11 em 1996 e 19,91% em 1999 apresentando um crescimento da ordem de 16,77% para o mesmo período.

Avaliando estas informações percebe-se um crescimento contínuo, através dos quais é possível traçar projeções futuras de crescimento populacional e substituições dos aspectos naturais pelos aspectos urbanos. Estes mesmos estudos traçam uma projeção para o ano de 2010, onde além das perdas significativas dos mananciais ocorrerá também perda em toda a área das bacias incrementais da área de estudo, onde as mais afetadas serão as sub-bacias dos rios Iraizinho, do Meio e toda a área de contribuição situada a jusante das barragens Irai e Piraquara II (atualmente em fase de implantação), chegando a área a 21.187 ha, representando 37% da área original dos mananciais. Tomando como parâmetro as sub-bacias do rio do Meio esta passa de 12,7% de área urbana constatada em 1999 para uma projeção de 38% de sua superfície ocupada por tipologias urbanas como residências, indústrias, comércios, serviços entre outras.

Em outro estudo realizado por PELAEZ *et al*, (2003) que enfoca o crescimento da demanda de água para abastecimento público relacionadas ao crescimento da população na Região Metropolitana de Curitiba até o ano de 2050, apontando para estimativas projetadas onde o adensamento populacional passa de 2.800.000 habitantes em 2000 para cerca de 9.000.000 de habitantes. Estes índices elevam o consumo de água na região de 7.000 litros/segundo no ano de 2000 para 39.000 litros/segundo para o ano de 2050, correspondendo a um aumento na demanda de 560%.

Grande parte deste acréscimo populacional que tende a ocorrer na Região Metropolitana de Curitiba, inevitavelmente atingirá a área compreendida pelo alto curso da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, potencializando fortemente os níveis de fragilidade emergente desta importante região, que além de acarretar um déficit no abastecimento de água, também trarão conseqüentemente outros problemas de ordens ambiental e social.

A geologia ambiental pode ser decisória na solução ou mitigação de problemas em áreas urbanas ou em transformações, contribuindo fundamentalmente nas diretrizes de planos gestores, uma vez compreendidas as cidades como uma solução a ser ainda, e continuamente, aprimorada em seus múltiplos aspectos. Tomando as propostas da cidade geo-suportada em contra partida ao assentamento convencional das cidades conforme sugere o Quadro 19.

QUADRO 19 - ASSENTAMENTO CONVENCIONAL E GEO-SUPPORTADO

ASSENTAMENTO CONVENCIONAL	ASSENTAMENTO GEO-SUPPORTADO
Gestão independente do campo e da cidade.	Gestão unificada do <i>continuum</i> campo-cidade.
Correlação função-aptidão baseada em fatores geoderivados ostensivos, ou indiferente a eles.	Correlação função-aptidão baseada nos aspectos constitutivos e comportamentais do sistema geológico.
Gestão individual de disfunções e carências conceituadas como problemas; ações de caráter corretivo, impostas por circunstâncias emergenciais, sob o império de forças políticas dominantes.	Gestão programada, sistêmica e estrutural dos impactos previsíveis e das disfunções manifestadas. Atuação eminentemente preventiva.
A água é objeto de gestão segmentada por procedência e por dimensão. Suprimento homogêneo quanto à qualidade; sucessão de períodos de carência e abundância.	Gestão unificada da água envolvendo procedência (águas superficiais, subterrâneas e pluviais) e dimensão enquanto objeto de gestão (recurso natural, agente geodinâmico, veículo de poluentes e contaminantes). Suprimento segundo a demanda, quantitativa e qualitativa.
Impactos transferidos pelo deslocamento de atividades em conflito (ex.: mineração urbana) e pela exportação de componentes indesejáveis (esgoto, materiais erodidos, resíduos sólidos). Cobra-se mais de quem polui.	Impactos ambientais não são transferidos ou exportados, mas controlados, mitigados ou eliminados localmente. Concede-se mais a quem não polui.
Áreas-objeto do processo de gestão não têm funções sucessivas programadas e são freqüentemente objeto de adaptações improvisadas.	Áreas-objeto do processo de gestão podem ter funções sucessivas ou múltiplas.
Disfunções geotécnicas e ambientais difusas e resistentes a correções convencionais.	Disfunções geotécnicas e ambientais localizadas e receptivas a pronta correção.
Profissionais de áreas afins geram e interpretam dados; trabalham eventualmente na cidade; participam eminentemente de ações corretivas e pontuais.	Profissionais de áreas afins geram e interpretam dados; participam da concepção e execução; trabalham permanentemente na cidade e para a cidade.

Fonte: modificado de CARVALHO e PRANDINI, (1998).

Torna-se clara a importância dos aspectos hidrogeológicos e geotécnicos no contexto sistêmico para a gestão territorial, e principalmente considerando bacias hidrográficas de mananciais, que possuem a nobre função da disponibilidade de água para o abastecimento público de água tratada, além da avaliação de riscos que possam ser potencializados à sociedade em virtude da forma de utilização e ocupação do espaço.

Diante destes aspectos é imprescindível que se realizem estudos que considerem tais dinâmicas apontando áreas que possam representar diferenciadas respostas quanto às possibilidades de fragilidade emergente, preservando além do meio físico, a qualidade e integridade física dos seres humanos e demais espécies da esfera biológica.

## 8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa do trabalho serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para classificação de áreas com fragilidade ambiental potencial e suas relações com os aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos. Através desta primeira fase de classificação heterogênea da fragilidade potencial será possível designar diante do modo de uso e cobertura do solo graus diferenciados da fragilidade emergente.

Com a definição e espacialização das respostas apresentadas pelos elementos e fenômenos do meio físico diante de processos naturais (fragilidade potencial) ou induzidos por obras de engenharia ou outras atividades humanas (fragilidade emergente), sugere-se a classificação do zoneamento ambiental com potencial ao uso e ocupação do solo, que, ao relacionar-se com a atual forma de uso e ocupação, demonstrará as áreas com conflitos de uso, indicando quais regiões desta bacia hidrográfica vem sofrendo maior pressão às questões que se referem à descaracterização do ambiente natural pela antropogenização.

Estes métodos aplicados para a identificar, classificar e definir as áreas com aspectos frágeis e susceptíveis a instabilidade diante da forma de utilização, apontando áreas conflitantes ambientalmente quanto à forma de ocupação, tem o propósito de gerir instrumentos ao planejamento ambiental para gestão e manejo tomando como espaço territorial bacias hidrográficas com pressões ocupacionais e função de abastecimento público. Instrumentos estes atualmente muito importantes para as administrações públicas que tem o compromisso em atender as necessidades de recursos ambientais e sociais em quantidade e qualidade. Segundo BITAR e ORTEGA (1998 p, 499):

Hoje, as ações públicas e privadas têm se voltado, sobretudo, para a questão da efetividade dos procedimentos que visam atender as exigências ambientais estabelecidas. Isto tem sido perseguido por meio de instrumentos de gestão ambiental que, basicamente, consistem na sistematização de procedimentos técnicos e administrativos para assegurar a melhoria e o aprimoramento contínuo do desempenho ambiental de um empreendimento ou de uma área a ser protegida e, em decorrência, obter o reconhecimento de conformidade das medidas e práticas adotadas.

É, também um dos propósitos deste trabalho, demonstrar a efetiva contribuição e importância da Geologia Ambiental no que se refere a determinações de direcionamentos técnicos voltados aos instrumentos do planejamento ambiental.

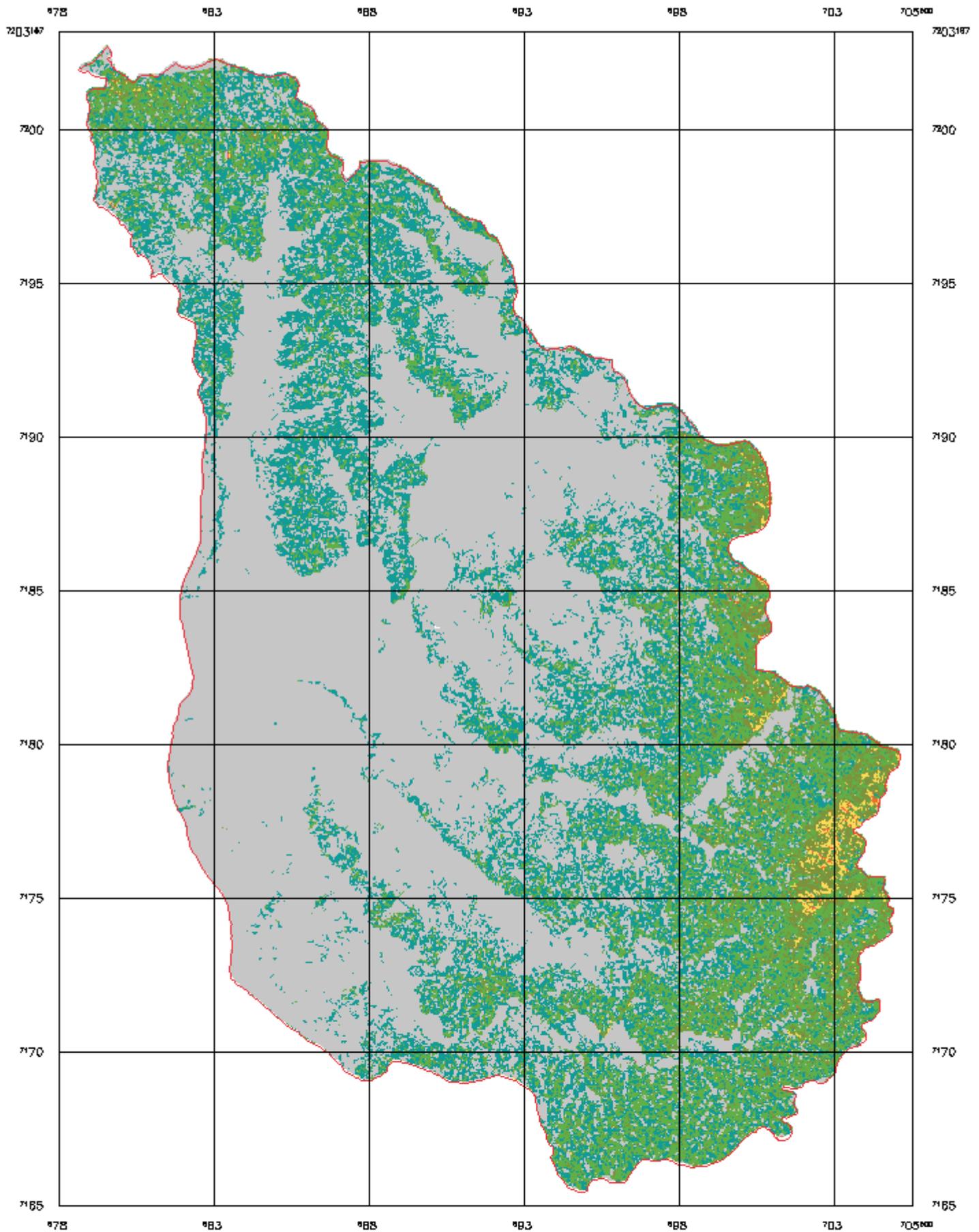
#### 8.1 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL

A determinação do grau de fragilidade ambiental apresentado em um recorte espacial delimitado através de elementos geológicos, morfológicos e pedológicos ou arbitrariamente por determinações político administrativas, considera essencialmente os aspectos conjunturais dos elementos físicos e fenomenológicos que constituem as paisagens ambientais.

Desta forma, a princípio considerando a fragilidade potencial, restringe-se toda e qualquer forma de atividade ou empreendimento humano que possa modificar o comportamento dinâmico e estrutural destes elementos e fenômenos. Então se compreende que a potencialidade de instabilização que possa apresentar os constituintes naturais de uma determinada área, região ou território, são definidos por avaliações do comportamento das influências entre estes próprios elementos e processos. Fazem parte destes elementos a geologia, o relevo, o clima, os solos, a hidrografia, a cobertura vegetal e a fauna deste que relacionada harmonicamente com as leis da dinâmica natural, sem profundas intervenções como ocorre entre a sociedade humana e a natureza.

Os procedimentos para definição dos graus de fragilidade potencial da área de estudo estabeleceram-se baseadas em três fatores fundamentais: a geologia através das classes litológicas e do grau de fraturamento e falhamento regional, da geomorfologia considerando o relevo com os parâmetros de inclinação do terreno (Figura 44) e da cobertura superficial considerando as diferenciadas classes de solos.

FIGURA 44 – CARTA DE CLINOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

- LIMITE DA BACIA
- PARÂMETRO DE INCLINAÇÃO EM GRAU
- |               |               |
|---------------|---------------|
| 0 – 5 graus   | 30 – 40 graus |
| 5 – 10 graus  | 40 – 50 graus |
| 10 – 20 graus | 50 – 60 graus |
| 20 – 30 graus | 60 – 86 graus |



1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000

Elaboração: Sandro José Briski (2003)  
Elaborado a partir das curvas de nível da SUDERHSA (2000)

Através das informações do meio físico foi possível cruzar atributos quantificáveis com atributos qualitativos, onde primeiramente obteve-se por definições de classes a carta de fragilidade litoestrutural. Onde, foram associadas classes litológicas com comportamento mecânico e dinâmico semelhantes considerando a estrutura das rochas e o grau de fraturamento e falhamento regional mediante a potencialidade de percolação e saturação hídrica, e a diferentes inclinações do relevo susceptíveis à movimentação de massa. Desta forma foram definidos oito grupos com associações de classes litológicas da seguinte maneira (Quadro 20):

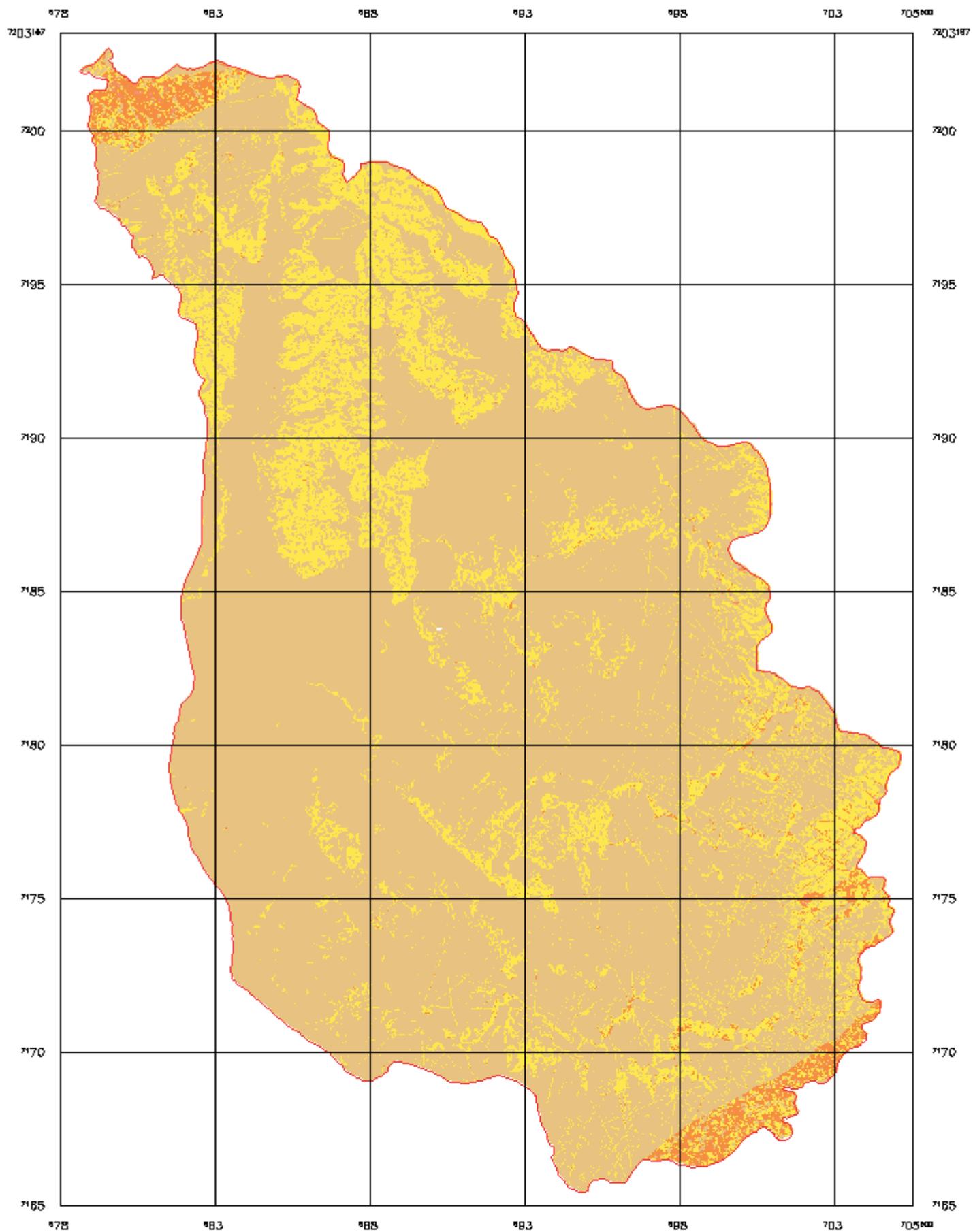
**QUADRO 20 - ASSOCIAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO POR AGRUPAMENTO DE CLASSES LITOLÓGICAS**

GRUPOS	ASSOCIAÇÃO DE CLASSES
Grupo 1	Terrenos aluvionares.
Grupo 2	Depósito de talude, Formação Guabirota.
Grupo 3	Diques.
Grupo 4	Granito Suíte Serra do Mar, Granito intrusivo sub-alcálico, Microgranitos intrusivos.
Grupo 5	Grupo Açungui.
Grupo 6	Formação Guaratubinha.
Grupo 7	Anfibolitos, Gnaisses granodioritos, Gnaisses granitos, Migmatitos indiferenciados.
Grupo 8	Falhas, Fraturas (diáclases).

Estas classes por sua vez foram correlacionadas com a as inclinações do terreno, através de classes entre a inclinação mínima de 0° a máxima de 86°, considerando-se nas áreas com cotas mais baixas e relevos mais planos o intervalo foi de 5° e a partir das inclinações acima de 10° os intervalos ocorreram em múltiplos de 10.

Estabeleceu-se então cinco classes indicando diferenciadas respostas quanto ao grau de fragilidade que poderia apresentar as condições litoestruturais frente às respostas da dinâmica do meio natural (Figura 45). Assim ficaram estabelecidas às seguintes classes de fragilidade; Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte, onde:

FIGURA 45 – CARTA DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

- LIMITE DA BACIA
- Muito Fraca
- Fraca
- Média
- Forte
- Muito Forte

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000



Elaboração: Sandro José Briski (2004)

Elaborado a partir do cruzamento das informações  
clínográficas com as classes de geologia

- A classe de fragilidade **Muito Fraca**; ficou determinada onde:
  - os grupos de 1, 2, 3, 5, 6 e 8 estão localizados em terrenos com variações de inclinações entre 0° e 5°;
  - os grupo 3, encontrar-se em áreas com inclinações entre 5° e 10° e;
  - o grupo 7 esteja em terrenos com inclinações entre 10° e 20°.

Esta classificação representa que o comportamento dinâmico frente aos processos naturais destes agrupamentos de classes litológicas apresenta um grau elevado de estabilidade geotécnica com baixíssimos riscos a movimentação de massa, desmoronamento e processos de abatimento e colapsos, (Quadro 21).

QUADRO 21 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOSTRUTURAL – **MUITO FRACA**

Classes litoestruturais		Inclinação do relevo		
		0° a 5°	5° a 10°	10° a 20°
1	Terrenos aluvionares.	Muito fraca	-	-
2	Depósito de talude, Formação Guabirota.	Muito fraca	-	-
3	Diques.	Muito fraca	Muito fraca	-
4	Granito Suíte Serra do Mar, Granito intrusivo sub-alcálico, Microgranitos intrusivos.	-	-	Muito fraca
5	Grupo Açungui.	Muito fraca	-	-
6	Formação Guaratubinha.	Muito fraca	-	-
7	Anfibolitos, Gnaisses granodioritos, Gnaisses graníticos, Migmatitos indiferenciados.	-	-	Muito fraca
8	Falhas, Fraturas (diáclases).	Muito fraca	-	-

- A classe de fragilidade **Fraca**; determinada quando:
  - os grupos 1, 2, 5, 6 e 8 estão localizados em terrenos com inclinações entre 5° e 10°;
  - os grupos 2, 3 e 8 estejam em terrenos com inclinação entre 10° e 20°;
  - os grupos 3 e 7 encontram-se em terrenos com inclinação entre 20° e 30°;
  - o grupo 7 esteja sobre relevos com inclinação entre 30° e 40°.

Indicando que estes grupos diante de processos naturais apresentam boa estabilidade ambiental e geotécnica em relação aos movimentos de massa, desmoronamentos, abatimentos e colapsos, (Quadro 22).

QUADRO 22 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL –  
**FRACA**

Classes litoestruturais		Inclinação do relevo			
		5° a 10°	10° a 20°	20° a 30°	30° a 40°
1	Terrenos aluvionares.	Fraca	-	-	-
2	Depósito de talude, Formação Guabiro tuba.	Fraca	Fraca	-	-
3	Diques.	-	Fraca	Fraca	-
4	Granito Suíte Serra do Mar, Granito intrusivo sub- alcalino, Microgranitos intrusivos.	-	-	-	-
5	Grupo Açungui.	Fraca	-	-	-
6	Formação Guaratubinha.	Fraca	-	-	-
7	Anfibolitos, Gnaisses granodioritos, Gnaisses granitos, Migmatitos indiferenciados.	-	-	Fraca	Fraca
8	Falhas, Fraturnas (diáclases).	Fraca	Fraca	-	-

- A classe de fragilidade **Média**; ficou determinada quando:
  - os grupos 5 e 6 estão localizados em terrenos com inclinação entre 10° e 20°;
  - os grupos 2, 5, 6 e 8 estejam em terrenos com inclinação entre 20° e 30°;
  - os grupos 2, 3 e 8 estejam em terrenos com inclinação 30° e 40°;
  - os grupos 3, 4 e 7 estejam em terrenos com inclinações entre 40° e 50° e;
  - os grupos 4 e 7 encontrem-se em terrenos com inclinações do relevo entre 50° e 60°.

Esta classe de representação de fragilidade litoestrutural indica que estes agrupamentos litológicos apresentam certo grau de instabilidade diante de processos naturais podendo ocorrer, em casos específicos de desestabilização ambiental, movimentos de massa, escorregamentos e desmoronamentos. No entanto em razão das características litológicas são pouco prováveis abatimentos e colapsos, (Quadro 23).

QUADRO 23 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOSTRUTURAL –  
MÉDIA

Classes litoestruturais		Inclinação do relevo				
		10° a 20°	20° a 30°	30° a 40°	40° a 50°	50° a 60°
1	Terrenos aluvionares.	-	-	-	-	-
2	Depósito de talude, Formação Guabirotuba.	-	Média	Média	-	-
3	Diques.	-	-	Média	Média	-
4	Granito Suíte Serra do Mar, Granito intrusivo sub-alcálico, Microgranitos intrusivos.	-	-	-	Média	Média
5	Grupo Açungui.	Média	Média	-	-	-
6	Formação Guaratubinha.	Média	Média	-	-	-
7	Anfibolitos, Gnaisses granodioritos, Gnaisses granitos, Migmatitos indiferenciados.	-	-	-	Média	Média
8	Falhas, Fraturas (diáclases).	-	Média	Média	-	-

- A classe e fragilidade **Forte**; determinada quando:
  - os grupos 5 e 6 encontram-se em terrenos com inclinações variando entre 30° e 40°;
  - os grupos 5 e 6 estão em terrenos com inclinações entre 40° e 50°;
  - os grupos 3 e 8 estão em relevos com inclinação entre 50° e 60° e;
  - os grupos 3, 4 e 7 encontram-se em relevo com inclinação variando entre 60° e 86°.

Nestas condições, o grau de fragilidade litoestrutural é potencializado podendo ocorrer, com certa frequência, desestabilização ambiental através de movimento de massa, desmoronamento, escorregamento e deslizamentos, indicando grau elevado de instabilidade de encostas principalmente mediante a saturação de percolação hídrica de águas pluviais, (Quadro 24).

QUADRO 24 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL –  
**FORTE**

Classes litoestruturais		Inclinação do relevo			
		30° a 40°	40° a 50°	50° a 60°	60° a 86°
1	Terrenos aluvionares.	-	-	-	-
2	Depósito de talude, Formação Guabirota.	-	-	-	-
3	Diques.	-	-	Forte	Forte
4	Granito Suíte Serra do Mar, Granito intrusivo sub- alcalino, Microgranitos intrusivos.	-	-	-	Forte
5	Grupo Açungui.	Forte	Forte	-	-
6	Formação Guaratubinha.	Forte	Forte	-	-
7	Anfibolitos, Gnaisses granodioritos, Gnaisses granitos, Migmatitos indiferenciados.	-	-	-	Forte
8	Falhas, Fraturas (diáclases).	-	-	Forte	-

- A classe de fragilidade **Muito Forte**; determinada quando:
  - os grupos 5 e 6 estão em relevo com inclinações variando entre 50° e 60°;
  - os grupos 5, 6 e 8 estão localizados em relevos apresentando variações de inclinação entre 60° e 86°.

Neste caso o grau de instabilidade ambiental tem elevadíssimo potencial para desestabilização de encostas através de processos de movimentação de massa, desmoronamento, escorregamento e deslizamentos mesmo em condições normais de saturação hídrica pluviométrica, (Quadro 25).

QUADRO 25 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL –  
**MUITO FORTE**

Classes litoestruturais		Inclinação do relevo	
		50° a 60°	60° a 86°
1	Terrenos aluvionares.	-	-
2	Depósito de talude, Formação Guabirota.	-	-
3	Diques.	-	-
4	Granito Suíte Serra do Mar, Granito intrusivo sub-alcálico, Microgranitos intrusivos.	-	-
5	Grupo Açungui.	Muito Forte	Muito Forte
6	Formação Guaratubinha.	Muito Forte	Muito Forte
7	Anfibolitos, Gnaisses granodioritos, Gnaisses granitos, Migmatitos indiferenciados.	-	-
8	Falhas, Fraturas (diáclases).	-	Muito Forte

Observando a ocorrência das classes taxonômicas das **formações pedológicas** encontradas na região, utilizou-se o mesmo método adotado para a designação da **fragilidade litoestrutural**, para definição e espacialização da fragilidade da formação superficial da área de estudo.

Considerando as características individualizadas das propriedades formadoras de cada táxon foram agrupadas as unidades representativas de cada uma das sete classes pedológicas que ocorrem na área conforme demonstrado no Quadro 26.

QUADRO 26 - ASSOCIAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE AGRUPAMENTO DA FORMAÇÃO  
PEDOLÓGICA

GRUPOS	ASSOCIAÇÃO DE CLASSES
Grupo 1	Solos Litólicos: Rd4 Afloramento de Rocha: AR
Grupo 2	Cambissolos: Ca1, Ca2, Ca3, Ca4, Ca5, Ca6, Ca7, Ca8, Ca9 e Ca10.
Grupo 3	Hidromórficos: HG, HGH1, HGH2, HGH3, HGP1 e HGP2.
Grupo 4	Orgânicos: HO1, HO2 e HO3.
Grupo 5	Latossolos: LVa1, LVa2, LVa3, LVa4, LVa5, LVa6 e LVa7.
Grupo 6	Podzólicos: PV1, PV2 e PV3.
Grupo 7	Rubrozem: RB.

Em função do comportamento de cada uma das classes de solos diante das características e fenômenos naturais da região aos processos de instabilidade, estas foram relacionadas com os diferentes graus de inclinação do relevo da região gerando a carta de fragilidade da formação superficial, (Figura 46).

Assim, as classes taxonômicas foram correlacionadas com as inclinações do terreno, utilizando a mesma definição de fatiamento, entre a inclinação mínima de 0° à máxima de 86°, onde nas áreas com cotas mais baixas com relevos mais planos o intervalo foi de 5° e a partir das inclinações acima de 10° os intervalos ocorreram em múltiplos de 10.

Trabalhando com os atributos de qualidade (comportamento das classes de solo) e quantidade (diferentes graus de inclinação do terreno), foram estabelecidas cinco classes quanto à definição do grau de fragilidade apresentada pela formação superficial em Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte, onde:

- A classe de fragilidade **Muito Fraca**; ficou determinada quando:
  - os grupos de 3, 4, 5 e 7 estão localizados em terrenos com inclinações entre 0° e 5°;
  - os grupos 3, 4, 5 e 7 estão em áreas com inclinações entre 5° e 10° e;
  - os grupos 5 e 7 estejam em terrenos com inclinações entre 10° e 20°.

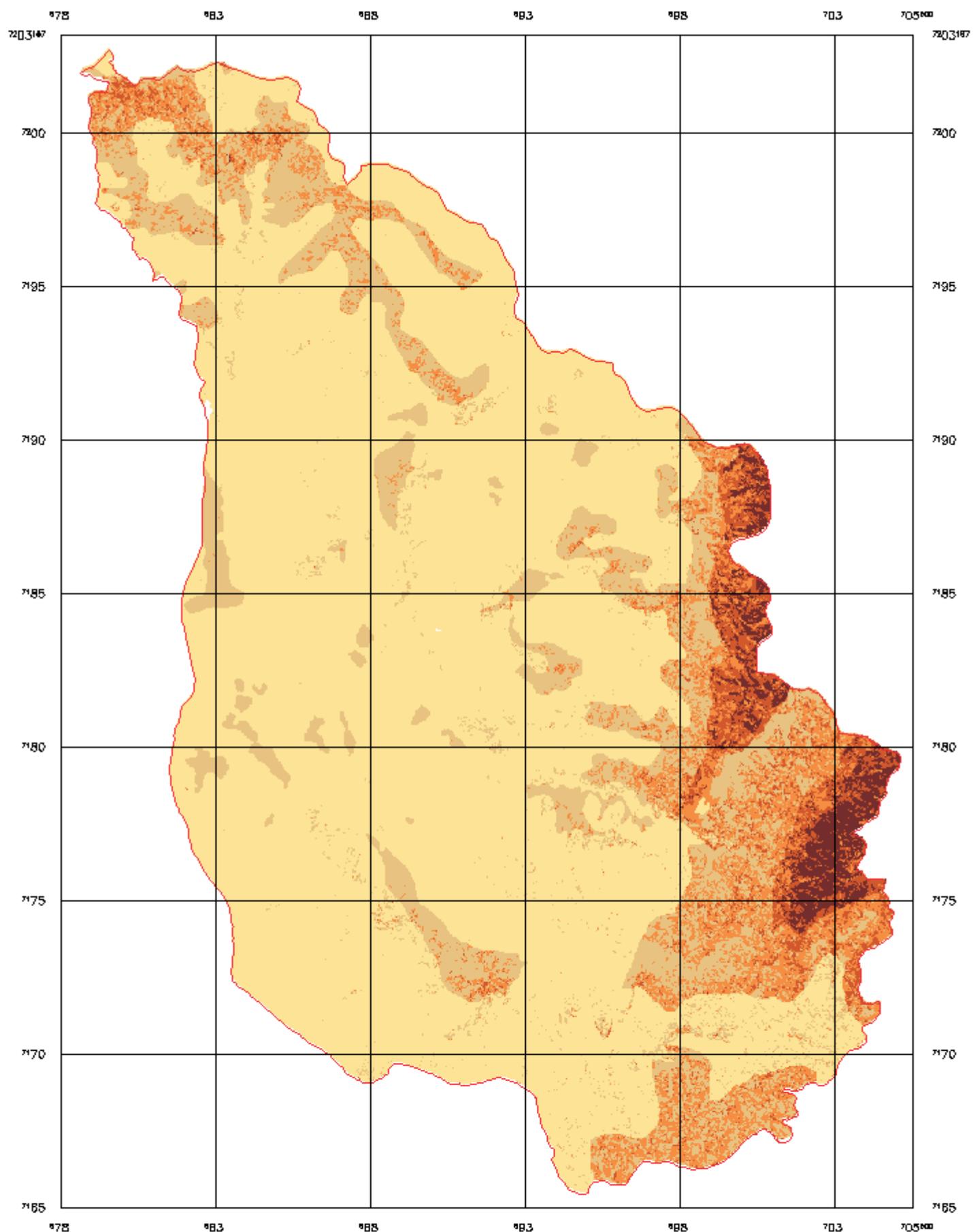
Esta classificação representa que o comportamento dinâmico frente aos processos naturais destes agrupamentos de classes de solos apresenta estabilidade elevada não estando sujeitos aos processos de erosão significativas, assoreamento, deslizamento de terra e afundamentos de terreno, (Quadro 27).

QUADRO 27 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA – **MUITO FRACA**

Classes da Formação Pedológica		Inclinação do relevo		
		0° a 5°	5° a 10°	10° a 20°
1	Solos Litólicos: Rd4. Afloramento de Rochas. AR.	-	-	-
2	Cambissolos: Ca1, Ca2, Ca3, Ca4, Ca5, Ca6, Ca7, Ca8, Ca9 e Ca10.	-	-	-
3	Hidromórficos: HG, HGH1, HGH2, HGH3, HGP1 e HGP2.	Muito fraca	Muito fraca	-
4	Orgânicos: HO1, HO2 e HO3.	Muito fraca	Muito fraca	-
5	Latossolos: LVa1, LVa2, LVa3, LVa4, LVa5, LVa6 e LVa7.	Muito fraca	Muito fraca	Muito fraca

6	Podzólicos: PV1, PV2 e PV3.	-	-	-
7	Rubrozem: RB	Muito fraca	Muito fraca	Muito fraca

FIGURA 46 – CARTA DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

- LIMITE DA BACIA
- Muito Fraca
- Fraca
- Média
- Forte
- Muito Forte

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000



Elaboração: Sandro José Briskí (2004)  
Elaborado a partir do cruzamento das informações  
clinográficas com as classes de solos

- Classe com fragilidade **Fraca**; determinada quando:
  - os grupos 2 e 6 encontram-se em terrenos com inclinações entre 0° e 5°;
  - os grupos 2 e 6 estão em inclinações do terreno variando entre 5° e 10°;
  - os grupos 3 e 4 estejam em terrenos com variações entre 10° e 20° e;
  - os grupos 5 e 7 encontrem-se em terrenos com inclinação entre 20° e 30°.

Sugerindo neste caso um grau satisfatório de estabilidade, não estando sujeito estas regiões à potencialização dos processos de erosividade e erodibilidade, deslizamento de terras, assoreamento e afundamento de terrenos, (Quadro 28).

QUADRO 28 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA – **FRACA**

Classes da Formação Pedológica		Inclinação do relevo			
		0° a 5°	5° a 10°	10° a 20°	20° a 30°
1	Solos Litólicos: Rd4. Afloramento de Rochas. AR.	-	-	-	-
2	Cambissolos: Ca1, Ca2, Ca3, Ca4, Ca5, Ca6, Ca7, Ca8, Ca9 e Ca10.	Fraca	Fraca	-	-
3	Hidromórficos: HG, HGH1, HGH2, HGH3, HGP1 e HGP2.	-	-	Fraca	-
4	Orgânicos: HO1, HO2 e HO3.	-	-	Fraca	-
5	Latosolos: LVa1, LVa2, LVa3, LVa4, LVa5, LVa6 e LVa7.	-	X	-	Fraca
6	Podzólicos: PV1, PV2 e PV3.	Fraca	Fraca	-	-
7	Rubrozem: RB	-	-	-	Fraca

- A classe de fragilidade **Média**; determinada quando:
  - o grupo 1 estiver em terrenos com inclinação entre 0° e 5° ou encontrar-se em terrenos com inclinação entre 5° e 10°;
  - os grupos 2 e 6 estejam em terrenos com inclinações entre 10° e 20°.

Indicando que estas áreas apresentam certa instabilidade frente à dinâmica natural, podendo ocorrer em situações específicas a potencialização de erosão por processos de erosividade ou erodibilidade, assoreamento dos cursos d'água e

deslizamento de terras. Em relação às instabilidades de afundamento de terrenos, estas são pouco prováveis em função do conjunto estrutural da paisagem que apresenta a região, (Quadro 29).

QUADRO 29 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA – **MÉDIA**

Classes da Formação Pedológica		Inclinação do relevo		
		0° a 5°	5° a 10°	10° a 20°
1	Solos Litólicos: Rd4. Afloramento de Rochas. AR.	Média	Média	-
2	Cambissolos: Ca1, Ca2, Ca3, Ca4, Ca5, Ca6, Ca7, Ca8, Ca9 e Ca10.	-	-	Média
3	Hidromórficos: HG, HGH1, HGH2, HGH3, HGP1 e HGP2.	-	-	-
4	Orgânicos: HO1, HO2 e HO3.	-	-	-
5	Latossolos: LVa1, LVa2, LVa3, LVa4, LVa5, LVa6 e LVa7.	-	-	-
6	Podzólicos: PV1, PV2 e PV3.	-	-	Média
7	Rubrozem: RB	-	-	-

- A classe de fragilidade **Forte**, estabelecida quando:
  - o grupo 1 estiver em terrenos com inclinação variando entre 10° e 20°;
  - os grupos 2 e 6 encontrem-se em inclinações com variação entre 20° e 30°;
  - onde o grupo 2 esteja em inclinações entre 30° e 40°;
  - onde os grupos 2 e 6 encontrem-se em terrenos com inclinação entre 40° e 50°.

Indicando que estas áreas apresentam forte de grau de instabilidade frente aos processos de erosividade e erodibilidade e conseqüentemente a movimentação de materiais ocasionando assoreamento dos cursos hídricos superficiais e podendo também com aumento do encharcamento por percolação hídrica acionar o

deslizamento de terras. Sendo pouco sugestivo o afundamento de terrenos como já comentado, (Quadro 30).

QUADRO 30 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA – **FORTE**

Classes da Formação Pedológica	Inclinação do relevo			
	10° a 20°	20° a 30°	30° a 40°	40° a 50°
1 Solos Litólicos: Rd4. Afloramento de Rochas. AR.	Forte	-	-	-
2 Cambissolos: Ca1, Ca2, Ca3, Ca4, Ca5, Ca6, Ca7, Ca8, Ca9 e Ca10.	-	Forte	Forte	Forte
3 Hidromórficos: HG, HGH1, HGH2, HGH3, HGP1 e HGP2.	-	-	-	-
4 Orgânicos: HO1, HO2 e HO3.	-	-	-	-
5 Latossolos: LVa1, LVa2, LVa3, LVa4, LVa5, LVa6 e LVa7.	-	-	-	-
6 Podzólicos: PV1, PV2 e PV3.	-	Forte	Forte	Forte
7 Rubrozem: RB	-	-	-	-

- A classe de fragilidade **Muito Forte**; estabelecida quando:
  - o grupo 1 estiver em terrenos com variações de inclinação entre 0° a 86°;
  - os grupos 2 e 6 estejam em inclinações variando entre 50° a 86°.

Esta forma de ocorrência de classes de solos nestas inclinações de terreno indica elevadíssimo grau de instabilidade frente à fragilidade, principalmente no que diz respeito ao deslizamento de terras e à erosão através dos processos de erosividade e erodibilidade, sujeitas também a um elevado transporte de materiais potencializando muito as possibilidades de assoreamento dos recursos hídricos de superfície, (Quadro 31).

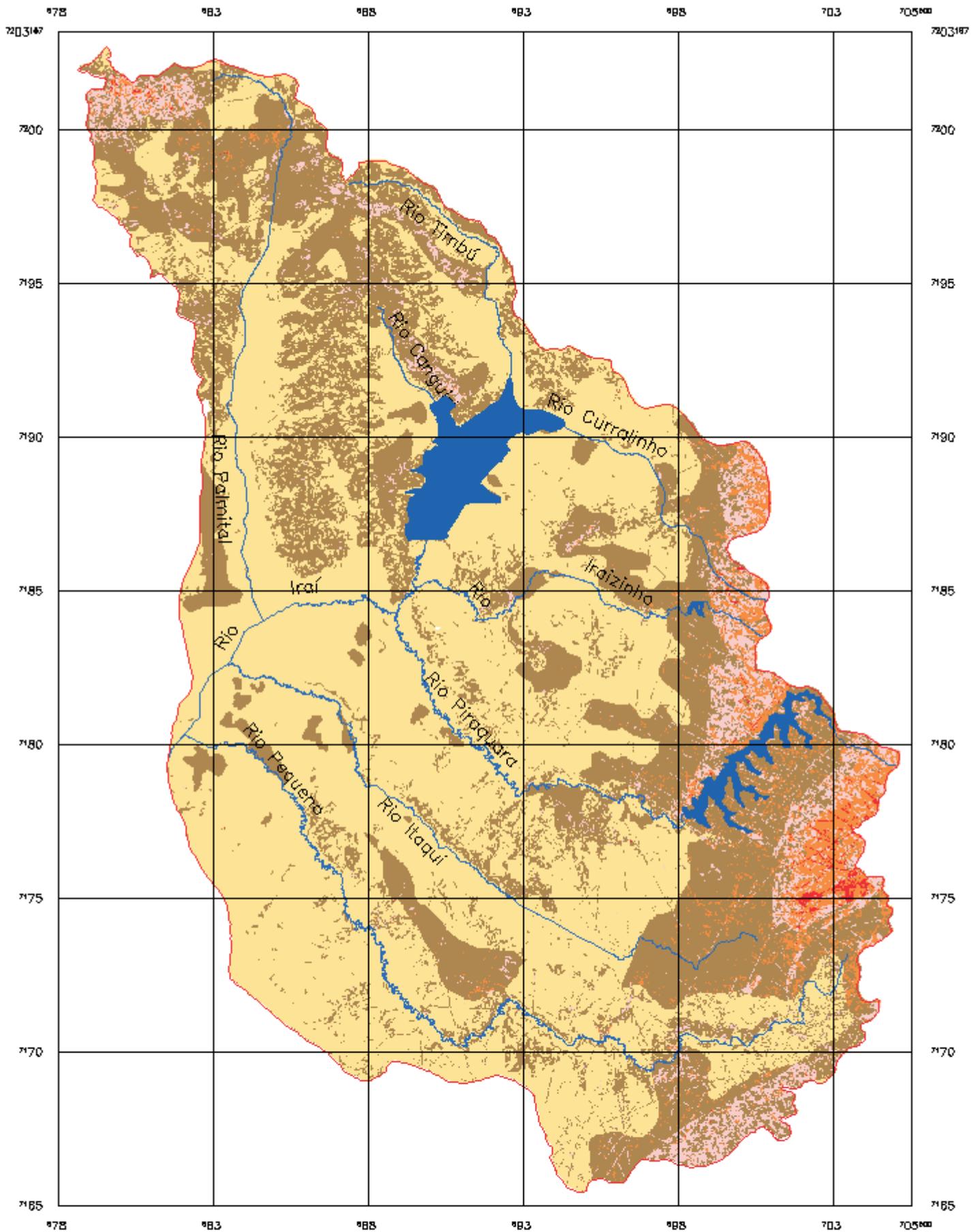
QUADRO 31 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE DA FORMAÇÃO PEDOLÓGICA – **MUITO FORTE**

Classes da Formação Pedológica		Inclinação do relevo				
		20° a 30°	30° a 40°	40° a 50°	50° a 60°	60° a 86°
1	Solos Litólicos: Rd4. Afloramento de Rochas. AR.	M. Forte	M. Forte	M. Forte	M. Forte	M. Forte
2	Cambissolos: Ca1, Ca2, Ca3, Ca4, Ca5, Ca6, Ca7, Ca8, Ca9 e Ca10.	-	-	-	M. Forte	M. Forte
3	Hidromórficos: HG, HGH1, HGH2, HGH3, HGP1 e HGP2.	-	-	-	-	-
4	Orgânicos: HO1, HO2 e HO3.	-	-	-	-	-
5	Latosolos: LVa1, LVa2, LVa3, LVa4, LVa5, LVa6 e LVa7.	-	-	-	-	-
6	Podzólicos: PV1, PV2 e PV3.	-	-	-	M. Forte	M. Forte
7	Rubrozem: RB	-	-	-	-	-

Após a identificação e espacialização das fragilidades **litoestrutural** e da **formação pedológica** foram determinadas e regionalizadas as áreas conforme seu diferenciado grau de fragilidade **potencial**, ou seja, as respostas que podem apresentar o sistema ambiental diante dos processos dinâmicos naturais, sem a interferência humana, preservando todas as características e elementos formadores do ecossistema inalterados.

Assim para a qualificação e quantificação das áreas com diferenciadas respostas à fragilidade potencial do recorte espacial da bacia hidrográfica, realizou-se o cruzamento das respostas obtidas entre as classes de fragilidade litoestrutural e da formação pedológica, atribuindo as seguintes classificações quando ao grau de fragilidade: Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte (Figura 47).

FIGURA 47 – CARTA DE FRAGILIDADE POTENCIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

-  LIMITE DA BACIA
-  CORPOS D' ÁGUA
-  Muito Fraca
-  Fraca
-  Média
-  Forte
-  Muito Forte



1,3 0 1,3 2,5 3,8 5,0 km  
Escala 1:125000

Elaboração: Sandro José Briski (2004)  
Elaborado a partir do cruzamento das cartas de Fragilidade Litoestrutural e Fragilidade da Formação Pedológica

Desta forma ficou determinada, ao cruzarem-se a classe de fragilidade litoestrutural muito fraca com a classe da formação pedológica muito fraca, indicou um grau de **Fragilidade Potencial Muito Fraca**, (Quadro 32).

QUADRO 32 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL – **MUITO FRACA**

FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL	FRAGILIDADE DA COBERTURA PEDOLÓGICA				
	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito Forte
Muito Fraca	<b>Muito Fraca</b>	-	-	-	-
Fraca	-	-	-	-	-
Média	-	-	-	-	-
Forte	-	-	-	-	-
Muito Forte	-	-	-	-	-

Para a classificação do grau de **Fragilidade Potencial Fraca**, esta foi determinada onde as classes de fragilidade litoestrutural muito fraca estiverem associadas às fragilidades da formação pedológica fraca e média, também onde as classes de fragilidade da litoestrutura fraca estejam associadas às fragilidades da cobertura pedológica muito fraca e fraca e onde o grau de fragilidade litoestrutural média esteja associada a fragilidade da formação pedológica muito fraca, (Quadro 33).

QUADRO 33 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL – **FRACA**

FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL	FRAGILIDADE DA COBERTURA PEDOLÓGICA				
	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito Forte
Muito Fraca	X	<b>Fraca</b>	<b>Fraca</b>	-	-
Fraca	<b>Fraca</b>	<b>Fraca</b>	-	-	-
Média	<b>Fraca</b>	-	-	-	-
Forte	-	-	-	-	-
Muito Forte	-	-	-	-	-

A determinação do grau de **Fragilidade Potencial Média** ocorre onde a classe de fragilidade da litoestrutura muito fraca esteja relacionada com a classe de fragilidade da formação pedológica forte, onde a classe de fragilidade litoestrutural fraca associa-se à fragilidade da formação pedológica média, onde as classes de fragilidade litoestrutural média associam-se às classes de fragilidade da formação

pedológica fraca e média e onde a fragilidade litoestrutural forte esteja relacionada com a classe de fragilidade muito fraca da formação pedológica, (Quadro 34).

QUADRO 34 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL – **MÉDIA**

FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL	FRAGILIDADE DA COBERTURA PEDOLÓGICA				
	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito Forte
Muito Fraca	-	-	-	<b>Média</b>	-
Fraca	-	-	<b>Média</b>	-	-
Média	-	<b>Média</b>	<b>Média</b>	-	-
Forte	<b>Média</b>	-	-	-	-
Muito Forte	-	-	-	-	-

A definição da classe de **Fragilidade Potencial Forte** foi estabelecida onde se associou a classe de fragilidade litoestrutural muito fraca com a classe de fragilidade da formação pedológica muito forte, onde se relacionou a classe de fragilidade litoestrutural fraca com as classes de fragilidade da formação pedológica forte e muito forte, onde se relacionou a classe de fragilidade litoestrutural média com a classe da fragilidade pedológica forte, onde se relacionou a classe de fragilidade litoestrutural forte com as classes de fragilidade da formação pedológica fraca e média e onde se associou a classe de fragilidade litoestrutural muito forte com as classes de fragilidade da formação pedológica muito fraca e fraca, Quadro 35.

QUADRO 35 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL – **FORTE**

FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL	FRAGILIDADE DA COBERTURA PEDOLÓGICA				
	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito Forte
Muito Fraca	-	-	-	-	<b>Forte</b>
Fraca	-	-	-	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>
Média	-	-	-	<b>Forte</b>	-
Forte	-	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>	-	-
Muito Forte	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>	-	-	-

Para a determinação da classe de **Fragilidade Potencial Muito Forte**, ficou estabelecida que onde a classe de fragilidade litoestrutural média esteja associada a classe de fragilidade da formação pedológica muito forte, onde a classe de fragilidade litoestrutural forte associar-se as classes de fragilidade da formação pedológica forte e muito forte e onde a classe de fragilidade litoestrutural muito forte

associar-se as classes de fragilidade da formação pedológica média, forte e muito forte, (Quadro 36).

QUADRO 36 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE POTENCIAL – **MUITO FORTE**

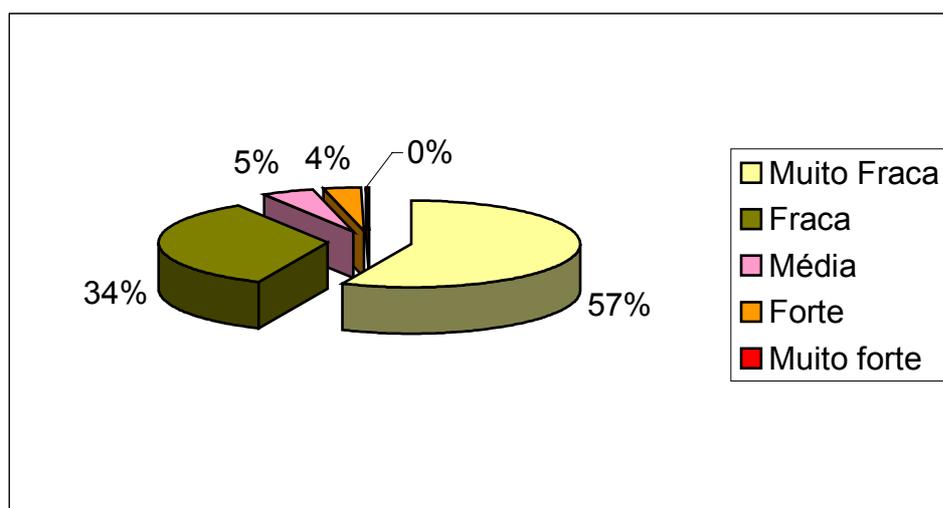
FRAGILIDADE LITOESTRUTURAL	FRAGILIDADE DA COBERTURA PEDOLÓGICA				
	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito Forte
Muito Fraca	-	-	-	-	-
Fraca	-	-	-	-	-
Média	-	-	-	-	<b>Muito Forte</b>
Forte	-	-	-	<b>Muito Forte</b>	<b>Muito Forte</b>
Muito Forte	-	-	<b>Muito Forte</b>	<b>Muito Forte</b>	<b>Muito Forte</b>

Através destas atribuições de ordem qualitativa com a denominação das classes, espacializou-se estas informações locacionais georreferenciadas obtendo-se informações espaciais quantitativas relativas à fragilidade potencial desta bacia hidrográfica, onde cada classe foi identificada representando as seguintes proporções territoriais, (Quadro 37) e (Gráfico 3).

QUADRO 37 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL

DESCRIÇÃO	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Muito Fraca	319,92
Fraca	194,9
Média	28
Forte	20,2
Muito forte	2

GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL



Analisando os resultados obtidos através da identificação e espacialização das classes de fragilidade potencial, observa-se que o recorte espacial estabelecido pela área da bacia hidrográfica apresenta em sua maior porção territorial uma tendência **muito fraca a fraca** a estarem sujeitas aos processos de instabilidade do meio natural. Sendo que estas porções representativas destas classes encontram-se praticamente em sua totalidade associadas às áreas mais rebaixadas do terreno e distribuídas em 319,92 Km<sup>2</sup>. As áreas representantes das classes de fragilidade muito fraca ocupam 57% do território e 194,90 Km<sup>2</sup>, enquanto as áreas de fragilidade fraca ocupam 34% do território, somando uma área de 514,82 Km<sup>2</sup> ou 91% do espaço territorial de um total de 565,02 Km<sup>2</sup> de área.

Tal resultado demonstra que esta região, quando considerado os aspectos da dinâmica natural, apresenta-se bastante estável ao relacionar as inclinações do relevo com ao arcabouço geológico (hidrogeologia, litologias e estruturas) e as classes taxonômicas de solos presentes na região.

Estas áreas encontram-se em sua maioria sobre as formações geológicas fraturadas representadas pelos terrenos aluvionares, a Formação Guabirota com depósitos argilosos, arcósios, areias finas, diamictitos e depósitos rudáceos e uma pequena porção anfíbolitos, gnaisses granodioritos migmatizados e migmatitos indiferenciados do Complexo Atuba. Associadas a estas classes litológicas encontram-se as formações superficiais representadas em sua maioria pelos solos hidromórficos orgânicos, os latossolos e pequenas porções de solos podzólicos, rubrozes e cambissolos em terrenos com inclinações variando entre 0° e 20°.

Esta correlação entre os aspectos litoestruturais, as formações pedológicas superficiais e os graus de inclinação de relevo caracterizam áreas de sedimentação recente pelo transporte de materiais inconsolidados sofrendo ações climáticas e temporais de evolução, portanto, indicando baixo potencial de ocorrência de processos de instabilidade geotécnicos relacionados aos movimentos de massa, desmoronamento, abatimentos e colapsos, bem como deslizamentos de terra e processos erosivos, havendo baixo índice de assoreamento uma vez mantido a cobertura vegetal primária.

Em relação à ocorrência das classes de fragilidade potencial **média**, **forte** e **muito forte** estas estão distribuídas respectivamente em áreas com 28 Km<sup>2</sup> ou 5% da área, 20,2 Km<sup>2</sup> ou 4% da área e 2 Km<sup>2</sup> sem proporção significativa no caso específico da fragilidade potencial muito forte. Em sua maioria estas classes ocorrem setorizadas no extremo leste/sudeste e sul da bacia hidrográfica sobre os conglomerados, arcósios e siltitos da Formação Guaratubinha; aos granitos (Suíte Serra do Mar e granito intrusivo sub-alcálico) e pequenas porções de migmatitos indiferenciados do Complexo Atuba bastante fraturados intrudidos por diques. Também ocorrem no contato com a Formação Capiru (Grupo Açungui) representados por mármore, filito e quartzito já nos divisores da bacia hidrográfica na porção extremo norte. Associadas a estas classes litológicas encontram-se os táxons da cobertura pedológica representados em sua maioria por cambissolos, uma porção de rubrozem e pela associação de solos litólicos com afloramento de rochas nos contrafortes da serra do mar, com inclinações do relevo variando entre 30° a 86°.

Estas áreas pelas suas características naturais possuem graus diferenciados de fragilidade aos processos de instabilidade representando riscos geotécnicos que se potencializam por associações de múltiplos fatores entre os quais são considerados neste estudo os aspectos geológicos, hidrogeológicos, pedológicos e geomorfológicos e suas relações com os demais elementos e fenômenos do meio natural.

As áreas com fragilidade potencial **média** identificada nesta região, apesar de possuírem certa estabilidade aos processos dinâmicos da natureza, podem representar riscos de movimento de massa por rastejo principalmente, processos erosivos e corridas de lama, potencializados pela excessiva percolação hídrica ocasionada por alterações do regime pluvial devido a fenômenos climáticos excepcionais.

As áreas com fragilidade potencial **forte** e **muito forte** possuem grau elevado de instabilidade dinâmica, potencializada quanto maior o grau de inclinação das vertentes. São regiões que estão sobre forte influência da ação da gravidade, podendo originar movimentos de massa por escorregamento, quedas e corridas de lama e terra mesmo mantidos seus aspectos naturais da cobertura vegetal e do regime pluviométrico.

Considerando o recorte espacial estabelecido pela bacia hidrográfica, esta tem como característica marcante, alto grau de fraturamento geológico que, além de controlar o regime de drenagem superficial, também potencializa os riscos geotécnicos, pois representa áreas propícias à percolação hídrica ocasionando saturação líquida e, conseqüentemente, favorecendo os processos de instabilidade.

Nota-se que para a determinação dos graus de fragilidade potencial considera-se o ambiente inalterado, preservando as características naturais do sistema ambiental sem alterações antrópicas. Assim a identificação destas áreas e suas respectivas respostas a riscos geotécnicos subsidiam a determinação da fragilidade emergente, onde os riscos de instabilidade são potencializados quando associados ao uso e cobertura do solo, alterados por obras e atividades humanas visando atender suas necessidades.

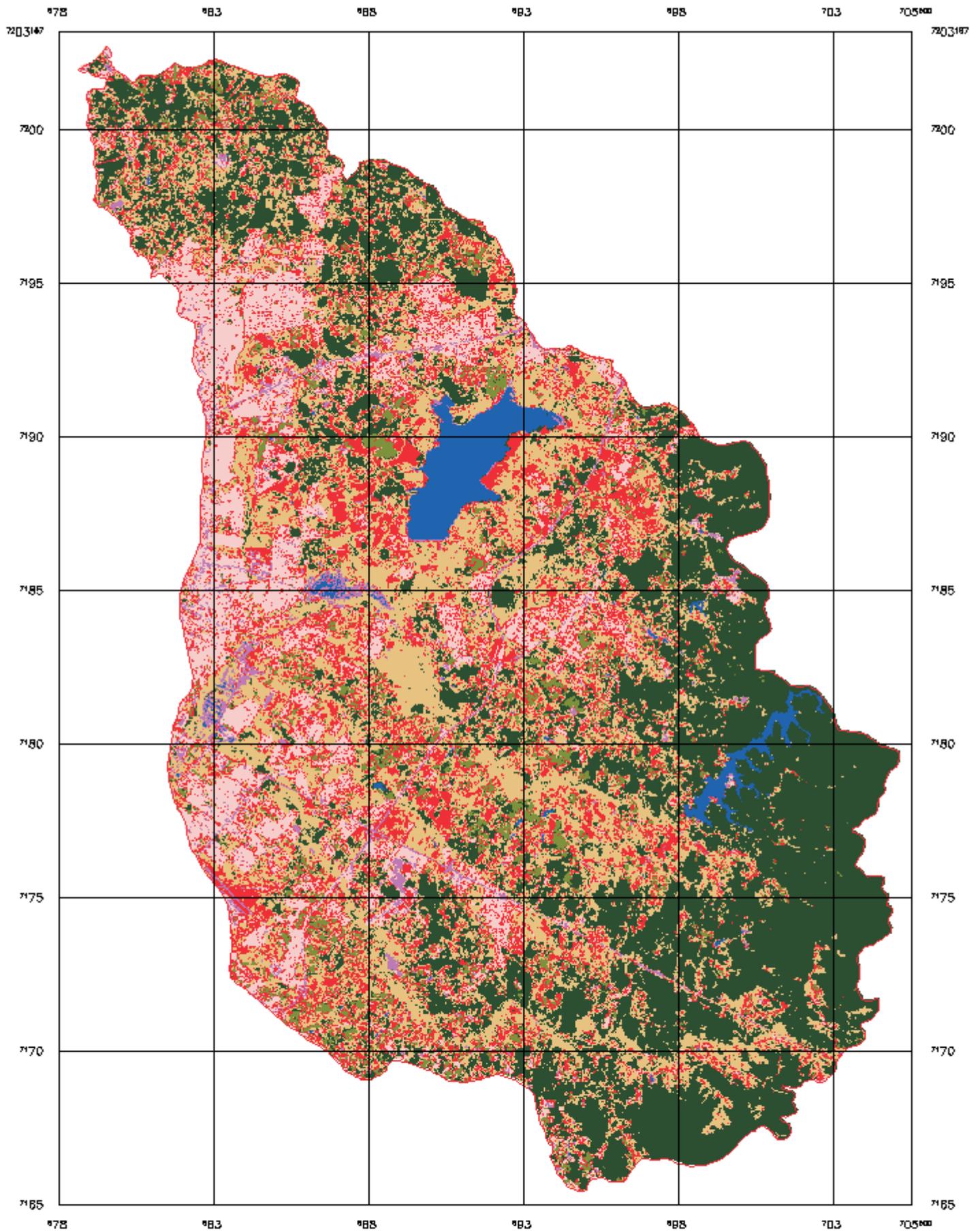
## 8.2 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE

Para que possa atender suas próprias necessidades a sociedade humana manipula e utiliza-se de inúmeros recursos naturais, provocando alterações variadas nos sistemas ambientais, acelerando ou desencadeando processos de instabilidade. Tais modificações se apresentam em escalas e potencialidades diferenciadas ocasionando prejuízos sociais e econômicos colocando em risco a vida humana, além de afetar a disponibilidade de recursos naturais em quantidade e qualidade essenciais à manutenção da qualidade de vida.

O sistema ambiental possui uma dinâmica evolutiva e comportamental própria, que quando afetado por obras ou atividades humanas, que modificam o estrato terrestre, desencadeiam processos que apresentam graus diferenciados de fragilidade ambiental denominados emergentes.

A determinação e espacialização da **Fragilidade Ambiental Emergente** da área da bacia hidrográfica do alto rio Iguaçu realizaram-se a partir da associação de dois produtos: **a)** a identificação e espacialização da fragilidade potencial e **b)** a determinação das classes de uso e cobertura do solo do ano de 2002 (Figura 48).

FIGURA 48 – CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO (2002) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

- LIMITE DA BACIA
- Agricultura
- Campo/Pastagem
- Corpos d' água
- Ocupação
- Solo exposto
- Vegetação
- Vias de acesso

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000



Elaboração: Sandro José Briski (2004)  
Elaborado a partir da imagem de satélite  
Landsat ETM+7 – Órbita/Ponto : 220/78  
INPE (2002)

A identificação das sete classes distintas de uso e cobertura do solo realizou-se através da interpretação da imagem de satélite ETM+7 com resolução de 30 x 30 m e composição colorida RGB 543, além de monitoramento de campo com 43 pontos de controles distribuídos na área da bacia hidrográfica. Estes pontos de controle foram definidos a partir da espacialização das sub-bacias considerando seus terços superior (nascentes), médio e inferior (exutório), procedimento este realizado para maior veracidade na determinação e elaboração de acervo fotográfico dos elementos e fatos distribuídos sobre o estrato geográfico da superfície da área em estudo, (Figura 49).

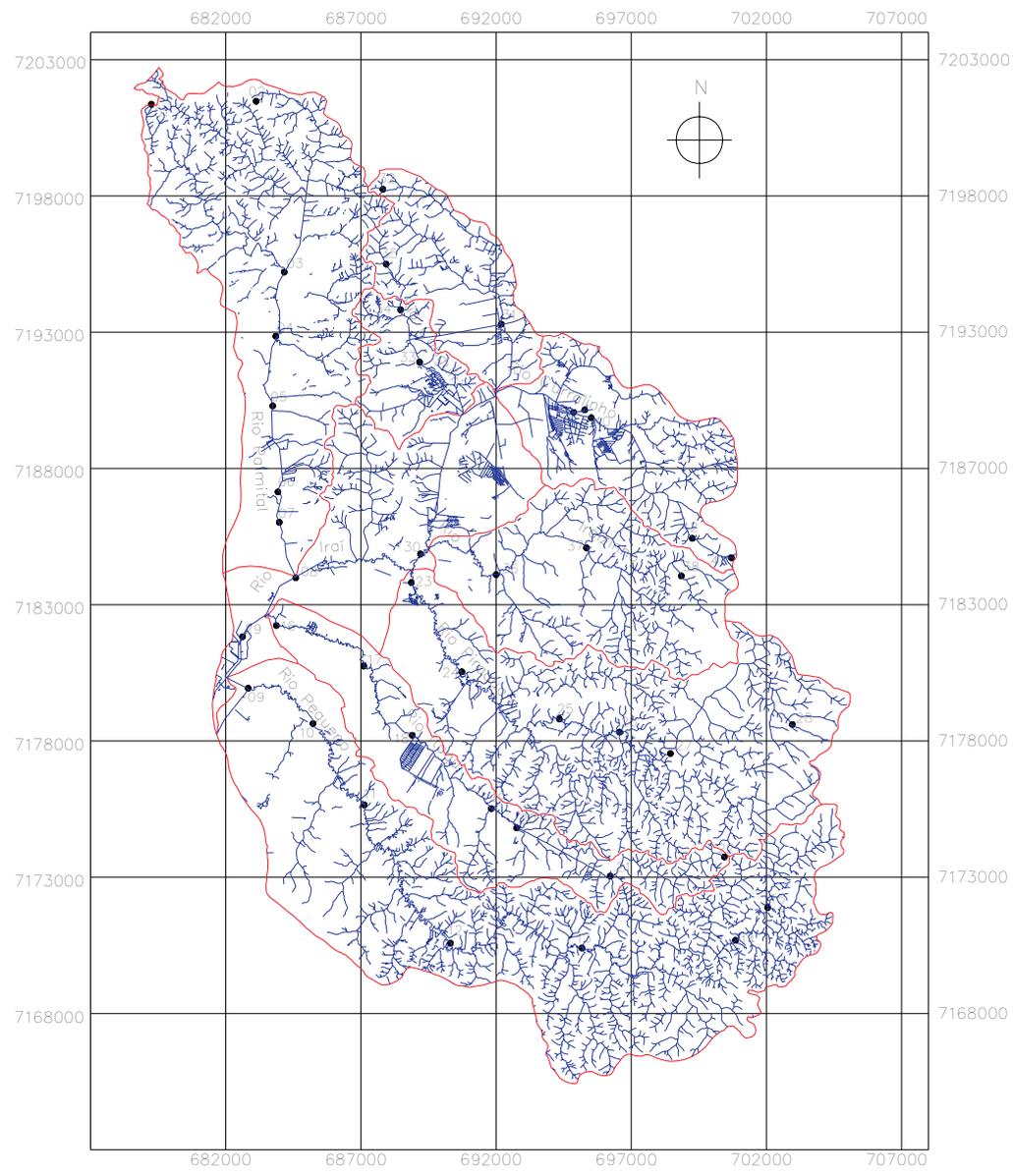
Selecionou-se, desta forma, as classes referentes à Agricultura, Campo/Pastagem, Corpos d'Água, Ocupação, Solo Exposto, Vegetação e Vias de Acesso. Cruzando as informações espacializadas de uso e cobertura do solo com as classes de fragilidade potencial foi possível identificar e classificar as classes de fragilidade ambiental emergente em Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte gerando assim a carta de fragilidade emergente da bacia hidrográfica (Figura 50).

O grau de fragilidade emergente **muito fraco** é estabelecido considerando-se áreas onde os aspectos naturais do sistema ambiental praticamente encontram-se inalterados e bem preservados, representando regiões onde elementos e instrumentos da sociedade humana fazem-se pouco ou não presentes (Quadro 38).

QUADRO 38 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE – **MUITO FRACA**

Fragilidade Potencial	Classes de uso do solo						
	Agricultura	Campo/Pastagem	Corpos D'Água	Ocupação	Solo Exposto	Vegetação	Vias de Acesso
M. Fraca	-	-	<b>M. Fraca</b>	-	-	<b>M. Fraca</b>	-
Fraca	-	-	<b>M. Fraca</b>	-	-	<b>M. Fraca</b>	-
Média	-	-	<b>M. Fraca</b>	-	-	<b>M. Fraca</b>	-
Forte	-	-	<b>M. Fraca</b>	-	-	<b>M. Fraca</b>	-
M. Forte	-	-	<b>M. Fraca</b>	-	-	<b>M. Fraca</b>	-

FIGURA 49 - PONTOS DE CONTROLE DE CAMPO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CURSO SUPERIOR DO ALTO IGUAÇU



LEGENDA:

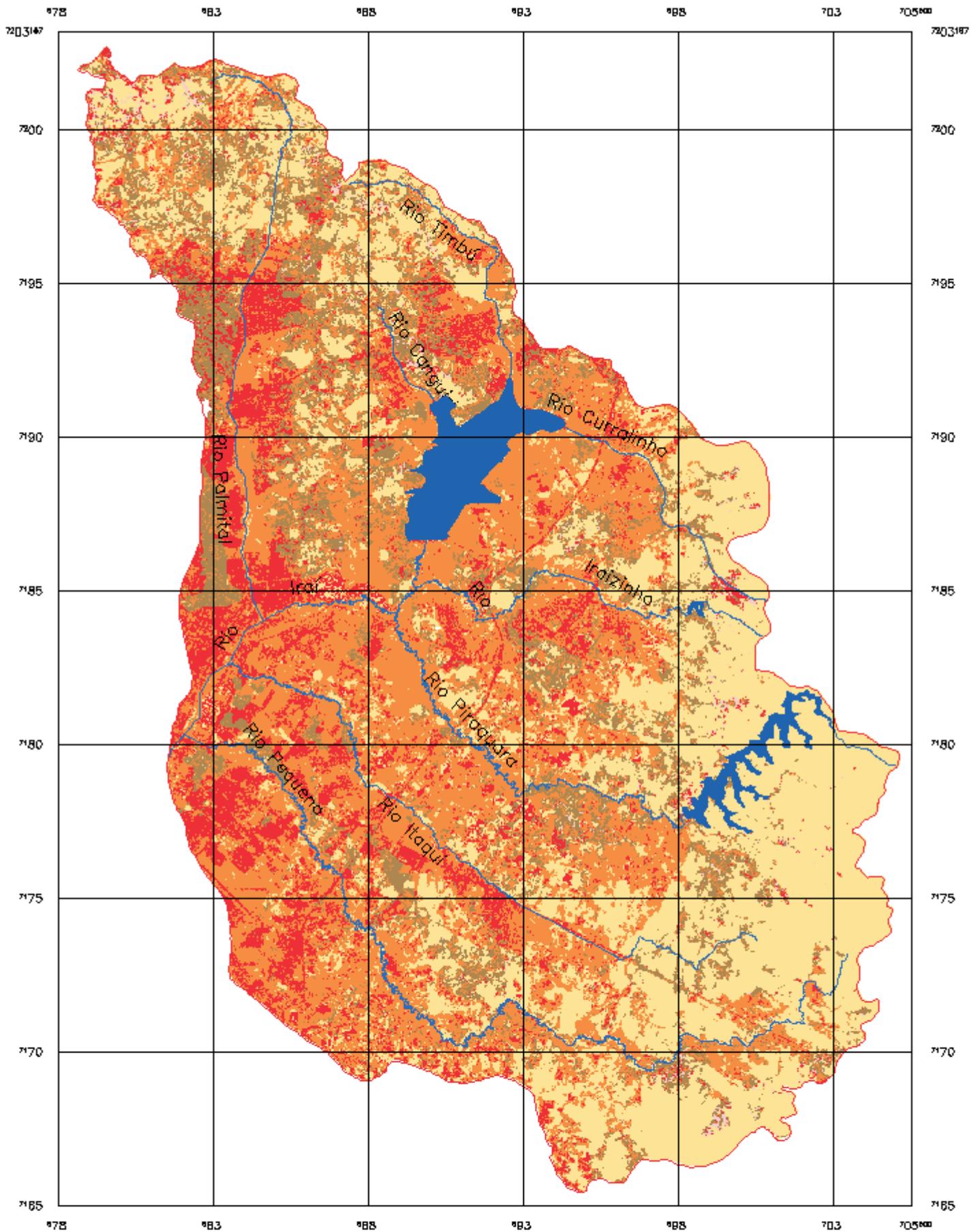
- Hidrografia
- Limite da Bacia e Sub-bacias
- Pontos de controle de Campo

ESCALA GRÁFICA

Fonte: SUDERHSA (2000)

SUB-BACIA DO RIO PALMITAL							
Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07	Ponto 08
Terço Superior	Terço Superior	Terço Médio	Terço Médio	Terço Médio	Terço Inferior	Terço Inferior	Terço Inferior
SUB-BACIA DO RIO PEQUENO							
Ponto 09	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12	Ponto 13	Ponto 14	Ponto 15	
Foz	Terço Inferior	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Médio	Terço Superior	Nascente	
SUB-BACIA DO RIO ITAQUI							
Ponto 16	Ponto 17	Ponto 18	Ponto 19	Ponto 20	Ponto 21	Ponto 22	
Foz	Terço Inferior	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Médio	Terço Superior	Nascente	
SUB-BACIA DO RIO PIRAQUARA							
Ponto 23	Ponto 24	Ponto 25	Ponto 26	Ponto 27	Ponto 28		
Terço Inferior	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Médio	Terço Superior	Terço Superior		
SUB-BACIA DO RIO IRAÍ							
Ponto 29	Ponto 30	Ponto 31	Ponto 32				
Foz	Terço Médio	Terço Superior	Nascente				
SUB-BACIA DO RIO CANGUIRI							
Ponto 33	Ponto 34	Ponto 35					
Terço Médio	Terço Médio	Terço Superior					
SUB-BACIA DO RIO IRAIZINHO							
Ponto 36	Ponto 37	Ponto 38					
Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior					
SUB-BACIA DO RIO CURRALINHO							
Ponto 39	Ponto 40	Ponto 41	Ponto 42	Ponto 43			
Terço Inferior	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior	Terço Superior			

FIGURA 50 – CARTA DE FRAGILIDADE EMERGENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

-  LIMITE DA BACIA
-  CORPOS D'ÁGUA
-  Muito Fraca
-  Forte
-  Fraca
-  Muito Forte
-  Média



1.3 0 1.3 2.5 3.8 5.0 km  
Escala 1:125000

Elaboração: Sandro José Briski (2004)  
Elaborado a partir do cruzamento das cartas de Fragilidade Potencial e Uso e Cobertura do Solo do ano de 2002

O grau de fragilidade emergente **fraca** estabelece-se quando apesar de existirem atividades e instrumentos rurais ou urbanos, estes se encontram relacionados a áreas que apresentam grau de fragilidade potencial fraca. Considera-se, no entanto, que tais modificações de uso e cobertura do solo ocorra de maneira ponderada, onde tais modificações não representem riscos ambientais e socioeconômicos, (Quadro 39).

QUADRO 39 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE – **FRACA**

Fragilidade Potencial	Classes de uso do solo						
	Agricultura	Campo/Pastagem	Corpos D'Água	Ocupação	Solo Exposto	Vegetação	Vias de Acesso
M. Fraca	-	-	-	-	-	-	-
Fraca	<b>Fraca</b>	<b>Fraca</b>	-	<b>Fraca</b>	-	-	<b>Fraca</b>
Média	-	-	-	-	-	-	-
Forte	-	-	-	-	-	-	-
M. Forte	-	-	-	-	-	-	-

Quanto ao grau de fragilidade emergente **média**, esta é estabelecida quando alterações mínimas ocorrem associadas a áreas com fragilidade potencial média, dando preferências aos campos/pastagens por estes apresentarem, mesmo que de maneira modificada, algum tipo de cobertura vegetal praticamente em período permanente e vias de acesso desde que não de tráfego intenso, (Quadro 40).

QUADRO 40 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE – **MÉDIA**

Fragilidade Potencial	Classes de uso do solo						
	Agricultura	Campo/Pastagem	Corpos D'Água	Ocupação	Solo Exposto	Vegetação	Vias de Acesso
M. Fraca	-	-	-	-	-	-	-
Fraca	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	<b>Média</b>	-	-	-	-	<b>Média</b>
Forte	-	-	-	-	-	-	-
M. Forte	-	-	-	-	-	-	-

A fragilidade emergente **forte** é estabelecida quando atividades modificadoras do meio natural ocorrem em áreas que possam representar riscos ambientais ou socioeconômicos, onde se percebe inadequabilidade entre as características do sistema ambiental com as atividades desenvolvidas e obras implantadas. Como exemplo citam-se, práticas agrícolas em áreas com fragilidade potencial média bem como atividades agropecuárias ou supressão vegetal e exposição de solo desnudo em planícies de inundação, onde há instabilidade e susceptibilidade à contaminação dos recursos hídricos bem como o assoreamento de seus canais superficiais. Também se encontram nesta classe de fragilidade as vias de acesso implementadas em áreas com fragilidade potencial forte onde o corte de taludes pode desencadear processos de instabilidade de encostas, (Quadro 41).

QUADRO 41 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE – **FORTE**

Fragilidade Potencial	Classes de uso do solo						
	Agricultura	Campo/ Pastagem	Corpos D'Água	Ocupação	Solo Exposto	Vegetação	Vias de Acesso
M. Fraca	-	<b>Forte</b>	-	-	<b>Forte</b>	-	-
Fraca	-	-	-	-	<b>Forte</b>	-	-
Média	<b>Forte</b>	-	-	-	-	-	-
Forte	-	-	-	-	-	-	<b>Forte</b>
M. Forte	-	-	-	-	-	-	-

Na determinação da fragilidade emergente **muito forte** são consideradas as atividades que representam riscos ao sistema ambiental por processos de instabilidade dinâmica ou perda significativa de qualidade de seus componentes conjunturais, ocasionando problemas sociais sejam de ordem econômica, política ou a integridade física da população. Assim é preciso que haja uma adequação de atividades e obras em consenso com as características naturais. Como exemplo deve-se evitar práticas agrícolas em planícies de inundação ou em áreas com fragilidade potencial forte e muito forte por apresentarem instabilidade geotécnica e suscetibilidade a contaminação dos recursos hídricos através da utilização desorientada de corretivos de solo e aplicação de pesticidas.

As práticas pecuárias com substituição da cobertura vegetal primária em áreas com fragilidade potencial forte e muito forte são também consideradas

atividades que potencializam a fragilidade emergente, podendo desencadear instabilidade de encostas com movimento de massa ou processos erosivos.

A ocupação e implementação de obras e estruturas urbanas são formas de uso e cobertura do solo que devem ser evitadas em planícies de inundação por estas apresentarem terrenos inconsolidados e instáveis bem como por serem áreas suscetíveis a inundações constantes indicando região com fragilidade emergente muito forte. Estes mesmos tipos de estruturas urbanas potencializam processos instáveis quando implantadas em áreas com fragilidade potencial média, forte e muito forte devido a instabilidade que possam apresentar as encostas.

Outras formas de cobertura do solo que potencializa processos instáveis ou desequilíbrios ambientais são os solos expostos ativando principalmente processos erosivos e devem ser evitadas em áreas com fragilidade potencial média, forte e muito forte onde as inclinações do terreno é significativa. Ainda deve-se considerar como potencializadoras de processos de instabilidade as vias de acesso quando implantadas em terrenos rebaixados como em planícies de inundação, podendo haver contaminação dos recursos hídricos ou comprometimento da obra e em terrenos com inclinações elevadas podendo provocar a instabilidade de encostas, (Quadro 42).

QUADRO 42 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSE DE FRAGILIDADE EMERGENTE – **MUITO FORTE**

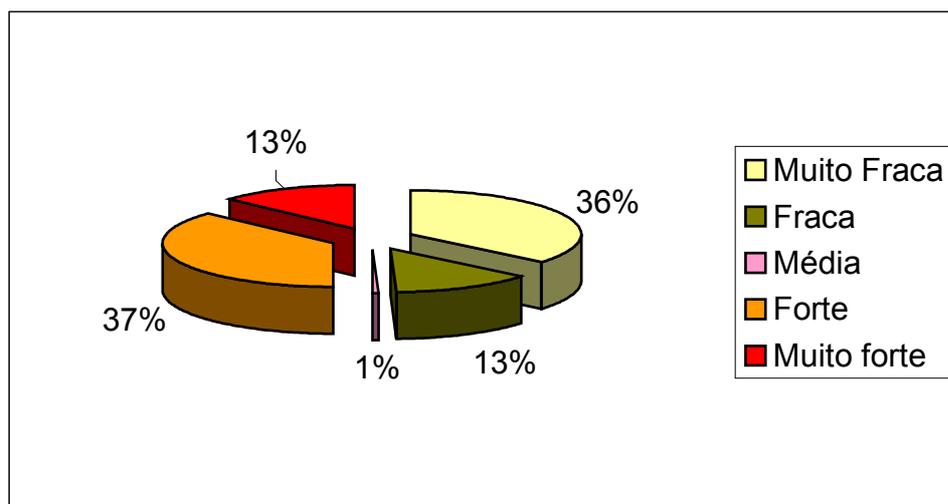
Fragilidade Potencial	Classes de uso do solo						
	Agricultura	Campo/ Pastagem	Corpos D'Água	Ocupação	Solo Exposto	Vegetação	Vias de Acess o
M. Fraca	<b>M. Forte</b>	-	-	<b>M. Forte</b>	-	-	<b>M. Forte</b>
Fraca	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	-	-	<b>M. Forte</b>	<b>M. Forte</b>	-	-
Forte	<b>M. Forte</b>	<b>M. Forte</b>	-	<b>M. Forte</b>	<b>M. Forte</b>	-	-
M. Forte	<b>M. Forte</b>	<b>M. Forte</b>	-	<b>M. Forte</b>	<b>M. Forte</b>	-	<b>M. Forte</b>

Após identificadas e correlacionadas as formas de uso e cobertura do solo com as classes de fragilidade potencial da área da bacia hidrográfica, foi possível quantificar as classes de fragilidade emergente e sua representatividade espacial (Quadro 43 e Gráfico 4), obtendo os seguintes resultados:

QUADRO 43 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE FRAGILIDADE EMERGENTE

DESCRIÇÃO	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Muito Fraca	204
Fraca	75
Média	4
Forte	207,82
Muito forte	74,2

GRÁFICO 4 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE FRAGILIDADE EMERGENTE



Considerando a área indicativa de fragilidade emergente **muito fraca**, esta se apresenta em um espaço territorial de 204 Km<sup>2</sup>, compreendendo um percentual de 36% distribuídos principalmente nos setores leste/sudeste e em proporções menores ao norte. Isto é explicado por estas regiões não apresentarem uma ocupação ou transformação efetiva da cobertura do solo nos dias atuais. Um dos motivos prováveis da baixa alteração por atividades humanas destas áreas são o relevo acidentado dificultando ocupações regulares ou irregulares, o distanciamento das aglomerações urbanas e a baixa qualidade ou carência de vias de acesso.

Deste modo observa-se que estas áreas atualmente ainda mantêm suas características naturais pouco alteradas.

Em relação às áreas classificadas com potencialidade emergente **fraca**, estas representam um espaço territorial de 75 Km<sup>2</sup>, compreendendo 13% do total da área da bacia hidrográfica. Esta classe de fragilidade emergente encontra-se distribuída de forma heterogênea e fragmentada por toda a região caracterizando áreas consideradas com poucas alterações ou áreas com o desenvolvimento de atividades com baixos riscos a processos de instabilidade da dinâmica ambiental.

As classes com fragilidade emergente média identificadas na área de estudo representam um espaço territorial de 4 Km<sup>2</sup> ou apenas 1% do total da região. Estas são áreas relacionadas a atividades que podem trazer riscos ao sistema ambiental ou à população.

Quanto às áreas classificadas com fragilidade emergente **forte**, estas estão distribuídas, de um modo geral, próximas às aglomerações urbanas e vias de acesso de alto tráfego nos setores oeste/sudoeste e central da bacia hidrográfica ocupando um território espacial de 207,82 Km<sup>2</sup> num percentual de 37% da área de estudo. Esta forma de fragilidade está relacionada à ocupação das planícies de inundação muito próximas dos canais de drenagem, onde se encontram os terrenos aluvionares e coluvionares com desenvolvimento de solos hidromórficos orgânicos pouco estáveis para instalação de obras de engenharia e insalubres à qualidade de vida. Além, também da exposição da população ali assentada a riscos geotécnicos relacionados as constantes inundações.

No que diz respeito às áreas indicativas de fragilidade emergente **muito forte** estas, estão distribuídas em um espaço territorial de 74,2 Km<sup>2</sup> representando 13% do total da região. São áreas que estão relacionadas a ocupações que se estabelecem praticamente sobre os canais de drenagem substituindo a cobertura vegetal ripária por ocupações irregulares de baixa renda incrustadas próximas à concentração urbana da cidade de Curitiba no setor oeste da área de estudo. Em casos mais específicos observa-se esta classe de fragilidade onde estão sendo desenvolvidas atividades ou implementadas obras de engenharia em terrenos que apresentam relevos movimentados com inclinações significativas, que sugerem graus elevados de instabilidade de encostas. Podendo nestes casos ocorrer

movimento de massa em suas variadas classificações ou processos de erosão da formação superficial.

Observa-se que as classes com graus de fragilidade emergente **forte** e **muito forte** se encontram em sua maioria próxima aos canais de drenagem superficial e ao longo das principais rodovias de alto tráfego. Possuindo uma maior concentração ocupacional desenvolvendo-se de oeste para leste, ou seja, da jusante para a montante da bacia hidrográfica, sendo esta uma das razões pela qual o extremo leste ainda apresenta-se com grau de fragilidade emergente muito fraca.

Utilizando-se desta identificação e espacialização de áreas com respostas diferenciadas ao modelo de uso e cobertura do solo sugerindo índices menores ou maiores de fragilidade das estruturas e qualidade ambiental e social, torna-se possível estabelecer a determinação de áreas com potencial ou restrições para apropriação e transformação do solo.

### 8.3 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Além dos dispositivos legais que tem por finalidade proteger áreas consideradas estratégicas quanto ao estoque e disponibilidade de recursos naturais, também é importante compreender a dinâmica do comportamento dos elementos que constituem o meio físico frente às modificações e possíveis instabilidades desencadeadas pelas atividades da sociedade humana.

Neste estudo, considerou-se ambos aspectos, tomando-se como parâmetros determinantes para a classificação do zoneamento ambiental, a identificação e espacialização das classes de fragilidade emergente, e as principais áreas amparadas legalmente por decretos lei (Figura 43, p. 139). Contemplou-se também nesta determinação do zoneamento ambiental da região um mapeamento de distâncias (*buffer*) a partir dos principais canais de drenagem superficiais em uma relação de 500 m para cada margem dos rios. Esta determinação sobrepõe-se no caso específico desta área à Lei Ambiental de Florestas nº 4771, de 15/09/1965 que determina como áreas de preservação permanente uma faixa de 10 a 500 m nas margens dos rios considerando a largura de cada leito. No caso da dimensão física dos canais desta bacia hidrográfica haveria variação em torno de 30 m de área de

preservação bem como também esta lei determina a preservação florestal a beira de lagos e reservatórios de água.

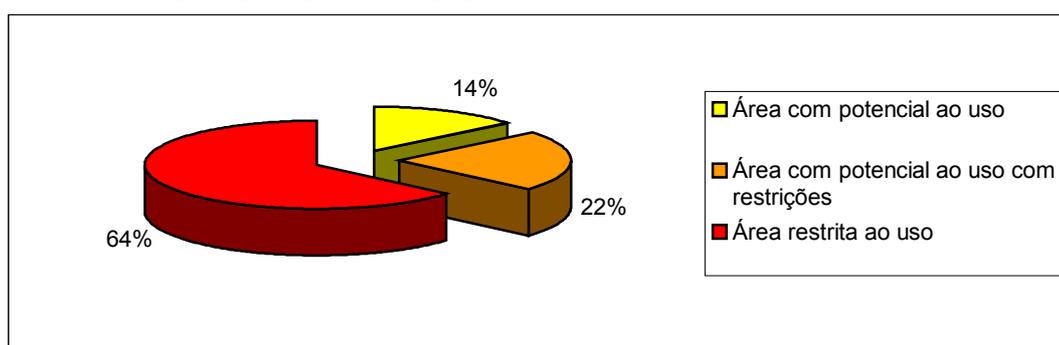
Neste trabalho a determinação do distanciamento de uma área restrita ao uso do solo, tomando como parâmetros as margens dos cursos dos principais rios, considerou além do aspecto de áreas de preservação, também as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas. Estabeleceu-se para estas áreas um distanciamento de 500 m para cada margem, onde, encontram-se as regiões rebaixadas sujeitas a constantes inundações, em terrenos de deposição recente pouco consolidados e muito instáveis quanto à implementação de equipamentos e obras urbanas e ou rurais.

Desta forma determinou-se três classes específicas para o zoneamento ambiental em **Área com Potencial ao Uso**, **Área com Potencial ao Uso com Restrições** e **Área Restrita ao Uso**. Obtendo-se os seguintes resultados espacializados e dimensionados (Quadro 44 e Gráfico 5):

QUADRO 44 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE ZONEAMENTO AMBIENTAL

DESCRIÇÃO	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Área com potencial ao uso	80,01
Área com potencial ao uso com restrições	126,01
Área restrita ao uso	359

GRÁFICO 5 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE ZONEAMENTO AMBIENTAL



Considerando a determinação da classe com **potencial ao uso** esta representa uma porção territorial de 80,01 Km<sup>2</sup> relativos a uma proporção de 14% do total da área de estudo. A obtenção desta classificação se deu através da correlação das áreas potencializáveis, ou seja, sem restrições legais ou ambientais, com as

classes de fragilidade emergente muito fraca e fraca, Quadro 45. Indicando que estas áreas têm condições de suportar estruturas do meio urbano e rural em amplos aspectos desde que com adequados tratamentos de poluentes originados nestes sistemas artificializados como efluentes domésticos, industriais e resíduos sólidos diversos.

QUADRO 45 - ZONEAMENTO DE ÁREAS COM **POTENCIAL AO USO**

CLASSES DE USO	FRAGILIDADE EMERGENTE				
	M. Fraca	Fraca	Média	Forte	M. Forte
POTENCIALIZÁVEL (sem restrições)	<b>Área com potencial ao uso</b>	<b>Área com potencial ao uso</b>	-	-	-
POTENCIALIZÁVEL (com restrições)	-	-	-	-	-
RESTRITA	-	-	-	-	-

A identificação e espacialização do zoneamento de áreas com **potencial ao uso com restrições** considerando as características naturais da fragilidade do meio físico e emergente compreende um espaço territorial de 126,01 Km<sup>2</sup> significando um percentual de 22% do total da área representada pela bacia hidrográfica. São áreas que se encontram em relevos rebaixados nas planícies aluviais extensas com inclinações entre 0° e 5°, sobre rochas sedimentares detríticas pouco consolidadas com alta permeabilidade e solos hidromórficos rasos e instáveis devido ao seu constante encharcamento e sua constituição textural argilo-arenosa. Devem, portanto estes aspectos ser considerados no que diz respeito ao uso e ocupação destas áreas.

São áreas que apresentam fragilidade alta para ocupação urbana por serem áreas com terrenos instáveis podendo comprometer a estrutura de engenharia das edificações.

Além de serem áreas com riscos constantes de inundação, e também por apresentarem o nível freático próximo a superfície, praticamente aflorante em alguns casos, facilmente por esta razão passíveis de contaminações, e pela dificuldade na implantação de vias de acesso e equipamentos de saneamento básico.

No que diz respeito ao uso agropecuário deve se considerar que são áreas inconsolidadas que podem dificultar a mecanização para lavouras, e por serem áreas muito úmidas representam restrições para diversos tipos de culturas além de

se aconselhar somente à prática da agricultura orgânica pela facilidade de contaminação do aquífero sub-superficial e profundo no caso da utilização de fertilizantes químicos ou defensivos agrícolas. A determinação das áreas com **potencial ao uso desde que com algumas restrições** considerou estes aspectos e correlacionou as áreas potencializáveis sem restrições legais, porém com algumas restrições ambientais, com as classes de fragilidade emergente média, forte e muito forte, (Quadro 46).

QUADRO 46 - ZONEAMENTO DE ÁREAS COM POTENCIAL AO USO COM RESTRIÇÕES

CLASSES DE USO	FRAGILIDADE EMERGENTE				
	M. Fraca	Fraca	Média	Forte	M. Forte
POTENCIALIZÁVEL (sem restrições)	-	-	-	-	-
POTENCIALIZÁVEL (com restrições)	-	-	<b>Área com potencial ao uso com restrições</b>	<b>Área com potencial ao uso com restrições</b>	<b>Área com potencial ao uso com restrições</b>
RESTRITA	-	-	-	-	-

As áreas classificadas como **zonas restritas ao uso** compreendem uma dimensão territorial de 359 Km<sup>2</sup> representando um percentual de 64% do total da área de estudo. Os parâmetros utilizados para a identificação destas áreas consideraram além das determinações legais referentes às áreas amparadas por leis de proteção ambiental e de interesses turísticos pela preservação dos aspectos naturais, também a preservação da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos utilizados para o abastecimento público. Além de considerar as áreas com maior representatividade aos riscos geotécnicos de movimentos de massa, processos erosivos e riscos a inundações.

As maiores concentrações destas áreas estão localizadas nos setores nordeste e sudeste da bacia hidrográfica partindo da parte central da mesma até atingir os contrafortes da borda oeste da serra do mar e também num raio de 500 metros distantes de cada lado das margens dos leitos dos principais rios das sub-bacias formadoras deste sistema hidrográfico. Para se obter a espacialização destas áreas tomou-se as considerações acima descritas e inviabilizou-se qualquer forma de uso do solo independente da classificação da fragilidade emergente (Quadro 47). Indicando que estas áreas específicas devem ser preservadas a qualquer custo pela

importância que representam em relação aos recursos hídricos, e aos elevados graus de instabilidade da dinâmica natural, onde, se não respeitadas tais características há riscos ambientais, sociais e, inevitavelmente, econômicos.

QUADRO 47 - ZONEAMENTO DE ÁREAS COM **RESTRIÇÕES AO USO**

CLASSES DE USO	FRAGILIDADE EMERGENTE				
	M. Fraca	Fraca	Média	Forte	M. Forte
POTENCIALIZÁVEL (sem restrições)	-	-	-	-	-
POTENCIALIZÁVEL (com restrições)	-	-	-	-	-
RESTRITA	<b>Área restrita ao uso</b>				

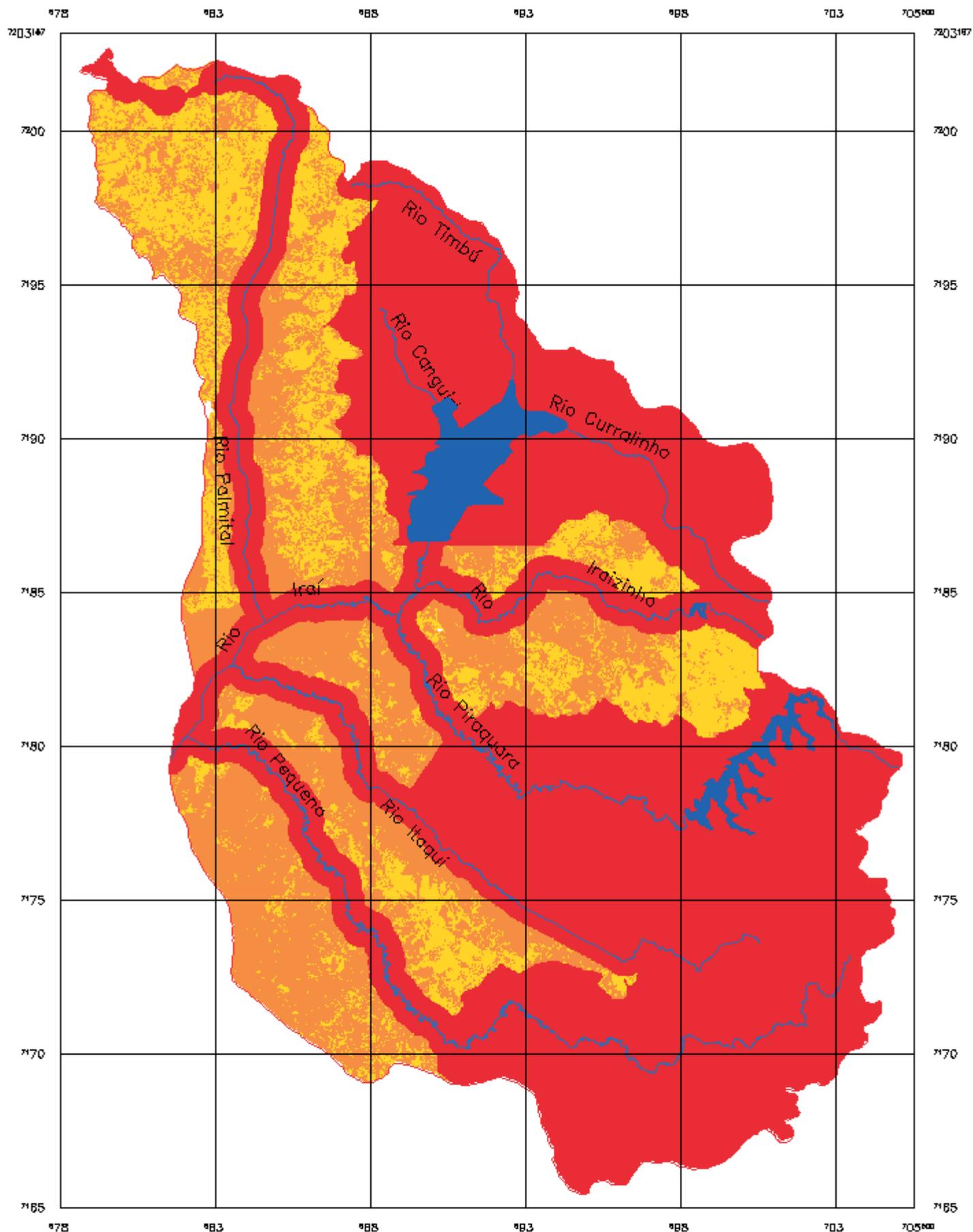
Através da determinação das classes de zoneamento ambiental e respectiva espacialização das áreas atribuída a cada uma das classes, foi possível a elaboração da carta de zoneamento ambiental com potencial ao uso e ocupação (Figura 51). A importância do resultado desta classificação e espacialização além de apontar as áreas mais adequadas ao uso do solo, permitiu também identificar as áreas que apresentam conflito de uso atual tomando como fatores determinantes as condicionantes que possibilitaram realizar o zoneamento ambiental.

#### 8.4 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE ÁREAS COM CONFLITO DE USO ATUAL

Na busca por uma melhor qualidade de vida, muitas pessoas procuram se estabelecer em grandes centros urbanos atraídos por melhores condições de trabalho ou por propagandas ilusórias que lhes prometem a garantia de melhores qualidades de vida. No entanto na maioria das vezes o que estas pessoas encontram é a segregação social e econômica, sendo obrigadas a se estabelecerem com suas famílias em áreas inadequadas sujeitas a riscos multivariados que implicam em prejuízos ambientais, sociais, econômicos e, por vezes pessoais onde colocam em risco a própria vida. Atrelado a este problema estão a prática da especulação imobiliária, a necessidade do desenvolvimento industrial e práticas

agropecuárias sem orientações técnicas específicas visando evitar impactos ambientais.

FIGURA 51 – CARTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

-  LIMITE DA BACIA
-  CORPOS D'ÁGUA
-  Área com Potencial ao uso
-  Área com Potencial ao uso com restrições
-  Área Restrita ao uso



1,3 0 1,3 2,5 3,8 5,0 km  
Escala 1:125000

Elaboração: Sandro J. Briski (2004)  
Elaborado a partir do cruzamento das cartas de Fragilidade emergente e Uso e Cobertura do Solo de 2002

No que diz respeito às conseqüências danosas provocadas ao sistema ambiental as mesmas, podem ser sentidas em uma amplitude de escala muito maior que observadas num primeiro momento, podendo comprometer a disponibilidade de recursos pela sua falta de qualidade e ou quantidade, como a exemplo as águas destinadas ao abastecimento público de uma região. Uma vez comprometido este recurso na sua origem, todo o contingente populacional que dele se utiliza tende a ser prejudicado pelo seu comprometimento, seja este da qualidade ou quantidade.

Para a identificação e espacialização das atuais áreas que apresentam usos conflitantes do solo na área de estudo, utilizou-se da determinação do zoneamento ambiental correlacionado às categorias de uso e cobertura do solo do ano de 2002 as mesmas utilizadas para a definição das classes de fragilidade emergente. Através deste procedimento atribuiu-se à região três categorias indicando ou não o conflito de uso em: **a)** áreas com uso adequado sem restrições, **b)** áreas com uso adequado com restrições e **c)** área com uso inadequado gerando a **Carta de Conflito de Uso do Solo Atual** da bacia hidrográfica (Figura 52).

Através do cruzamento destas informações de uso do solo e zoneamento ambiental obtiveram-se os seguintes resultados em relação às áreas de conflito de uso: Quadro 48 e Gráfico 6.

QUADRO 48 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE CONFLITO DE USO DO SOLO ATUAL

DESCRIÇÃO	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Uso atual adequado	223,01
Uso atual adequado parcialmente	80
Uso atual inadequado	262,01

GRÁFICO 6 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PROPORCIONAL DAS CLASSES DE CONFLITO DO USO DO SOLO ATUAL

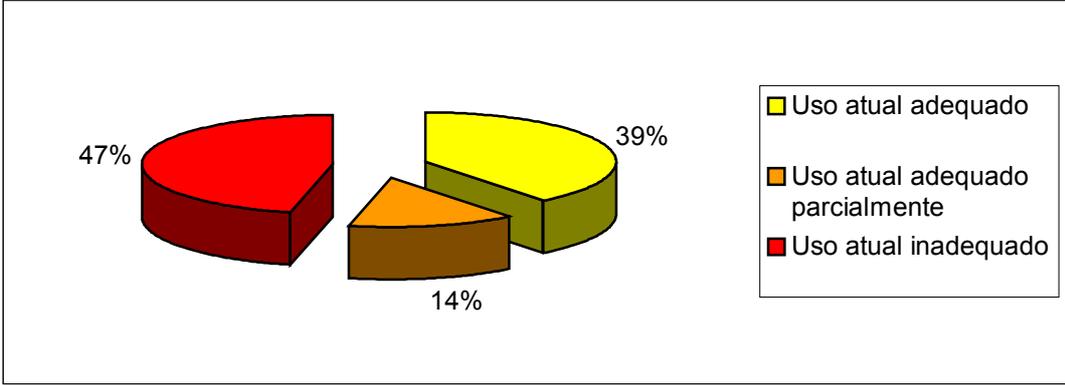
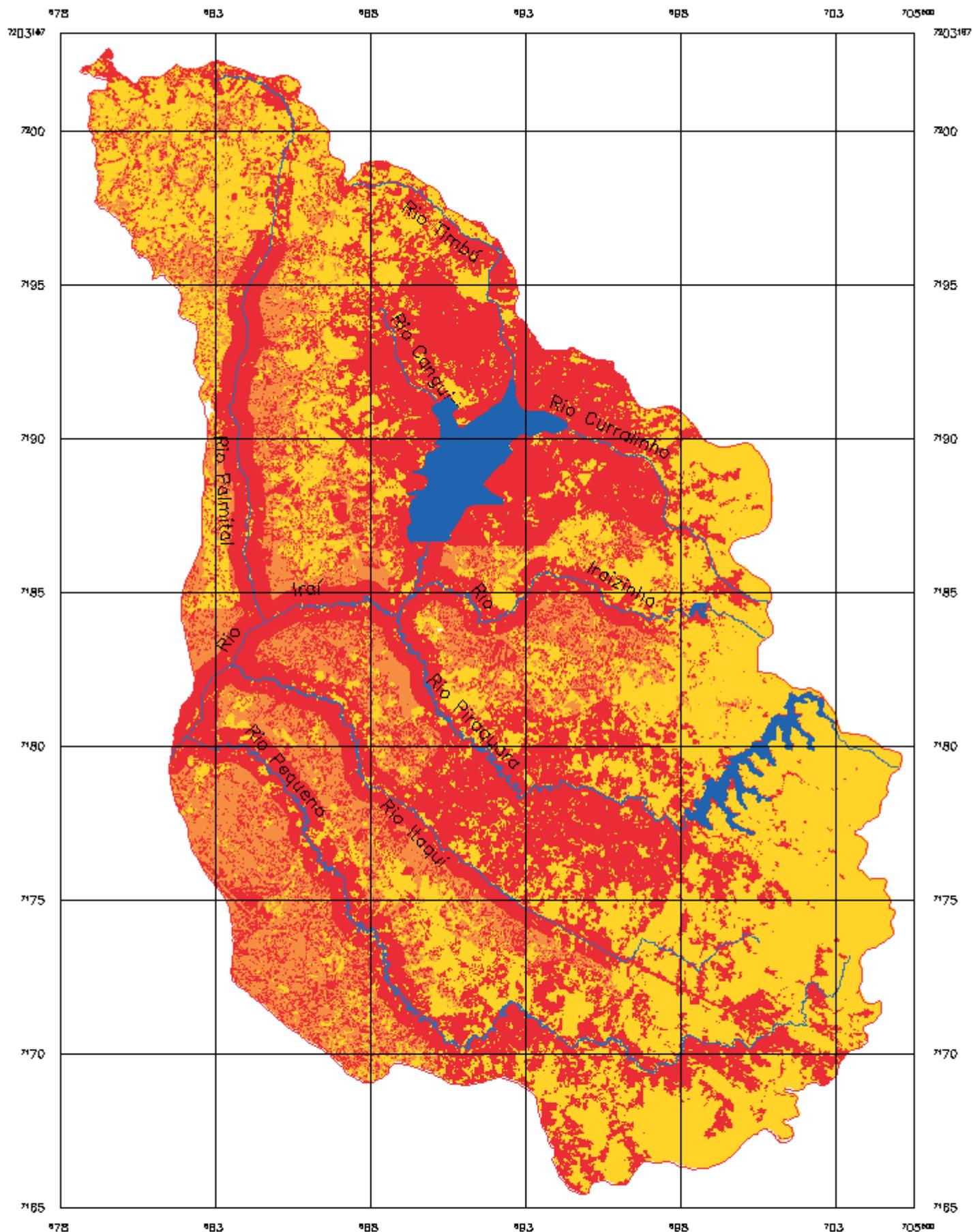


FIGURA 52 – CARTA DE CONFLITO DE USO E OCUPAÇÃO ATUAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU



LEGENDA:

-  LIMITE DA BACIA
-  CORPOS D'ÁGUA
-  Uso atual adequado
-  Uso atual adequado parcialmente
-  Uso atual inadequado



1,3 0 1,3 2,5 3,8 5,0 km  
Escala 1:125000

Elaboração: Sandro J. Briski (2004)

Elaborado a partir do cruzamento das cartas de Zoneamento Ambiental e Uso e Cobertura do Solo de 2002

As áreas identificadas com **uso atual adequado** considerando as características de zoneamento ambiental estão presentes em um espaço territorial de 223,01 Km<sup>2</sup> correspondendo ao percentual de 39% do total da área de estudo. Estas áreas indicam que o atual uso e cobertura do solo estão em consenso com a dinâmica ambiental constituindo-se assim em regiões bem preservadas quanto às suas características naturais ou com ocupações adequadas as das estruturas do sistema ambiental, minimizando ao máximo impactos degradantes do meio abiótico e biótico. Observa-se que as concentrações destas áreas encontram-se em sua maioria no leste e sudeste nos contrafortes da borda oeste da serra do mar, atualmente pouco ocupada. Também se observa uma concentração maior destas áreas no extremo norte da bacia onde o relevo apresenta-se acidentado em relação as demais áreas dificultando as ocupações irregulares e de baixa renda, as atividades agropecuárias e além de estar mais distantes do centro urbano do município de Curitiba, fator a ser considerado ao tratar-se destes aspectos de ocupação urbana.

Para a determinação das áreas com **uso atual adequado** foram consideradas as modalidades de uso e cobertura do solo de 2002 correlacionadas com as classes de zoneamento ambiental estabelecendo adequabilidade de uso com o zoneamento proposto e com o estado de conservação do meio natural indicado pela cobertura vegetal, (Quadro 49).

**QUADRO 49 - ZONEAMENTO DE ÁREAS COM USO ATUAL ADEQUADO**

Uso e Cobertura do Solo (2002)	Classes de Zoneamento Ambiental
-----------------------------------	---------------------------------

	Área com potencial ao uso	Área com potencial ao uso com restrições	Área restrita ao uso
Agricultura	<b>Uso atual adequado</b>	-	-
Campo/Pastagem	<b>Uso atual adequado</b>	-	-
Corpos d'Água	X	-	-
Ocupação	<b>Uso atual adequado</b>	-	-
Solo Exposto	X	-	-
Vegetação	<b>Uso atual adequado</b>	<b>Uso atual adequado</b>	<b>Uso atual adequado</b>
Vias de Acesso	<b>Uso atual adequado</b>	-	-

Na determinação da classe de **uso atual adequado parcialmente**, foram consideradas modalidades de uso e ocupação do solo como agricultura, campo/pastagem, ocupação e vias de Acesso, desde que considerada a dinâmica do sistema ambiental apontada na classe de zoneamento ambiental indicando áreas com potencial ao uso com restrições. Portanto, estas áreas apesar de, em alguns casos, apresentarem adequabilidade ao uso do solo em outros apresenta discordância relativas aos aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e pedológicos podendo desencadear processos de instabilidade ou comprometendo a qualidade dos elementos do sistema ambiental (Quadro 50).

A distribuição desta classe de uso adequado parcialmente ocorre em 80 Km<sup>2</sup> representando um percentual de 14% do total da área de estudo. Algumas das inadequabilidades de uso do solo são em práticas agropecuárias próximas aos reservatórios de água como a represa do Irai e Piraraquara, em relevos inclinados potencializando os riscos de processos erosivos e assoreamento dos corpos d'água, implantação de vias de acesso de alto tráfego em áreas de mananciais, depósitos de resíduos e aterros em fundo de vale entre outros, (Figuras 53 a e 53 b).

QUADRO 50 - ZONEAMENTO DE ÁREAS COM USO **ATUAL ADEQUADO PARCIALMENTE**

Uso e Cobertura do Solo (2002)	Classes de Zoneamento Ambiental		
	Área com potencial ao uso	Área com potencial ao uso com restrições	Área restrita ao uso
Agricultura	-	<b>Uso atual adequado</b>	-

		<b>parcialmente</b>	
Campo/Pastagem	-	<b>Uso atual adequado parcialmente</b>	-
Corpos d'Água	-	-	-
Ocupação	-	<b>Uso atual adequado parcialmente</b>	-
Solo Exposto	-	-	-
Vegetação	-	-	-
Vias de Acesso	-	<b>Uso atual adequado parcialmente</b>	-

FIGURA 53 a - FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO O USO ATUAL ADEQUADO PARCIALMENTE



Via de acesso de alto tráfego - Contorno Leste



Potencial erosivo com assoreamento do leito do rio



Atividade agropecuária próxima à Represa do Iraí

FIGURA 53 b - FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO O USO ATUAL ADEQUADO PARCIALMENTE



Ocupação urbana atraída por implementação de via de alto tráfego



Aterramento em áreas de mananciais



Supressão parcial da vegetação em área de preservação permanente Represa do Iraí

As áreas identificadas com **uso do solo atual inadequado** encontram-se presentes ocupando 262,01 Km<sup>2</sup> do espaço territorial da área de estudo compreendendo um total de 47% da mesma. Desta forma é a classe com maior representatividade atual da região e para sua determinação considerou-se as relações inadequadas representativas de riscos ou potencialização de processos de modificação da dinâmica ou qualidade ambiental. Assim, relacionou-se o zoneamento ambiental com diversas modalidades de uso e cobertura do solo conforme se pode observar no Quadro 51, obtendo como resultado a espacialização das áreas com uso atual conflitante.

São áreas ocupadas ou usadas inadequadamente onde os principais problemas apontados dizem respeito às ocupações urbanas de baixa renda, localizadas nas planícies aluviais. Ocupações que se encontram praticamente sobre os canais de drenagem sujeitas a constantes inundações e estabelecidas em terrenos inconsolidados e instáveis indicando em função dos solos hidromórficos orgânicos, recebendo constantemente aporte de matéria orgânica, ambientes insalubres a saúde humana. Implantação de pólos industriais e vias de acesso de tráfego intenso em áreas de manancial, substituindo a vegetação primária por edificações e estruturas lineares desencadeando processos erosivos e assoreamento de canais superficiais e em alguns casos mais específicos, as ocorrências da ocupação de encostas íngremes sujeitas a movimentos de massa e processos erosivos. Fatos que podem ser constatados na Figuras 54 a, 54 b, 54 c e

54 d, que além de acarretar problemas de ordem ambiental, também representam problemas sociais, políticos e econômicos.

QUADRO 51 - ZONEAMENTO DE ÁREAS COM **USO ATUAL INADEQUADO**

Uso e Cobertura do Solo (2002)	Classes de Zoneamento Ambiental		
	Área com potencial ao uso	Área com potencial ao uso com restrições	Área restrita ao uso
Agricultura	-	-	<b>Uso inadequado</b>
Campo/Pastagem	-	-	<b>Uso inadequado</b>
Corpos d'Água	<b>Uso inadequado</b>	<b>Uso inadequado</b>	<b>Uso inadequado</b>
Ocupação	-	-	<b>Uso inadequado</b>
Solo Exposto	<b>Uso inadequado</b>	<b>Uso inadequado</b>	<b>Uso inadequado</b>
Vegetação	-	-	-
Vias de Acesso	-	-	<b>Uso inadequado</b>

FIGURA 54 a - FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO O USO ATUAL INADEQUADO



Substituição da mata ciliar por ocupação urbana



Assoreamento do leito ocasionado pela inexistência de mata ciliar



Implantação de pólo indústrial em área de manancial

FIGURA 54 b - FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO O USO ATUAL INADEQUADO



Supressão da mata ciliar



Ocupação de baixa renda em planície de inundação



Exposição do solo potencializando processos erosivos

FIGURA 54 c - FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO O USO ATUAL INADEQUADO



Ocupação inadequada à margem do rio



Limpeza de bueiro à margem da Represa do Iraí



Ocupação de baixa renda em planície aluvial

FIGURA 54 d - FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO INDICANDO O USO ATUAL INADEQUADO



Interrupção do leito do rio por via de acesso com assoreamento do canal



Ocupação de baixa renda em planície aluvial



Ocupação urbana junto ao nível freático aflorante

Através das possibilidades da espacialização destas áreas com uso e ocupação do solo de formas inadequadas, torna-se evidente os motivos da preocupação em relação aos direcionamentos políticos administrativos que venham a ser tomados quanto às questões de planejamento ambiental e gestão territorial nesta importante bacia hidrográfica de mananciais responsável atualmente por cerca de 70% do abastecimento público do município de Curitiba, e parte de sua região metropolitana.

O fato observado é que as formas inadequadas de uso do solo por se concentrarem praticamente sobre as planícies de inundação estão comprometendo significativamente a qualidade dos recursos hídricos da região podendo ter sérios comprometimentos de abastecimento a curto e médio prazo.

## 9. CONCLUSÃO

No contexto da atualidade ambiental, onde cada vez é mais evidente o contra-senso que se estabelece entre a disponibilidade e às necessidades por recursos e espaços a serem ocupados pela sociedade, ressalta-se a importância em se aprimorar e desenvolver novas técnicas voltadas à definição das capacidades dos sistemas ambientais.

Nesta missão de concatenar as características dos fenômenos e elementos formadores dos sistemas ambientais com as necessidades de recursos e espaços, as geociências associadas às geotecnologias cumprem o papel de representar de maneira satisfatória o comportamento e possíveis modificações dos sistemas que possam ser desencadeadas em função da apropriação e construção dos espaços geográficos.

Salienta-se também a importância da avaliação e compreensão dos aspectos geológicos, pedológicos e geomorfológicos, ao se estabelecer relações com os sistemas hidrogeológicos com competências para o abastecimento público, como é o caso específico da área enfocada neste trabalho, a qual vem ao longo dos anos sofrendo fortes pressões de adensamento demográfico contrapondo-se às características naturais da região potencializando sobremaneira os processos de instabilidade ambiental.

Avaliando os resultados a partir da classificação de áreas com diferentes respostas aos aspectos determinantes da fragilidade potencial, observa-se que de um modo geral a região não é susceptível a processos naturais desestabilizadores de seus aspectos ambientais relativos à movimentação de massa e processos erosivos. As áreas com maiores pré-disposições aos efeitos modificadores da estabilidade de seus componentes físicos e biológicos concentram-se em uma porção do extremo norte e extremo leste-sudeste, onde se encontram as inclinações mais acentuadas da área. Porém, cabe a ressalva de que este baixo grau de fragilidade ambiental está relacionado ao modo de uso e cobertura do solo, que, neste caso desconsidera qualquer tipo de atividade antrópica, mantendo preservado os aspectos naturais do sistema ambiental.

Quanto ao grau da fragilidade emergente, esta se associa ao modo de uso e ocupação estabelecidos na bacia hidrográfica, onde os resultados apresentam-se com índice elevado de fragilidade, classificada em muito forte e forte em grande parte da região, principalmente, em todo extremo oeste e parte central da bacia. Sendo a área ocupada por densa rede de drenagem e encontrar-se em uma bacia de sedimentação por rebaixamento, seu nível freático é praticamente aflorante em seu terço médio e inferior, e em suas amplas planícies aluviais. Por este motivo, passível à contaminações generalizadas através da descarga de efluentes líquidos e descarte de sólidos comprometendo a qualidade dos recursos hídricos utilizados para o abastecimento público. Chama-se atenção para estas áreas que são as mais rebaixadas da região sujeitas a freqüentes inundações com aumento do índice pluviométrico principalmente em condições climáticas excepcionais. A formação superficial apresenta o desenvolvimento de solos hidromórficos ricos em matéria orgânica e constantemente encharcados indicando insalubridade e inadequação para ocupação urbana e outras modalidades de uso rural ou implementação de pólos industriais. Os terrenos destas áreas são pouco consolidados inviabilizando diversas modalidades de instalações de obras e edificações de engenharia de estruturas urbanas e rurais.

Desta forma, nota-se que as áreas indicando fragilidade potencial fraca e muito fraca, sugerindo regiões estáveis quanto aos processos dinâmicos da natureza, têm esta estabilidade modificada ao considerar-se a fragilidade emergente associada aos modelos de uso e ocupação do solo com inserção de elementos noóticos. Assim, áreas que apresentavam fragilidade ambiental fraca e muito fraca, quando potencial, passam a apresentar graus de fragilidade forte e muito forte quando emergente.

Através dos resultados da constatação e espacialização dos variados graus de indicação de fragilidades emergente, considerando as áreas com índices elevados de possíveis instabilidades ambientais e as áreas amparadas por determinações legais indicando interesse ao bem comum da sociedade, foi possível determinar o zoneamento ambiental da área de estudo.

Considerando às características naturais da região e determinações político administrativas o zoneamento ambiental caracterizou restrições ao uso nas planícies aluviais próximas aos principais canais de drenagem e nas áreas amparadas por lei, indicando que mais da metade do recorte espacial estabelecido pela bacia hidrográfica, cerca de 64%, deve manter suas características naturais inalteradas, impossibilitando qualquer tipo de uso ou ocupação do solo. No restante da área determina-se regiões que apresentam potencialidades a usos diversos e outras com potencialidade ao uso com certas restrições, pois se ocorrerem de forma inadequada podem desencadear processos de instabilidade ambiental e acarretar problemas sociais e econômicos.

Porém, quando a partir do zoneamento ambiental utilizando-se de informações indicativas dos modelos de uso e cobertura do solo do ano de 2002, portanto recentes, estabeleceu-se às classes de conflito de uso e ocupação do solo notando-se um contra-senso na forma como vem se estabelecendo a apropriação deste espaço territorial.

Os índices indicam que cerca de 47% do total da área está sendo ocupada inadequadamente somada a outros 14% que demonstram formas de uso adequadas parcialmente, ou seja, são ocupações estabelecidas principalmente nas planícies aluviais próximas aos rios e nas áreas amparadas por lei as quais representam espaços territoriais onde se determinam restrições a diversas modalidades de ocupação e atividades econômicas.

Tal situação vem acarretando problemas diversificados para a região, no âmbito social, político e econômico. Porém, sem dúvida, os maiores problemas se estabelecem no contexto social e ambiental, onde se identifica uma condição praticamente desumana de habitações da parcela da população carente, expostas aos riscos constantes de inundações e doenças que trazem risco à vida. Em relação à qualidade ambiental, estas vêm se degradando significativamente e, principalmente, no que diz respeito aos recursos hídricos atualmente responsáveis pela maior quantidade de água captada e tratada para abastecimento público.

Este processo de adensamento demográfico que vem se desenvolvendo nesta região, em parte, é responsabilidade das administrações públicas que na ânsia do desenvolvimento econômico e político relevam as características dos sistemas ambientais a um segundo plano. Assim transmitem através de propagandas enganosas condições favoráveis de qualidade de vida acima dos padrões nacionais para atrair investimentos os quais trazem consigo também grandes contingentes populacionais, principalmente, de classes de baixa renda à procura da melhoria da qualidade de vida, as quais deparam-se diante de outra realidade e acabam marginalizadas e obrigadas a se estabelecerem em espaços inadequados, sujeitas a todos os tipos de azares ambientais e sociais.

No entanto o objetivo principal deste trabalho não é apontar responsabilidades e sim demonstrar a importância da análise do meio físico como suporte ao planejamento e gestão territorial, tendo como diferencial a consideração dos aspectos geológicos e hidrogeológicos além dos aspectos geomorfológicos e pedológicos na determinação da fragilidade ambiental, estabelecendo algumas informações geotécnicas básicas e cartografadas.

Além de contribuir através deste elenco de informações e produtos no subsídio de mecanismos de suporte técnico adequados e eficiente, instrumentalizando os atores responsáveis pelo planejamento ambiental e gestão territorial desta importante área de mananciais.

Diante dos resultados obtidos sugere-se que na elaboração de planos diretores as diferenciações do meio físico estejam relevadas ao primeiro plano, evitando assim este modelo contraditório constatado atualmente em relação ao uso e ocupação do solo desta região.

Sugere-se também a avaliação do custo/benefício referente a relocação das populações que se encontram em áreas inadequadas com potencial a riscos ambientais e sociais, bem como a coibição da ocupação de novas áreas que apresentem a mesma situação. Importante é também respeitar as determinações legais estabelecidas para as áreas amparadas por lei evitando-se a dilapidação destas áreas considerada estratégicas ao bem comum.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. R.; TERTULIANO, M. F. Diagnose dos Sistemas Ambientais: Métodos e Indicadores. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e Perícia Ambiental**. 2º ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 115-170.
- ANDREOLI, C. V. *et. al.* . **Os Mananciais de Abastecimento do Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba – RMC**. – Curitiba: SANARE / Revista Técnica da Sanepar, Volume 12. Julho a dezembro de 1999.
- ANDREOLI, C. V. **Os Mananciais de Abastecimento: planejamento e gestão. Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu**. – Curitiba: Sanepar Finep, 2003.
- ARAÚJO, L. A. Perícia Ambiental em Ações Cíveis Públicas. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e Perícia Ambiental**. 2º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 172-215.
- ASSAD, E. D; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas. Aplicação na agricultura**. – 2. Ed., rev. e ampl. – Brasília: Embrapa – SPI / Embrapa – CPAC, 1998.
- BASTOS, A. C. S.; FREITAS, A. C. Agentes e Processos de Interferência, Degradação e Dano Ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e Perícia Ambiental**. 2º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 17-75.
- BARROS, F. P.; MONTICELLI, J. J. Aspectos Legais. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 509-515.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- BERTRAND, G. Écologie d'un espace géographique: lês géosystèmes du Valle de Prioro. **Espace Géographique**, 2:p. 113-128, 1972.
- BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 499-508.
- BITAR, O. Y. **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. Coordenação geral – São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. – São Paulo: Prendice Hall, 2002.
- BRISKI, S. J. **Análise Ambiental do Conjunto Ibiteruçu (Pico Paraná) – PR**. Monografia apresentada para conclusão de Bacharelado em Geografia: Curitiba. Universidade Tuiuti do Paraná, 2001.

CALIJURI, M. L. *et. al.* Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento**. Editado por Moacir de Souza e Silva. **Geoprocessamento Aplicado aos Recursos Hídricos**. – Lavras: UFLA/SBEA, 1998.

CARVALHO, E. T.; PRANDINI, F. L. Áreas Urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 487-497.

CARVER, A. J. **Fotografia aérea para planejadores de uso da terra**. BRASÍLIA, MA/SNAP/SRN/CCSA, 1988. 77p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. – São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. – São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2º ed. – São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA – COMEC. **PDI – 2001: Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba**. Documento para Discussão. – Curitiba: COMEC, 2001.

CRÓSTA, A. P. **processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. – Campinas, SP. IG/UNICAMP, 1993. 170 p.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e Perícia Ambiental**. Capítulo 3 – *Diagnose dos Sistemas Ambientais: Métodos e Indicadores*. Almeida, Josimar Ribeiro; Tertuliano, Marcos Faria. – 2ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

CURI, N. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1993. 90p.

DOLFUSS, O. **A Análise Geográfica**. Tradução, Heloysa de Lima Dantas – São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1973.

DOLFUSS, O. **O Espaço Geográfico**. Tradução, Heloysa de Lima Dantas. 5º ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil S.A., 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (RIO de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – SNLCS. **Levantamentos de reconhecimento de solos do Estado do Paraná**. – Curitiba: EMBRAPA, SNLCS/SUDESUL/IAPAR, Tomo I e II, 1984. 791p.

FEEMA. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Extração de areia em faixas litorâneas**, por Elmo da Silva Amador. Rio de Janeiro, 1985. 1 v il. – **Derrame de óleo ascarel no Rio Paraíba do Sul em 04.08.88**. Rio de Janeiro. 1988. 36 p.

FREITAS, V. P. **Águas – aspectos jurídicos e ambientais**. 2º ed., – Curitiba: Juruá, 2003.

GIRARDI, L. H. O; MENDES, I. A. **Teoria, Técnica, Espaços e Atividades. Temas de Geografia Contemporânea**. Rio Claro: Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP; Associação de Geografia Torética – AGETEO, 2001.

GOUDIE, A. **The Changing Earth: Rates of Geomorphological Processes**. Cambridge, Massachusetts USA: Blackwell, 1995. 302p.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Legislação paranaense de recursos hídricos: Lei Estadual nº 12.726/99 e decretos que estruturam a gestão de recursos hídricos no Estado do Paraná**. – São Paulo: Astúrias, 2002.

GUERRA, A. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. Versão 4.0 (Windows e Unix). Vol. 1. Definição e edição de mapas. Cap. 4. São Paulo, 1998

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **SPRING Release 4.0**. São Paulo , 2003, conceitos cartográficos.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Primeira Divisão de Geociências de Nordeste, 1999.

JACOBS, G. A. **Dinâmica de Uso e Ocupação dos Mananciais na Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 2002. 255p. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

JACOBS, G. A.; RIZZI, N. E. O Uso dos Mananciais da R. M. Curitiba – A Ocupação do Espaço Físico da Bacia do Altíssimo Iguaçu. In: ANDREOLI, C. V. **Os Mananciais de Abastecimento: planejamento e gestão. Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu**. – Curitiba: Sanepar Finep, 2003. p. 87-132.

JORGE, F. N.; UEHARA, K. Águas de Superfície. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. – São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 101-109.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. – São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998 – (Ciência e tecnologia).

LEGISLAÇÃO PARANAENSE DE RECURSOS HÍDRICOS. **Lei estadual nº 12.726/99 e decretos que estruturam a gestão de recursos hídricos no Estado do Paraná.** – São Paulo: Astúrias, 2002. 169 p.

LIMA, E. C. **Qualidade multitemporal da paisagem: Estudo de caso na floresta ombrófila mista em General Carneiro – PR.** Curitiba, 2003. 146p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná.

LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico.** Apostila, Belém, 2002. 179p.

LOCZY, L. **Geologia estrutural e introdução à geotectônica.** São Paulo, Edgard Blücher; Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1980.

MACHADO, R.; SILVA, M. E. Estruturas em Rochas. In: TEIXEIRA, W. et. al. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 400-420.

MELO, D. R. **Geossistemas: sistemas territoriais naturais.** Belo Horizonte: Inédito, 1995.

MINER, C. R. L. P. Instrumentos Jurídicos para o Controle de Atividades Rurais em Áreas de Mananciais. In: ANDREOLI, C. V. **Os Mananciais de Abastecimento: planejamento e gestão. Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu.** – Curitiba: Sanepar Finep, 2003. p. 429-458.

MINEROPAR. SERVIÇO GEOLÓGICO E PESQUISA MINERAL. M 664m **Mapeamento geológico – geotécnico na Região do Alto Iguaçu.** Curitiba: 1994. 33p.

MORAIS, J. O. **Geologia no Planejamento Ambiental. Introdução, definições básicas e conceitos fundamentais.** – Ceará: Revista de Geologia, 1991, vol. 4: 127 a 154.

MOREIRA, I. V. D. **Vocabulário Básico de Meio Ambiente.** Compilado por Iara Verocai Dias Moreira – Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 1990.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações.** 2.ed. – São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

ODUM, E. P. **Ecologia.** – Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia.** – São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

PELAEZ, V. et. al. Impacto Econômico da não Preservação de Mananciais na Região Metropolitana de Curitiba. In: ANDREOLI, C. V. **Os Mananciais de**

**Abastecimento: planejamento e gestão. Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu.** – Curitiba: Sanepar Finep, 2003. p. 197-233.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** 4.ed. – São Paulo: Contexto, 1997.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs – RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 291-336.

ROUGERIE, G; BEROUTCHACHVILI, N. **Géosystèmes et Paysages. Bilan et méthodes.** – Paris: Armand Colin, 1991.

SALAMUNI, E. **Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR).** – Tese (Doutorado em Geologia Regional). – Rio Claro, 1998. 233 p. : IBGE – Cp de Rio Claro – UNESP.

SALAMUNI, E. et. al. **Contribuição à geologia da bacia sedimentar de Curitiba (PR).** – Boletim Paranaense de Geociências. N. 47 p. 123 – 142 – Curitiba: Editora da UFPR, 1999.

SALAMUNI, E. et. al. **Tectonics and sedimentation in the Curitiba Basin, south of Brazil.** – 2003.

SANTOS, M. **Metamorfoses do Espaço Habitado. Fundamentos teóricos e metodológicos da geografia.** – São Paulo: Hucitec, 1994.

SANTOS, S. H. **Direito Ambiental: Unidades de Conservação, Limitações Administrativas.** – Curitiba: Juruá, 1999.

SETTI, A. A. et al. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos.** 2º ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos.** - Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999.

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para análise ambiental.** – Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001.

SPVS, SOCIEDADE DE PESQUISA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL. **Manual para elaboração de plano de manejo e gestão de bacia de mananciais do Estado do Paraná.** / SPVS, Sanepar. – 2º. ed. ver. – Curitiba: Sanepar, 1999.

SOCHAVA V. B. – **Introduction á la science des géosyatèmes.** Nauka (Sib. Otd), Novosibirsk, 1978 (en russe).

TEIXEIRA, W. *et. al.* **Decifrando a Terra. – Estruturas em rochas.** – Rômulo Machado; Marcos Egydio Silva. P. 399 – 420. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 pp.

THEODOROVICZ, A. [et al.] **Projeto Curitiba. Informações básicas sobre o meio físico: Subsídios para o planejamento territorial: Folha Curitiba – 1: 100.000.** – Curitiba: CPRM, Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, 1994.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** – Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

TROPPIAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente.** Rio Claro, 1995.

TUCCI, E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação** 3º ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2002. 943p.

URBAN, T. **Em outras palavras: meio ambiente para jornalistas.** – Curitiba: SENAR – PR/ SEMA, 2002.

VEADO, R. W.; TROPPIAIR, H. Geossistemas do Estado de Santa Catarina. In: GIRARDI, L. H. O.; MENDES, I. A. **Teoria, Técnica, Espaços e Atividades. Temas de Geografia Contemporânea.** Rio Claro: Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP; Associação de Geografia Teórica – AGETEO, 2001. P. 371-398.

WEIJERMARS, R. **Structural Geology and Map Interpretation.** – Wyoming, USA: Alboran Science Publishing, 1997.

**ANEXO 1**

MODELO DE FICHA DE CAMPO PARA APOIO DA CLASSIFICAÇÃO  
SUPERVISIONADA DA CARTA DE USO DO SOLO  
2002

Ficha de Controle de Campo – Alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu.

Localidade: \_\_\_\_\_

Sub – Bacia: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ hs.

Seqüência de fotografias aéreas: \_\_\_\_\_

Coordenadas Geográficas: Lat. \_\_\_\_\_ Long. \_\_\_\_\_

Coordenadas Planas: X. \_\_\_\_\_ Y. \_\_\_\_\_

Altitude (m) \_\_\_\_\_

Condições climáticas (tempo atmosférico): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Morfoestrutura: \_\_\_\_\_

Estrutura geológica: \_\_\_\_\_

Características da cobertura pedológica: \_\_\_\_\_

Características da cobertura vegetal: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Condições dos recursos hídricos: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Modelo de ocupação: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Uso e cobertura de solo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Acervo fotográfico da área: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

CROQUI: