

ALESSANDRA CARREIRO BAPTISTA

**ANÁLISE DA PAISAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
MOVIMENTOS DE MASSA NA APA PETRÓPOLIS – RJ: SUBSÍDIO AO
PLANEJAMENTO URBANO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005**

ALESSANDRA CARREIRO BAPTISTA

**ANÁLISE DA PAISAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
MOVIMENTOS DE MASSA NA APA PETRÓPOLIS – RJ: SUBSÍDIO AO
PLANEJAMENTO URBANO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de fevereiro de 2005.

Prof. Carlos Ernesto G. Reynaud Schaefer
(Conselheiro)

Prof. Eduardo Antônio Gomes Marques
(Conselheiro)

Prof^a. Christianne de Lyra Nogueira

Prof. Dario Cardoso de Lima

Prof^a Maria Lúcia Calijuri
(Orientadora)

Às minhas avós, Odete da Silva Carreiro (in memoriam) e Sebastiana de Oliveira (in memoriam), pelos ensinamentos e pelo exemplo de vida.

DEDICO

Ao meu pai, João

À minha mãe, Maria

À minha irmã, Aline

Ao meu avô, Braz e a todos os meus tios e primos

Às minhas amigas, Karla e Andréia

Às minhas “nenenzinhas”, Roliça e Sativa

Aos meus “meninos”, Simon e Ravel

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, princípio de tudo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de realizar o Curso.

À muito querida e admirável Prof^ª Maria Lúcia Calijuri, minha orientadora, exemplo de dedicação e ética profissional, pela indicação e estímulo.

Aos conselheiros Carlos Ernesto G. R. Schaefer e Eduardo Marques, pela paciência, amizade e compreensão.

Aos professores Dario Cardoso de Lima e Christianne de Lyra Nogueira, membros da banca, pelas valiosas sugestões e contribuições.

Ao Engenheiro Laura de Simone Borma, por ceder, gentilmente, grande parte do material utilizado neste trabalho.

À Prefeitura Municipal de Petrópolis, representada por Luís Cláudio, pelos esclarecimentos e material cedido.

Aos meus amigos do SIGEO, André, Aníbal, Othávio, Pedro, Samuel, Sandra e Wilson, pela motivação, além das importantes contribuições à realização deste trabalho.

Aos amigos Engenheiros Agrimensores Rogério Mercandelle Santana e Ronaldo M. dos Santos, pelo conhecimento do *software* ArcINFO a mim repassado.

Ao engenheiro Agrimensor, Karla de Souza Cabral, pela preciosa ajuda com o *software* Spring, além da sua amizade e carinho.

Á minha estrela especial que ri, Andréia, pela amizade verdadeira, estaremos sempre juntas.

Aos meus pais, meus maiores amores, pelo carinho e compreensão.

À Emília, presente de Deus em minha vida e a todos meus amigos, próximos ou distantes.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil, pela troca de idéias e de experiências;

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da UFV, pelo excelente convívio.

À Cristina, secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo apoio administrativo e pela sua competência profissional.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

ALESSANDRA CARREIRO BAPTISTA, filha de João Baptista e Maria Carreiro Baptista, nasceu em 30 de agosto de 1975, na cidade de Nova Friburgo, RJ.

Em setembro de 2002, graduou-se em Engenharia de Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

Em março de 2003, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração em Geotecnia Ambiental, pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

	Página
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	3
CARACTERIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA NA APA PETRÓPOLIS ..	3
1. INTRODUÇÃO	3
1.1. Considerações gerais.....	3
1.2. A APA Petrópolis.....	4
1.3. O crescimento da população e a expansão urbana	7
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1. Desenvolvimento da metodologia	11
2.1.1. Seleção e aquisição de imagens.....	12
2.1.2. Pré-processamento – correção geométrica	12
2.1.3. Definição das classes – legendas	13
2.1.4. Análise das características das classes.....	13
2.1.5. Amostras significativas das classes a serem analisadas.....	13
2.1.6. Aplicação da técnica de classificação	13
2.2. Classificação supervisionada – Algoritmo da Máxima Verossimilhança	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
3.1. Análise dos resultados	15
3.2. Avaliação dos impactos ambientais causados pelo crescimento urbano	24
3.2.1. Ocupação das encostas e topos de morros	24
3.2.2. Cortes e aterros que comprometem a estabilidade do solo	26
3.2.3. Ocupação ao longo dos recursos hídricos	28
3.2.4. Remoção da cobertura vegetal	29
4. CONCLUSÕES	35
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

	Página
CAPÍTULO 2	37
SUSCETIBILIDADE DAS ÁREAS DE RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA NA APA PETRÓPOLIS.....	37
1. INTRODUÇÃO	37
1.1. Considerações gerais.....	37
1.2. Agentes e causas dos movimentos de massa	38
1.3. Localização da área de estudo	42
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.1. Desenvolvimento da metodologia	45
2.1.1. MDEHC – Modelo digital de elevação hidrograficamente consistente.....	46
2.1.2. Carta de classes de declividades.....	47
2.1.3. Mapa de uso do solo X declividades.....	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1. Mapas temáticos	48
4. CONCLUSÕES	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
CAPÍTULO 3	65
ANÁLISE ESTRATÉGICA DE DECISÃO APLICADA À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA A EXPANSÃO URBANA	65
1. INTRODUÇÃO	65
1.1. Considerações gerais.....	65
1.2. Organização espacial das cidades e os fatores que direcionam o seu crescimento	67
1.3. Localização da área de estudo	70
2. MATERIAIS E MÉTODOS	72
2.1. Desenvolvimento da metodologia	73
2.1.1. Processo de análise	74
2.1.2. Descrição dos fatores.....	74
2.1.2.1. Distância dos cursos d'água (F1)	76
2.1.2.2. Pedologia (F2)	76
2.1.2.3. Geologia (F3)	78
2.1.2.4. Geomorfologia (F4)	78
2.1.2.5. Uso do solo (F5)	79
2.1.2.6. Zoneamento Ambiental (F6)	81
2.1.2.7. Classes de declividades (F7)	82
2.1.2.8. Distância do sistema viário (F8)	82
2.1.2.9. Distância das áreas urbanizadas (F9)	82

	Página
2.1.3. Agregação dos fatores	82
2.1.4. Cenários finais.....	84
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4. CONCLUSÕES	91
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS	94

	Página
CAPÍTULO 1	
Quadro 1	Fluxograma das atividades 12
Quadro 2	Uso da terra na APA Petrópolis, para os anos de 1985, 2001 e 2004 15
CAPÍTULO 2	
Quadro 1	Agentes e causas dos escorregamentos 40
Quadro 2	Fatores deflagradores dos movimentos de massa 42
Quadro 3	Distribuição das classes de declividades em toda extensão da APA Petrópolis 48
CAPÍTULO 3	
Quadro 1	Restrições utilizadas nas análises 73
Quadro 2	Fatores utilizados na análise. Funções <i>fuzzy</i> adotadas e seus respectivos pontos de controle..... 76
Quadro 3	Quadro contendo as classes de solo, as características do relevo, da cobertura vegetal, pressão de uso antrópico e as áreas com declividades até 2% sujeitas à inundações. O quadro também apresenta o resultado do cruzamento entre todos os temas e a adequabilidade para cada nova classe 77
Quadro 4	Quadro contendo o resultado do cruzamento entre a classes geológicas e as classes de declividades e a adequabilidade para cada nova classe..... 78
Quadro 5	Quadro contendo as classes geomorfológicas e a adequabilidade correspondente 79
Quadro 6	Classes de vegetação e uso atual das terras 80
Quadro 7	Quadro contendo as zonas e suas adequabilidades 81
Quadro 8	Importância relativa entre os fatores 83
Quadro 9	Importância relativa entre os fatores e os pesos ponderados calculados de acordo com a matriz de atribuição 84
Quadro 10	Resumo dos cenários finais propostos 86

		Página
CAPÍTULO 1		
Figura 1	A APA Petrópolis.....	5
Figura 2	Relevo de morros e montanhas, vistos do alto da Torre de TV	6
Figura 3	Principais rios da APA Petrópolis: Rio Piabanha, Rio Quitandinha e Rio Palatinato.....	7
Figura 4	Divisões de quarteirões do Plano Koeler, Vila Imperial de Petrópolis, 1846, com o arruamento atual	8
Figura 5	Morro da Glória, Petrópolis	9
Figura 6	Imagem classificada, 1985.....	16
Figura 7	Imagem classificada, 2001.....	17
Figura 8	Imagem classificada, 2004.....	18
Figura 9	Fotossequência de paisagens da APA Petrópolis	20
Figura 10	Área de depósito de colúvio e tálus no sopé do Pico da Maria Bonita (a); paredões rochosos no Vale dos Esquilos, bairro Retiro (b).	21
Figura 11	Condomínio de luxo no Vale da Boa Esperança, Petrópolis (a); sítio de pequena produção em Caxambú, também em Petrópolis (b).	22
Figura 12	Núcleo urbano de Corrêas, Petrópolis (a); loteamento irregular no Quitandinha, Petrópolis (b).....	23
Figura 13	Planta de Petrópolis com divisões dos lotes, 1868	25
Figura 14	Ocupação intensa no morro da Glória, em Corrêas, Petrópolis....	26
Figura 15	Ocupação em encosta no bairro Santa Isabel	28
Figura 16	Rio Santo Aleixo, travessia da adutora que abastece Magé (a); rio Itamarati, vista à montante do local de captação de água para abastecimento (b)	29
Figura 17	Sub-habitação dentro do rio na Ponte de Ferro, Cascatinha, Petrópolis	30
Figura 18	Vista do reservatório da barragem sobre o rio Bonfim.....	31

Figura 19	Ocupação do Morro do moinho (a); ocupação recente, na margem da BR-040, trecho entre o Quitandinha e Bingen (b)	33
-----------	--	----

Figura 20	Cascatinha, Petrópolis (a); bairro Roseiral, em Petrópolis (b).....	34
-----------	---	----

CAPÍTULO 2

Figura 1	Moradia desprovida de estrutura executada sem controle técnico, além da precariedade na coleta do esgoto domiciliar e do lixo (a); corte no morro Cremerie (b).....	39
----------	---	----

Figura 2	Localização da APA Petrópolis, no contexto das formações geológicas do Brasil.....	42
----------	--	----

Figura 3	Encosta bastante erodida	43
----------	--------------------------------	----

Figura 4	Cicatriz de escorregamento na BR-040.....	44
----------	---	----

Figura 5	Vista transversal de uma depressão espúria de um MDE (a) e da depressão espúria preenchida (b)	47
----------	--	----

Figura 6	Mapa hidrográfico sobre o modelo de sombreamento analítico..	50
----------	--	----

Figura 7	Carta de classes de declividades	51
----------	--	----

Figura 8	Mapa de acidentes ocorridos sobre o arruamento e a carta de classes de declividades	52
----------	---	----

Figura 9	Mapa de uso e ocupação do solo sobre o modelo de sombreamento analítico.....	53
----------	--	----

Figura 10	Serra Estrela.....	49
-----------	--------------------	----

Figura 11	Campo de matações na estrada Petrópolis-Teresópolis.....	54
-----------	--	----

Figura 12	Cicatriz de deslizamento em depósito de tálus, Vila do rio Itamarati	55
-----------	--	----

Figura 13	Ocupação de terrenos de colúvios e tálus no Alto da Serra (a) e nas encostas da Estrada da Saudade, bairro Quissamã (b). ...	56
-----------	--	----

Figura 14	Cicatrizes de escorregamentos de terra no alto do morro, no bairro Floresta.....	57
-----------	--	----

Figura 15	Mapa de uso e ocupação do solo	58
-----------	--------------------------------------	----

CAPÍTULO 3

Figura 1	Localização da APA Petrópolis, no contexto do Estado do Rio de Janeiro	70
----------	--	----

Figura 2	Área rururbana em Petrópolis, Vale da Boa Esperança.....	71
----------	--	----

Figura 3	Funções do conjunto <i>fuzzy</i>	75
----------	--	----

	Página
Figura 4 Espaço estratégico de decisão OWA.....	85
Figura 5 Posição dos cenários finais no espaço estratégico de decisão ...	86
Figura 6 Cenários finais.....	87
Figura 7 Proposta 1	89
Figura 81 Proposta 2.....	90

BAPTISTA, Alessandra Carreiro, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2005. **Análise da paisagem e identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa na APA Petrópolis – RJ: subsídio ao planejamento urbano.** Orientadora: Maria Lúcia Calijuri. Conselheiros: Eduardo Antônio Gomes Marques e Carlos Ernesto Reynauld Schaefer.

A Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis - APA Petrópolis (RJ) apresenta características potenciais para o desenvolvimento de áreas de risco, pois se posiciona em região de topografia acidentada e mostra-se em processo acelerado e desordenado de urbanização, principalmente, em terras petropolitanas. Este trabalho, implementado em três capítulos, teve como objetivos: (1) a caracterização da expansão urbana; (2) a apresentação de um diagnóstico geral do risco geológico; (3) a proposição de áreas para a expansão urbana que não agravem o problema dos movimentos de massa. Para isso, e tendo como base o Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis, foram apontados os processos geológicos-geotécnicos existentes, suas principais causas e fatores físico-antrópicos condicionantes, e a partir dos dados digitais existentes, as informações foram analisadas e classificadas como fatores ou restrições para o processo denominado Análise Multicritério, através dos quais foram gerados cenários finais para a tomada de decisão. Pretende-se, assim, gerar subsídios para a busca de soluções e futuras intervenções, por parte do poder público municipal.

BAPTISTA, Alessandra Carreiro, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February of 2005. **Landscape analysis as well as identification of vulnerable areas to mass movements in the EPA (Environmental Protected Areas) – Petrópolis Region (Southeast Brazil): Input for further urban planning.** Adviser: Maria Lúcia Calijuri. Committee Members: Eduardo Antônio Gomes Marques and Carlos Ernesto Schaefer.

The Environmental Protection Area - EPA (Southeast Brazil) presents potential characteristics for developing mass movements risk areas as it is located in a region with steep topography which has been suffering an accelerated and disordered occupation. This work has the aim of (1) characterize urban occupation increase (2) present a general evaluation of geological risk and (3) propose areas for future urban occupation with no or minimal mass movements risk. Based upon an Environmental Zoning of Petrópolis EPA the existing geological-geotechnical processes and their main physical and anthropic causes and factors were pointed out. Digital data were analyzed and classified as factors or restrictions through out a so called Multi-Criteria Analysis process, which has generated final “scenes” for hierarquization and decision. The methodology used allows the production of reliable data that can be used by local authorities for future decisions and urban planning.

O uso inadequado e desordenado do solo urbano leva a um crescente processo de degradação das paisagens, trazendo como conseqüências a diminuição da qualidade de vida e a deflagração de acidentes que levam a perdas humanas e materiais. Isso faz com que temas como a expansão urbana, risco geológico e acidentes “naturais” despertem um interesse cada vez maior de especialistas, principalmente entre os profissionais que trabalham junto ao meio físico e antrópico.

Desde os primórdios do processo de urbanização, a estrutura das cidades está impregnada das características comportamentais do sistema geológico, as quais determinam o desempenho do meio físico, seja de modo sutil ou ostensivo. Dessa forma, os assentamentos antigos ajustam-se a fatores geoderivados, como a presença de água, a conformação do relevo, a natureza e a disponibilidade de materiais de construção (CARVALHO e PRANDINI, 1998).

Um dos problemas mais sérios enfrentados pelas cidades brasileiras, principalmente as de porte médio, é a expansão urbana desordenada, agravada pela falta de planejamento. Em 1940, a população urbana representava 30% da população total; em 1970, ela já alcançava 55% e em 2000, passava de 80% (MELLO, 2002).

SILVA (1993) e LIMA (1998) afirmam que o maior problema para as cidades brasileiras não é o seu crescimento em si, mas sim a concentração na distribuição da população. Afirmam, ainda, que as cidades com população entre 100 mil e 500 mil habitantes poderão apresentar grande número de problemas, uma vez que possuem uma maior participação relativa da população brasileira. Assim, recomendam um planejamento adequado, já no presente, para evitar problemas futuros.

Entretanto, observa-se a inadequabilidade das normas à realidade dos terrenos em relação a suas aptidões, marcando a falência das políticas urbanas, uma vez que tais políticas tendem a impor à natureza os projetos padrões, em vez de adequá-los à natureza dos terrenos.

No Brasil, são freqüentes os casos de escorregamentos em regiões urbanizadas, provocando, periodicamente, grandes prejuízos econômicos e sociais.

Tais processos compreendem os movimentos gravitacionais de massa, as diversas formas de erosão, o solapamentos de margens ribeirinhas, o assoreamento de cursos d'água, a inundação e os colapsos e subsidências. A gravidade desses processos é avaliada em função das características do local onde ocorrem, ou seja, em função de variáveis como tipo de solo, pluviosidade, geometria das encostas, presença ou ausência de vegetação, tipos litológicos, comportamento antrópico, entre outros.

Desse modo, o planejamento ou o gerenciamento territorial requer um bom diagnóstico da área de interesse, o qual deve abranger a caracterização fisiográfica, biológica e humana do local ou região, bem como as inter-relações entre esses fatores, possibilitando a compreensão de sua dinâmica, indicando suas limitações e potencialidades, para que se estabeleçam restrições legais adequadas e se subsidiem os planos e projetos de intervenção, sejam estes de cunho preventivo ou corretivo.

Nesse contexto, encontra-se a APA Petrópolis, alvo desse estudo, administrada pelo IBAMA, situada em área de Mata Atlântica, apresentando diversidade e riqueza de recursos naturais relativamente bem conservados nos contrafortes da Serra do Mar, sofrendo, porém, fortes impactos na área compreendida no vale do Piabanha, onde se situa a cidade de Petrópolis.

Este estudo teve como embasamento teórico o documento contendo o Zoneamento Ambiental da Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis – APA Petrópolis. Esse documento foi realizado em duas etapas: a primeira, conforme proposta aprovada pelo IBAMA, foi realizada em 1998 com recursos do Orçamento da União, em parceria com o IBAMA, através do seu Comitê Gestor. Nessa etapa, foram efetuados os estudos básicos de caracterização e diagnóstico dos meios físico, biótico, sócio-econômico e cultural. Na segunda etapa, concluída em 2001, a análise dos dados e sua integração permitiram a elaboração de mapas básicos (solos, geologia, geomorfologia, uso do solo, dentre outros), culminando na formação do banco de dados georreferenciados elaborado pelo Instituto de Ecologia e Tecnologia do Meio Ambiente – ECOTEMA e a Prefeitura Municipal de Petrópolis, com recursos do Fundo Nacional do Meio Ambiente – FNMA.

O presente trabalho teve por objetivo detectar e diagnosticar os fatores de risco nos movimentos de massa, confrontando declividade e unidades geotécnicas, a partir de uma base de dados georreferenciada e integrada em um SIG, permitindo, assim, a abstração de indicadores potenciais para tais fenômenos e a caracterização de possibilidades de um melhor ordenamento do uso do solo urbano, com o mapeamento de áreas adequadas à expansão urbana.

Para tanto, o estudo está estruturado em três capítulos: o primeiro utilizou-se de técnicas de sensoriamento remoto para identificar e caracterizar a evolução urbana, a partir da classificação de imagens orbitais, em épocas distintas. O segundo, a partir dos mapas básicos e da geração de novos temas, avaliou os processos da dinâmica superficial na APA Petrópolis, diagnosticando os riscos ocasionados por estes, analisando fatores físicos e antrópicos relevantes. E, para finalizar, o terceiro capítulo contemplou o mapeamento de áreas adequadas à expansão urbana, utilizando a avaliação multicritério como método de suporte à tomada de decisão.

CARACTERIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA NA APA PETRÓPOLIS

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

O desenho das cidades, bem como a formação da paisagem urbana, é decorrente, dentre outros fatores, da interação das atividades sociais e o meio ambiente, podendo-se considerar a forma urbana como o produto das ações do homem sobre o meio natural, tornando-se necessário estabelecer, na configuração da paisagem urbana, uma relação harmônica entre esse meio e os objetos construídos.

A maneira como o homem atua sobre o território e o torna um espaço humanizado, e conseqüentemente define a paisagem, é proveniente de uma série de fatores. A forma do espaço natural, a princípio, é o fator determinante na situação das aglomerações sobre a superfície terrestre. Condicionantes como o solo, o clima, a formação geológica e a vegetação afetam diretamente a escolha do local para se iniciar um assentamento. Desse modo, entende-se que as características do espaço natural constituem um dos primeiros reguladores a fornecer as diretrizes da configuração da paisagem urbana (MELLO, 2002).

Segundo SANTOS et al. (1998), os processos de urbanização das cidades há muito vêm ocorrendo de forma desordenada, à margem de um planejamento criterioso e que deve considerar, além das necessidades vitais do homem, a fragilidade e as características do ambiente no qual ele se instala. Planejar a ocupação e o uso do solo sem conhecer as suas limitações e potencialidades pode significar, na melhor das hipóteses, a imputação de prejuízos financeiros aos empreendedores, sejam eles públicos ou privados.

O município de Petrópolis, principal constituinte da APA Petrópolis, pode ser citado como exemplo, pois teve seu crescimento de forma espontânea, sem planejamento mais efetivo, mesmo possuindo diretrizes prévias, criando situações de confronto entre o suporte natural e os objetos construídos.

A proteção do meio ambiente constitui-se em uma prioridade, após séculos de utilização irracional dos recursos naturais e a crescente especulação imobiliária. Políticas voltadas para a proteção do meio ambiente são desenvolvidas pelas autoridades, mas mostram-se insuficientes, levando ao comprometimento da distribuição da vegetação dentro das cidades, bem como a ocupação de áreas, ambientalmente frágeis como as áreas de mananciais e encostas.

Nesse contexto, as Unidades de Conservação são determinadas áreas do território nacional destinadas à proteção de seus atributos naturais. A Área de Proteção Ambiental - APA constitui-se em uma modalidade de Unidade de Conservação. Indicada para os municípios, as APA's não requerem que a área seja de domínio público, o que torna a sua implantação facilitada com a participação das comunidades na gestão do meio ambiente local.

As APA's não inviabilizam a propriedade privada e suas diferentes formas de utilização econômica sustentável. Ao contrário, as atividades econômicas sustentáveis praticadas nas propriedades inseridas nas APA's podem ter um tratamento empresarial diferenciado, colocando o meio ambiente em perspectiva estratégica.

Tais áreas contam com prioridade para obtenção de créditos e financiamentos oficiais e reconhecimento pelas condutas conservacionistas praticadas em seu interior.

1.2. A APA Petrópolis

Petrópolis é uma das quatro glebas disjuntas que constituem a APA Petrópolis, criada em 1982, pelo Decreto Federal 87.561, de 13/09/82 e oficializada em 1992. É a primeira APA federal criada no país. Foi instituída com o intuito de ampliar o conhecimento e facilitar o entendimento sobre as origens da ocupação das terras envolvidas pela APA, notadamente as terras petropolitanas, e sua influência nas áreas subjacentes a sua periferia, bem como sua evolução até os dias atuais e levando-se em consideração as terras limites com os municípios de Duque de Caxias, Magé e Guapimirim que têm a sua porção dentro da Unidade de Conservação (Figura 1), FNMA/INSTITUTO ECOTEMA (2001).



Fonte: APA Petrópolis, 2001

Figura 1 – A APA Petrópolis.

A APA Petrópolis tem na sua posição geográfica, em torno da latitude 22° 30'S, na influência marítima e nas correntes de circulação atmosférica perturbadas, além dos contrastes morfológicos de seu relevo, os elementos condicionantes de suas características climáticas.

As precipitações mais elevadas são registradas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, coincidindo com a chegada das frentes frias e a incidência do maior índice de radiação.

A precipitação é maior na vertente oriental e no início do reverso da Serra, decrescendo para o norte da área. Não chega a ocorrer déficit hídrico acentuado, mesmo verificando-se uma estação mais seca nos meses de inverno.

São freqüentes as chuvas intensas de verão, com grande precipitação por unidade de tempo, que são responsáveis por deslizamentos, quase sempre com vítimas quando ocorrem na área urbana. Isto devido às frentes frias que penetram rapidamente encontrando alto índice de umidade e condições de circulação, que produzem

violentos aguaceiros ou permanecem estacionárias, saturando o solo com a precipitação contínua, provocando tais deslizamentos (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

A APA Petrópolis está inserida na Região Fitoecológica da Floresta Ombrófila Densa, conhecida nesta faixa litorânea como Mata Atlântica, apresentando fitofisionomias desde florestal até campestre (graminóide), ocorrendo em paisagens essencialmente naturais (floresta e vegetação rupestre) ou em áreas fortemente antropizadas (urbanas), como ilustra a Figura 2.



Fonte: FNMA/ECOTEMA, 2001

Figura 2 – Relevo de morros e montanhas, vistos do alto da Torre de TV.

A Floresta Ombrófila Densa, com suas formações Submontana, Montana e Alto Montana, é a cobertura vegetal clímax da região, em estágios inicial, intermediário e avançado de sucessão secundária nas áreas antropizadas. Nos solos rasos e/ou junto aos afloramentos rochosos, a vegetação graminio-herbácea, arbustiva em alguns trechos, é identificada como vegetação rupestre (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

Em função da Serra dos Órgãos, a APA Petrópolis tem sua hidrografia dividida em dois sistemas principais de drenagem: o primeiro, situado na encosta atlântica, é formado por cursos d'água pequenos e jovens, que nascem nos locais mais altos da Serra dos Órgãos e correm para a Baía de Guanabara. O segundo sistema localiza-se na encosta interna da Serra dos Órgãos e é constituído por rios que atravessavam

grande extensão da APA, correndo para o rio Paraíba do Sul. Na vertente interna encontram-se os principais rios, com destaque para o principal deles, o Piabanha (Figura 3).

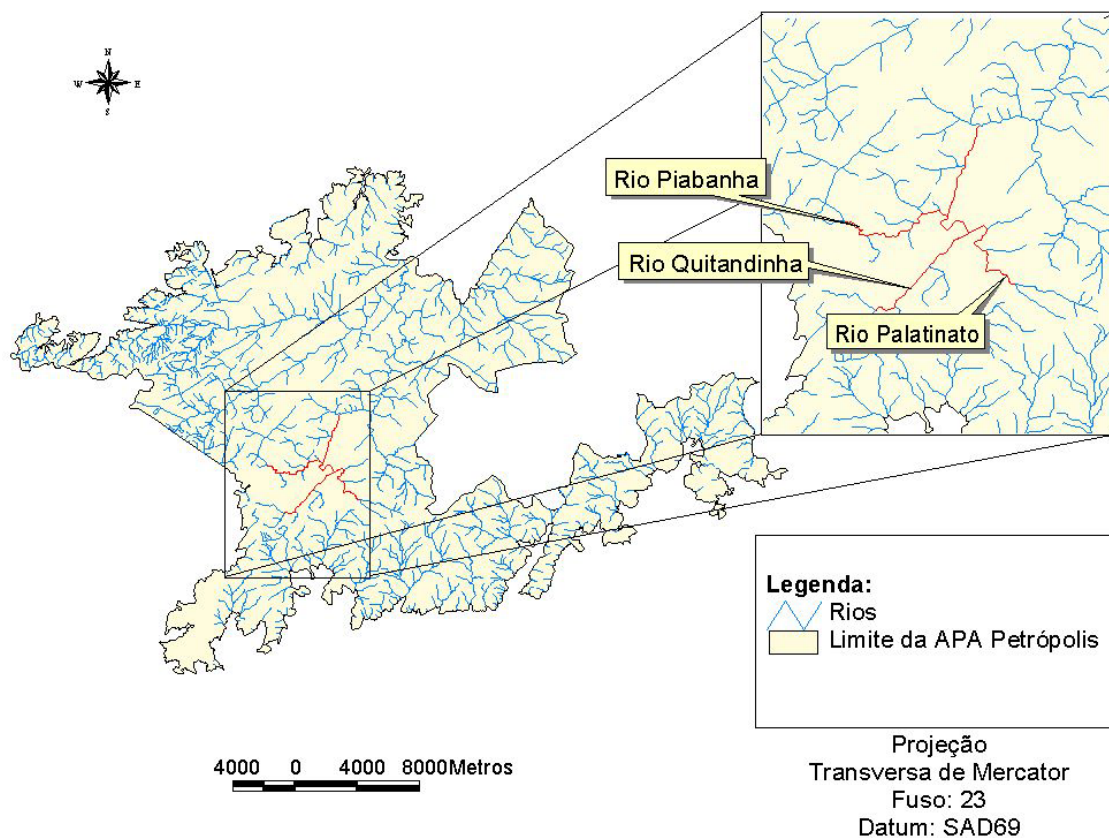


Figura 3 – Principais rios da APA Petrópolis: Rio Piabanha, Rio Quitandinha e Rio Palatinato.

Quanto às áreas antropizadas, grande parte da APA é ocupada por núcleos urbanos e suburbanos, com áreas em expansão urbana, com reflorestamentos, pastagens e lavouras, espaços com múltiplas atividades ao longo das rodovias, sítios em geral e residências em condomínios de alto padrão construtivo.

São significativos os afloramentos rochosos por toda a área, principalmente ao norte, ora totalmente desnudos, ora cobertos por musgos, líquens e bromélias.

3.1. O crescimento da população e a expansão urbana

A história da ocupação da APA Petrópolis confunde-se com a própria história de Petrópolis, distinguindo-se, assim, três fases distintas de evolução: a primeira referente ao período de 1725 a 1843, ou Território Pré-Colonial Petropolitano, no qual ocorreu o condicionamento e a ocupação das futuras terras petropolitanas, a segunda, referente ao período de 1843 a 1857, ou Território Colonial de Petrópolis, no decorrer do qual se verificou a implantação e evolução da Imperial Colônia de Petrópolis; a terceira, de 1857 em diante, ou Território Municipal de Petrópolis, quando se consolida a formação e ocupação urbana, a partir do Plano Koeler, e inicia-se a emancipação política do território petropolitano (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

A decisão da Coroa Portuguesa, tomada em 1698, para a abertura do Caminho Novo, ligando as Minas de Ouro de Minas Gerais à Baía de Guanabara, fez com que o homem branco penetrasse, conquistasse e ocupasse o território.

Dentro desta conjuntura é que o engenheiro Major Julio Frederico Koeler concebeu a idéia de criação de uma colônia agrícola-industrial, estabelecendo-a no eixo rodoviário que estava sendo modernizado para integração da Província de Minas Gerais à Corte, projeto acolhido com simpatia pelo então Imperador D. Pedro II (Figura 4).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 4 – Divisões de bairros do Plano Koeler, Vila Imperial de Petrópolis, 1846, com o arruamento atual.

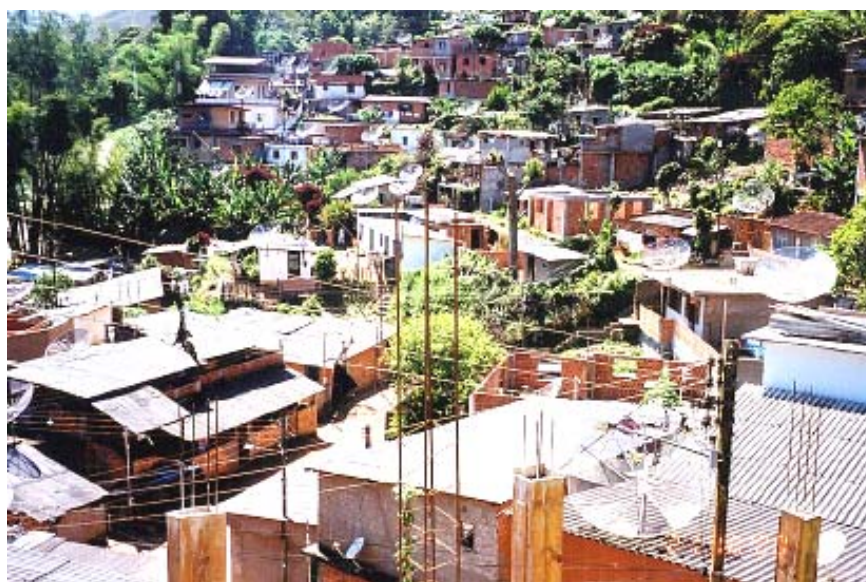
A partir de 1845, a colônia recebeu o primeiro contingente de imigrantes alemães, o que o estimulou a ampliar a base territorial do projeto que teve início com a doação da Fazenda Quitandinha a D. Pedro II, em 1846, cuja integração constituiu o embrião da Imperial Fazenda de Petrópolis.

Dez anos após, os movimentos de emancipação político-administrativos têm êxito e Petrópolis é elevada à categoria de cidade, pela Lei Provincial N° 961, de 29 de setembro de 1857, instalando-se o Município em 17 de junho de 1859.

No período compreendido entre 1845 e 1950 houve um intenso crescimento populacional proveniente de pessoas originárias de outros países e de outras cidades do Estado do Rio de Janeiro e do Estado de Minas Gerais.

A atividade fabril estimulada a partir de meados do séc. XIX com o fracasso da colônia agrícola e com as restrições à atividade madeireira, além do apoio da Coroa Imperial, transformaram Petrópolis, que viu sua população crescer e ocupar novos espaços.

Segundo Gonçalves e Guerra (2001), foi a partir da década de 60 até o início de década de 80 que o crescimento populacional tornou-se expressivo. Nesse período, foram verificadas as maiores taxas de crescimento populacional e identificados os maiores problemas ambientais, decorrentes do crescimento acelerado e o empobrecimento da população em função da crise que afetou as indústrias locais, mais acentuadamente na década de 70. A população de baixo poder aquisitivo passou a ocupar as encostas que até então estavam preservadas por sua vegetação e devido às limitações impostas pelo relevo (Figura 5).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 5 – Morro da Glória, Petrópolis.

Considerando-se que já em 1991, 71% de toda a população da APA Petrópolis estava contida no principal núcleo urbano do Município de Petrópolis, o Distrito Sede, os dados históricos da expansão urbana levam-nos à constatação de um crescimento desordenado em direção às áreas periféricas do principal núcleo urbano e, também, aos demais Distritos de Petrópolis. Esse processo também foi observado nos demais municípios.

A partir de meados da década de 80, a população passou a concentrar-se nos 1o e 2o distritos, Petrópolis e Cascatinha respectivamente. Entretanto, a expansão populacional já se fazia presente nos 3o e 4o distritos (Itaipava e Pedro do Rio) com a transformação da região, até então caracterizada por sítios e moradias de lazer, em áreas mais intensamente ocupadas por condomínios e residências de uma população oriunda dos bairros de classe média da cidade do Rio de Janeiro.

A cidade de Petrópolis e os núcleos urbanos ocupados pelos Municípios de Duque de Caxias, Magé e Guapimirim, envolvidos pela APA, não fogem à regra do rápido crescimento populacional observado na maioria das cidades dos países em desenvolvimento e, principalmente, no Brasil, onde a taxa de urbanização atinge hoje cerca de 80%. Verifica-se que esse crescimento não foi acompanhado pela expansão e melhoria das infra-estruturas, que contribuem decisivamente para a qualidade de vida, e nem foi objeto de políticas públicas que evitassem os impactos negativos sobre os recursos naturais, que vêm tornando-se escassos diante da forma desordenada de sua expansão sobre a periferia (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

As áreas mais desvalorizadas ou de preservação permanente, como topos de morros e margens de rios, passaram a ser ocupadas por famílias operárias, que não tinham onde morar ou não foram contempladas nem pelos grandes empreendedores imobiliários nem pelo poder público, com moradias próprias e adequadas. Essas famílias foram atraídas pela construção civil, em decorrência de um “boom” do mercado imobiliário na região.

Os demais municípios que compõem a APA apresentaram uma dinâmica semelhante, principalmente Guapimirim, com acentuado crescimento populacional e ocupação de áreas verdes até então preservadas (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A grande variabilidade espacial das características físicas contidas na APA Petrópolis coloca em evidência o uso de dados de sensoriamento remoto como provedor de uma base de dados através de imagens de satélites.

A expansão urbana foi caracterizada por meio da classificação de imagens orbitais, de onde foram extraídas informações para o reconhecimento de padrões e objetos homogêneos.

Para este fim, foram utilizadas três imagens orbitais (órbita-ponto 217,076 – sistema Landsat e órbita-ponto 151,125 – do programa sino-brasileiro:CBERS). A primeira, do Landsat 5-TM, com data de 05 de agosto de 1985 e a segunda, do Landsat 7-ETM+, com data de 06 de agosto de 2001 e a terceira do CBERS, 31 de agosto de 2004. Todas as imagens foram trabalhadas no sistema de tratamento de imagens do software GIS Idrisi, Version Kilimanjaro, maio de 2003, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Este software foi escolhido por ser didático, por possuir uma interface gráfica de fácil entendimento e pelo custo relativamente baixo.

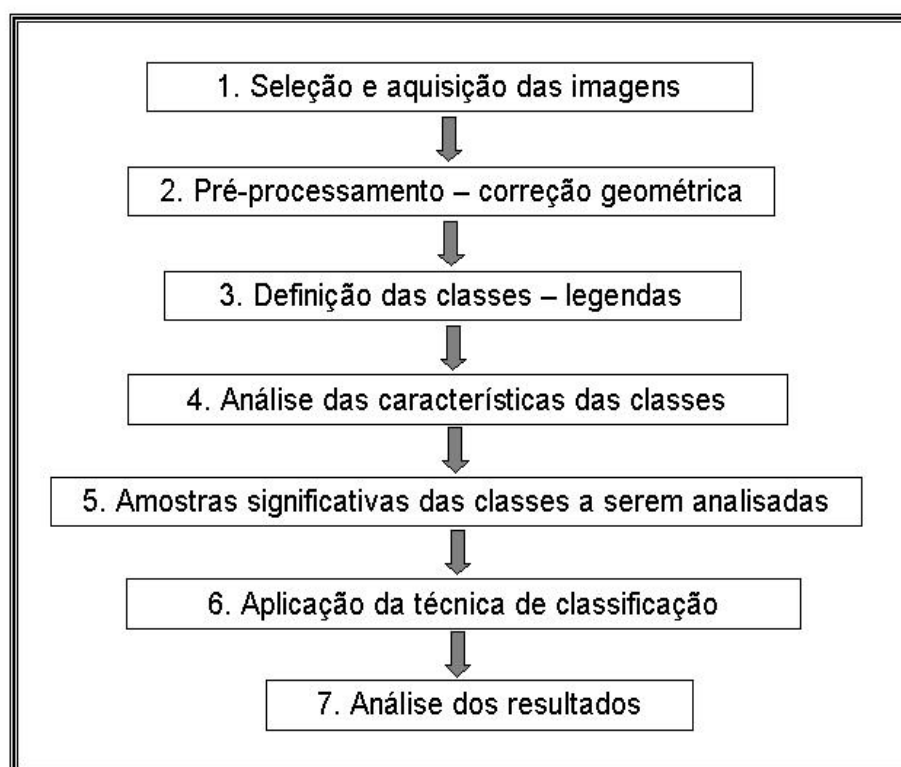
O software Spring versão 4.1, Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, Copyright © 2004 foi utilizado para o georreferenciamento da imagem CBERS, tendo como base o mapa da malha viária cedido pelo FNMA/ECOTEMA, na escala 1:25.000.

A interpretação visual e a extração das amostras de treinamento foram feitas a partir da composição das bandas 3, 4 e 5. Apenas estas três bandas foram selecionadas para o processamento das imagens, pois, segundo Ribeiro (2001), as classes de uso da terra são melhor distinguidas por tais bandas, uma vez que possuem um menor grau de correlação, diminuindo a redundância entre os dados. Também foi utilizado o Mapa de Vegetação e Uso Atual das Terras, cedido pelo FNMA/ECOTEMA, na escala 1:25.000. Este mapa serviu de referência para a coleta das amostras de treinamento.

O software ArcGIS 8.1, © Environmental Systems Research Institute, Inc foi utilizado para execução do layout final das imagens raster para ilustração e posterior impressão.

2.1. Desenvolvimento da metodologia

A metodologia sugerida segue o fluxograma apresentado no Quadro1.



2.1.1. Seleção e aquisição das imagens

As imagens utilizadas estavam disponíveis no formato Geotif, para os anos 1985, 1988, 2000, 2001 e 2004. As imagens referentes aos anos 1985, 2001 e 2004 foram preferidas, em razão da existência de menor porcentagem de nuvens.

2.1.2. Pré-processamento – correção geométrica

Segundo o IBGE (2001), a correção geométrica produz o georreferenciamento da imagem, ou seja, estabelece uma relação geométrica entre os pixels da imagem e as coordenadas cartográficas da área correspondente. Através da correção geométrica a imagem adquire propriedades de um mapa, com todos os pixels referenciados a um sistema de Projeção Cartográfica.

Para este trabalho, não houve a necessidade de se proceder a uma correção geométrica rigorosa das imagens Landsat, visto que tais imagens já possuíam um pré-processamento, com a correção geométrica da imagem baseada nos parâmetros da órbita do satélite, além de já estarem georreferenciadas.

A imagem CBERS foi georreferenciada no software Spring, tendo a malha viária como base para os pontos de controle. Utilizou-se o módulo de registro em tela, que consistiu em uma transformação geométrica que relacionou as coordenadas de imagem (linha, coluna) com as coordenadas de um sistema de referência. Neste trabalho, o sistema de referência utilizado foi o sistema de coordenadas planas da projeção UTM/SAD 69. O registro apenas usou transformações geométricas simples para estabelecer um mapeamento entre as coordenadas de imagem e as coordenadas geográficas.

2.1.3. Definição das classes – legendas

Com base nas respostas espectrais, nas características texturais dos elementos contidos nas imagens e principalmente na contextualização da mancha urbana, procurou-se definir as classes de uso do solo e cobertura natural da terra apoiando-se nas classes possíveis de serem observadas e obtidas através de imagens orbitais.

2.1.4. Análise das características das classes

Definidas as classes de interesse, passou-se à observação das características espectrais destas classes e à aplicação das técnicas de classificação, considerando duas categorias, as classes bem definidas espectralmente e as classes extraídas por interpretação visual.

2.1.5. Amostras significativas das classes a serem analisadas

A escolha das amostras é uma etapa importante do processo que pode comprometer os resultados da classificação.

As amostras foram retiradas pela interpretação visual das imagens, auxiliadas pelo mapa de vegetação e uso das terras, do ano de 2000, escala 1:25000, disponível em formato digital.

2.1.6. Aplicação da técnica de classificação

Para a classificação das classes, utilizou-se a Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança. Foram retiradas as amostras de treinamento correspondentes às classes de interesse e utilizando-se o algoritmo da Máxima Verossimilhança obteve-se a classificação de todas as classes.

As assinaturas espectrais utilizadas na classificação foram: formações florestais, pastagem, afloramento rochoso, agricultura, área urbana, solo exposto e cobertura de nuvens.

2.2. Classificação Supervisionada – Algoritmo da Máxima Verossimilhança

O processo de classificação digital tem por finalidade associar números digitais (DN) aos pixels de uma imagem com códigos de temas específicos. O resultado desse processo é apresentado por meio de classes espectrais, ou seja, áreas que possuem características espectrais semelhantes. O processo de classificação digital transforma níveis de cinza de diversas bandas espectrais em um número reduzido de classes representadas em uma única imagem.

Na classificação supervisionada, deve-se conhecer previamente a área de estudo e definir as amostras de treinamento, que representarão o comportamento médio de cada classe. Essas amostras foram utilizadas como padrões de variabilidade espacial no processo de classificação.

O método da Máxima Verossimilhança (Moreira, 2001) é um dos mais aplicados para a classificação supervisionada no tratamento de dados de satélites. A probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe é definida a partir do contorno de cada classe. Esses contornos apresentam um ajuste baseado em uma distribuição normal ou Gaussiana das amostras de treinamento. Esse método representa um avanço em relação ao método da distância Euclidiana.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise dos resultados

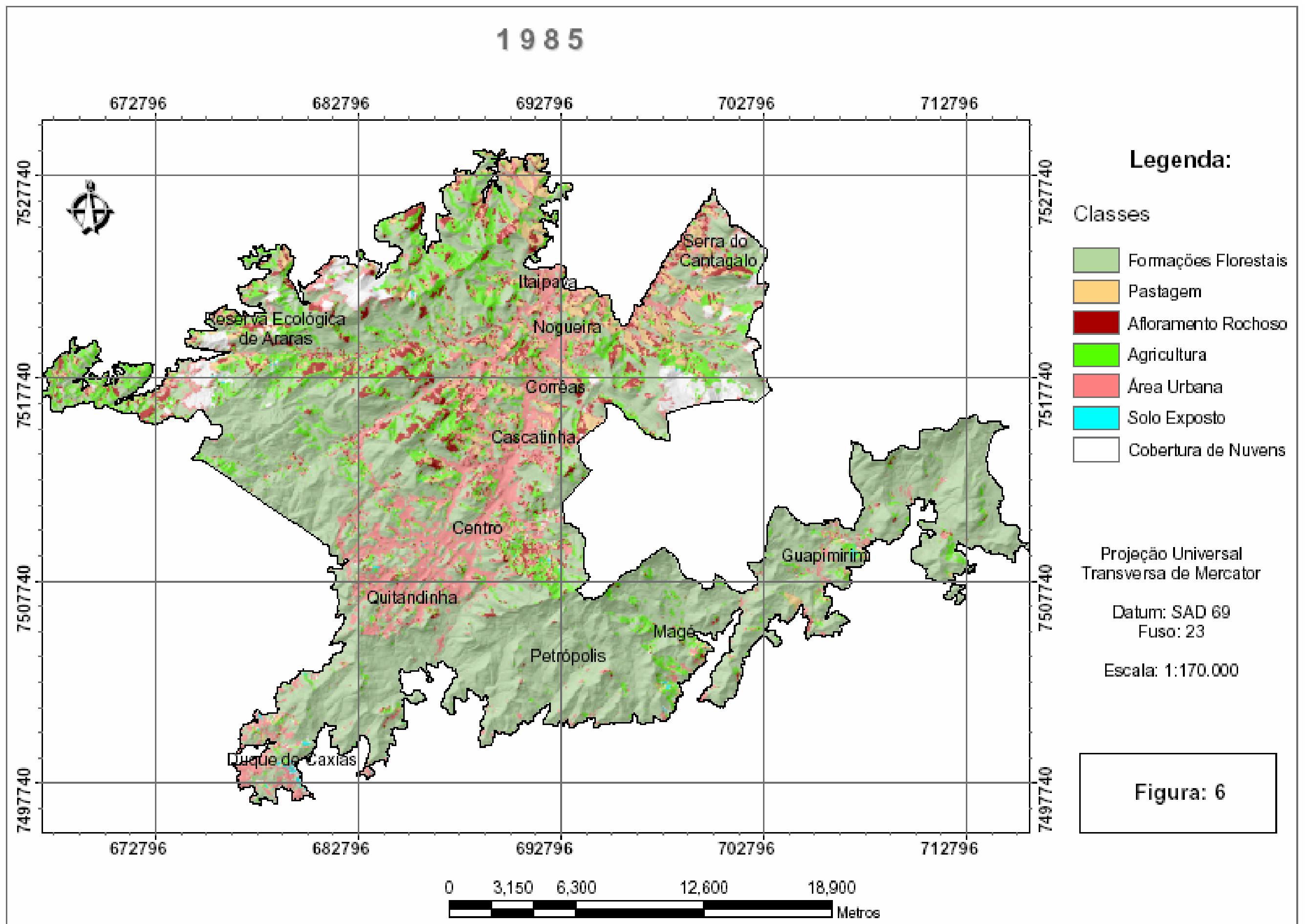
Foram realizadas três classificações supervisionadas pelo algoritmo da Máxima Verossimilhança, uma para a imagem de 05/08/1985, outra para a imagem 06/08/2001 e para a imagem 31/08/2004, como mostram as Figuras 6, 7 e 8.

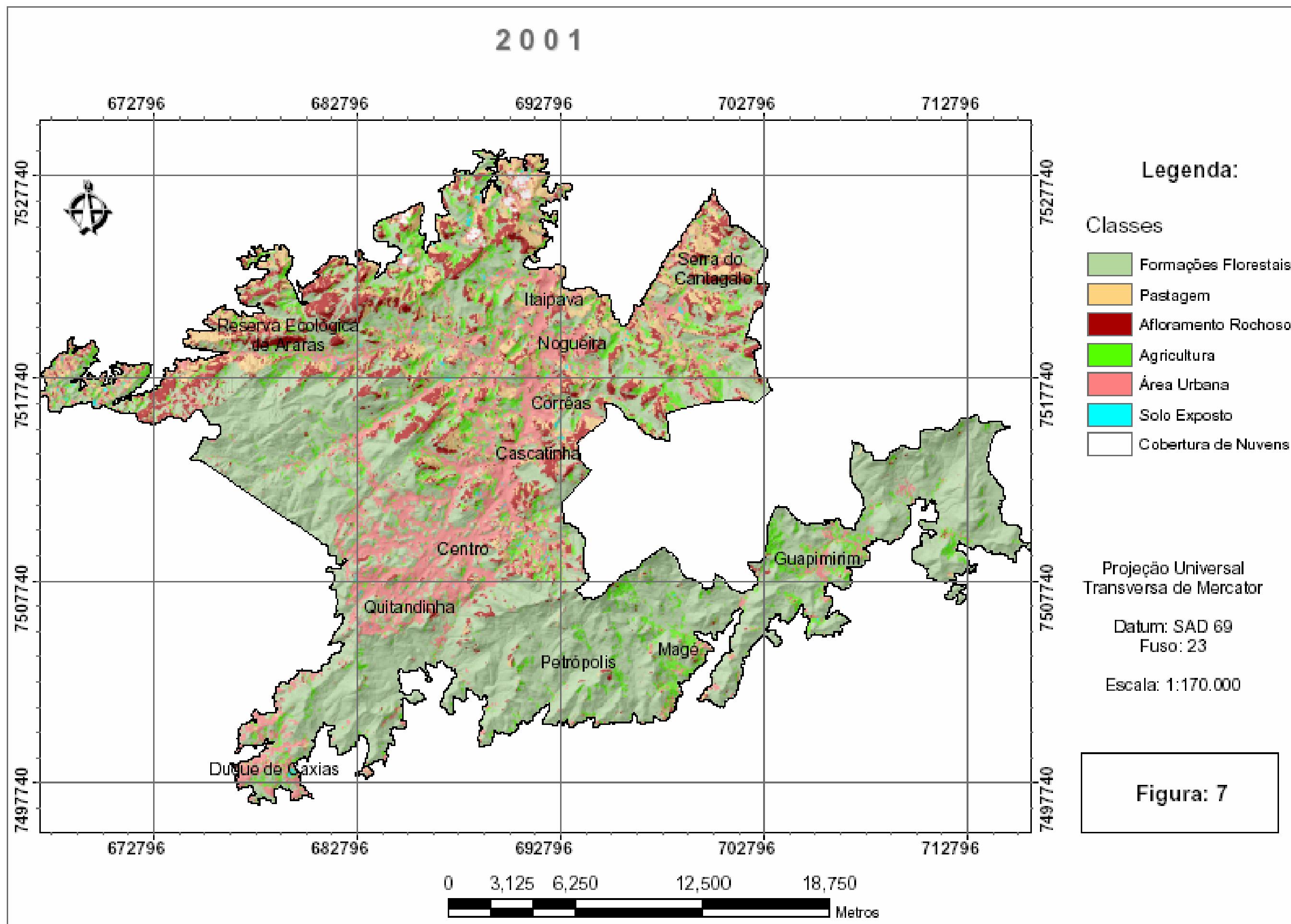
O levantamento do uso da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração no ambiente. A expressão "uso do solo" pode ser entendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem.

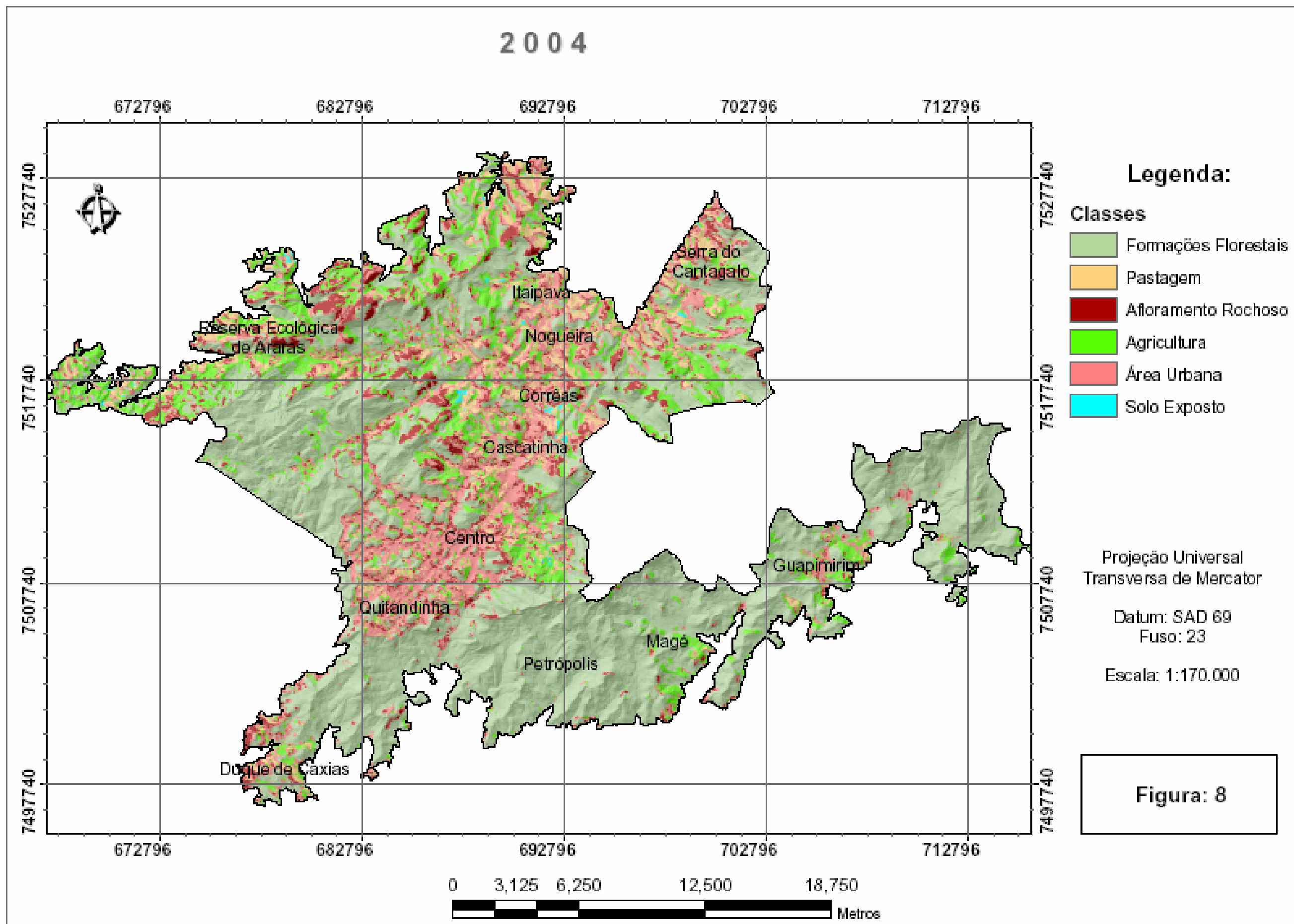
No período entre 1985 e 2004, o processo de urbanização foi acompanhado de profundas alterações no uso e ocupação do solo, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Uso da terra na APA Petrópolis, para os anos de 1985, 2001 e 2004.

CLASSES	ÁREA EM km ²		
	1985	2001	2004
Mata	346,75	306,60	320,86
Pastagem	33,38	48,16	37,80
Afloramento Rochoso	41,21	56,00	44,04
Agricultura	78,57	78,06	89,29
Área Urbana	68,85	97,75	100,91
Solo Exposto	2,23	5,26	1,90
Nuvem	23,81	2,97	-
TOTAL	594,80	594,80	594,80



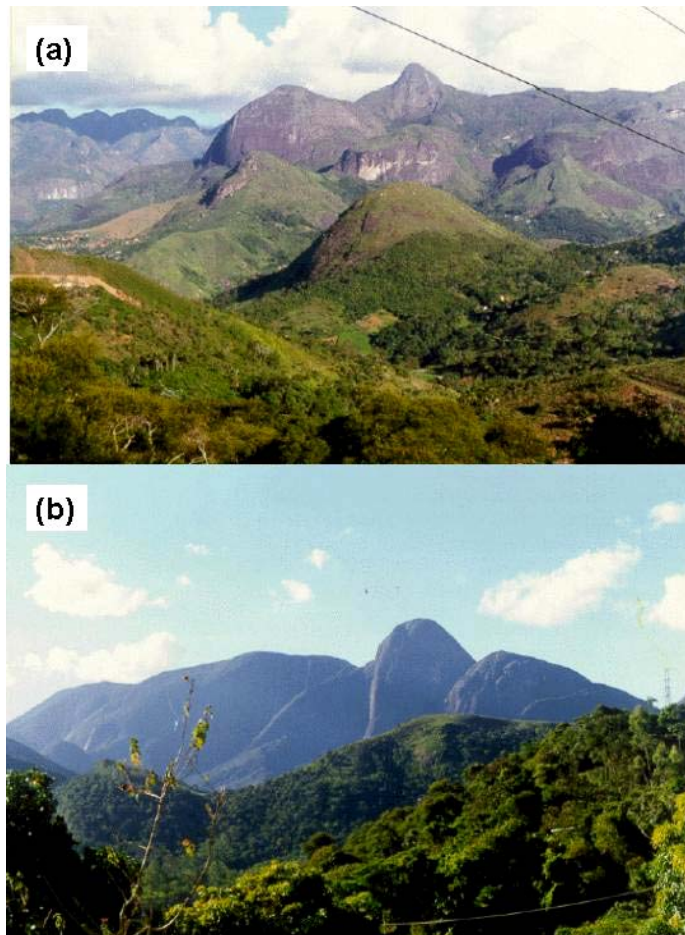




Mais de 50% da área de proteção ambiental se encontra ainda com cobertura vegetal natural, composta em sua maioria por extensos fragmentos florestais, sendo a classe “Formações Florestais” composta, principalmente, pelas áreas da Reserva Ecológica da Alcobaça, Serra da Maria Comprida, pelo trecho da Fazenda Inglesa-Rocio e morrotes no perímetro urbano municipal, em Petrópolis; pelo Parque Municipal da Taquara no Município de Duque de Caxias e pelo trecho ao longo do córrego Itacolomi, em Magé. A área protegida é coberta por diferentes tipos de vegetação que variam das densas florestas à vegetação rasteira.

A floresta ombrófila densa é a comunidade clímax da região, integrante da Mata Atlântica, tem sua maior expressão nas serras onde nascem os rios e córregos que vertem para a Baixada ou ainda as florestas das cabeceiras do córrego do Meio e o rio da Cidade que deságuam na bacia do rio Paraíba do Sul. Diversas manchas de florestas, de vários tamanhos, também estão dispersos por toda a APA. Em princípio, a distinção desses tipos diferentes não foi considerada essencial, e a vegetação foi então generalizada em uma classe apenas.

A Figura 9 ilustra algumas formações vegetais: a região do vale do rio Piabanha, Carangola. O Pico do Alcobaça se sobressai na foto, ao fundo, montanhas do Parque da Serra dos Órgãos (a); picos e penedos da Serra da Maria Comprida (b).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 9 – Fotossequência de paisagens da APA Petrópolis.

A classe “Pastagem” engloba todas as feições diferentes das demais classificadas e não somente áreas típicas de pastagens, como são as correspondentes à cobertura vegetal graminóide e gramíneo-herbácea, de origem antrópica, utilizada, principalmente, para o criatório de animais bovinos e eqüinos.

Os afloramentos rochosos (Figura 10) são superfícies de rochas expostas apresentando, por vezes, pequenas áreas recobertas por fina camada de materiais decompostos (solos incipientes), a vegetação é gramíneo-herbácea e arbustiva em alguns trechos.

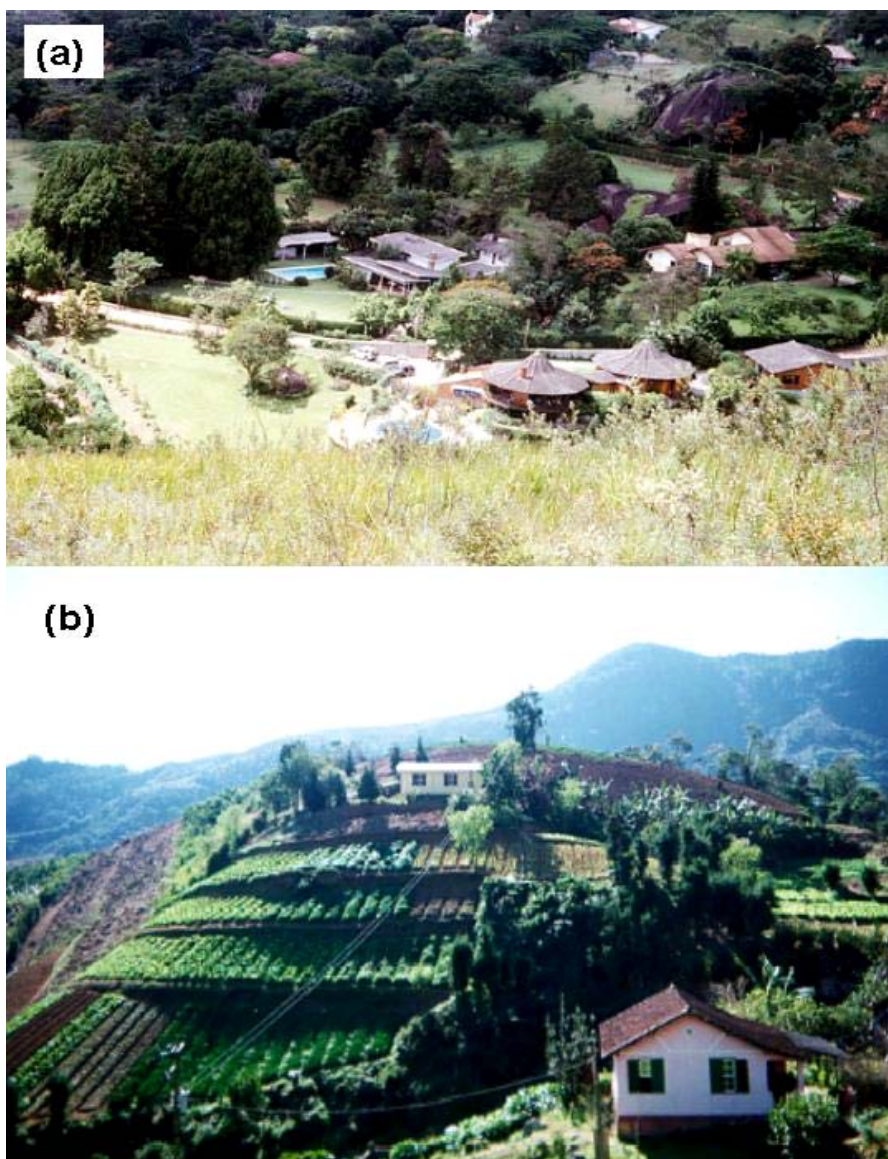


Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 10 – Área de depósito de colúvio e tálus no sopé do Pico da Maria Bonita (a); paredões rochosos no Vale dos Esquilos, bairro Retiro (b).

Afastados dos principais centros urbanos, estão os sítios de pequena produção, com agricultura de subsistência e criação de pequenos animais, cuja produção excedente é comercializada na vizinhança e os sítios de lazer ou condomínios de luxo, onde a distância não compromete o nível de qualidade de vida, o que vem a ser compensado pela tranquilidade e pela natureza ainda preservada (Figura 11).

A imagem CBERS possui padrões espectrais (cores e textura) diferentes das imagens Landsat, além de possuir resolução de 20m, contrastando com a resolução de 30m das imagens Landsat. Apesar das diferenças entre as áreas encontradas para as classes na imagem CBERS, observou-se uma coerência na classe “Área Urbana”, que é a classe de maior relevância para este estudo.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 11 – Condomínio de luxo no Vale da Boa Esperança, Petrópolis (a); sítio de pequena produção em Caxambú, também em Petrópolis (b).

A classe “Cobertura de Nuvens” foi criada para que não houvesse superposição entre esta e “Solo Exposto”, encontrado, principalmente, em área urbana.

A mancha urbana, representativa do crescimento da ocupação, apresenta em Petrópolis características bastante significativas das transformações antrópicas pelas quais a cidade passou entre os anos de 1985 e 2004 (Figura 12).

A ocupação pode ser, também, caracterizada por uma ocupação desordenada, mas em áreas não adensadas, seja por invasões ou por ocupação “orientada”,

onde foi feito um parcelamento e distribuição de lotes sem critérios urbanísticos ou dentro das regulamentações municipais, com o agravante ainda de serem em áreas protegidas por lei.

Nos Distritos petropolitanos envolvidos pela APA e nos núcleos urbanos dos demais municípios, a ocupação apresenta um nível acentuado de habitações com características de sub-habitação e favelização, em áreas até então valorizadas pelo mercado imobiliário.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 12 – Núcleo urbano de Corrêas, Petrópolis (a); loteamento irregular no Quitandinha, Petrópolis (b).

3.2. Avaliação dos impactos ambientais causados pelo crescimento urbano

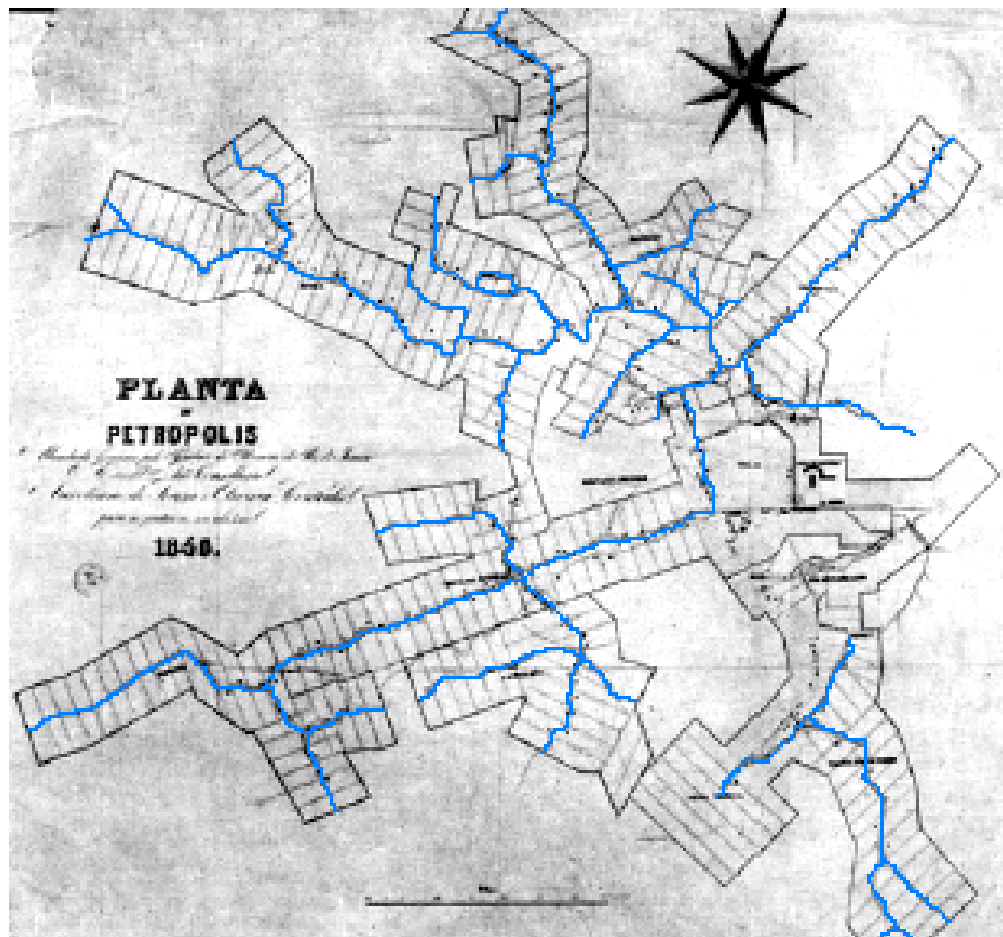
Como este capítulo enfoca a construção da paisagem pela expansão urbana, procurou-se listar e analisar as atividades que têm como consequência impactos negativos à paisagem local:

- ocupação das encostas e topos de morro;
- cortes e aterros que comprometem a estabilidade do solo;
- ocupação ao longo dos recursos hídricos;
- remoção da cobertura vegetal.

3.2.1. Ocupação das encostas e topos de morros

A região onde se encontra situada a área urbana da APA Petrópolis tem sua topografia formada por relevo acidentado com grandes desníveis altimétricos, tornando-se um obstáculo para o crescimento da cidade.

Pode-se considerar que até por volta de 1900 eram poucos os recursos que o homem possuía para alterar o meio físico. O próprio material utilizado nas edificações não permitia grandes transformações no território. As edificações eram produzidas utilizando-se materiais encontrados na própria região. Por isso, eram escolhidos locais onde fosse mais fácil executar as construções, ou seja, em áreas planas, como ilustra a planta de Petrópolis de 1868 (Figura 13), os lotes seguiam-se ao longo dos rios e tinham mais profundidade que largura (55mX110m).

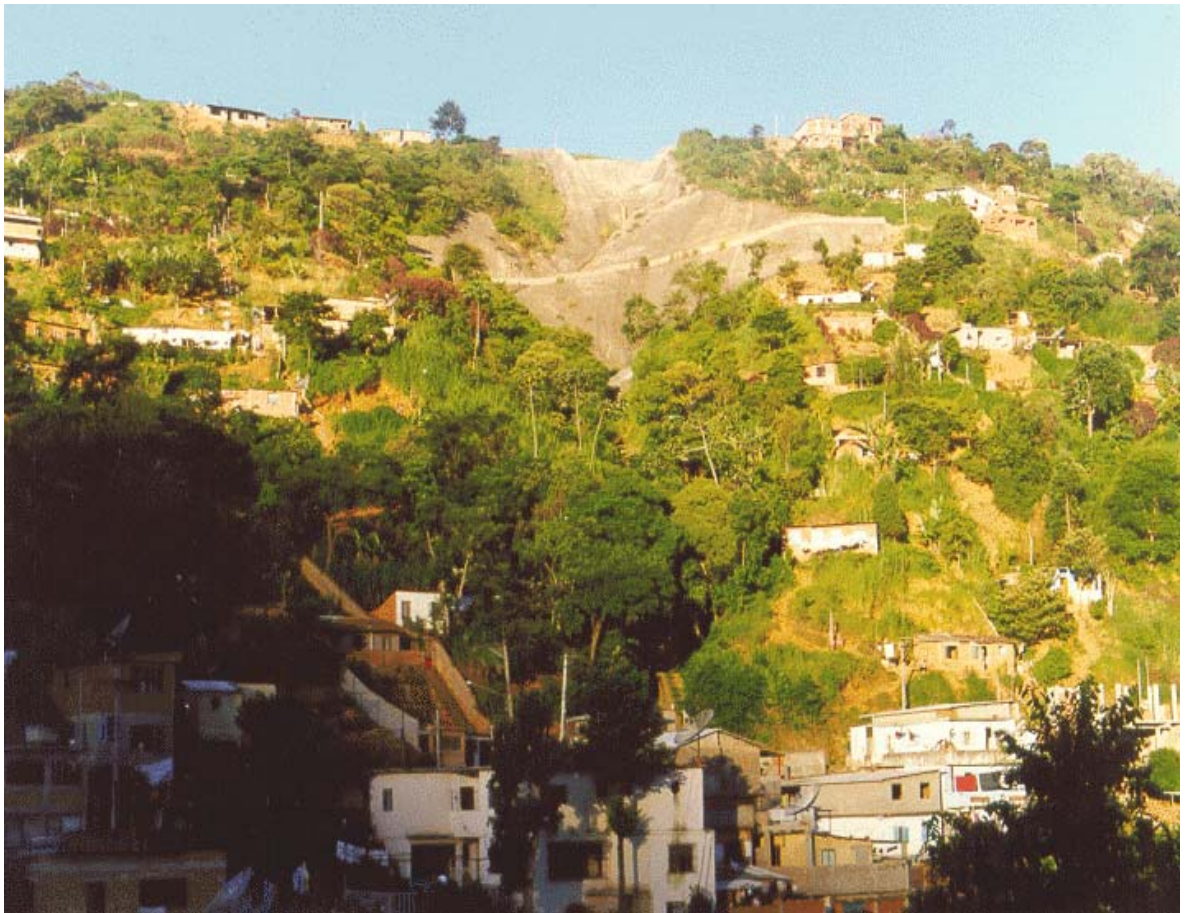


Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 13 – Planta de Petrópolis com divisões dos lotes, 1868.

Observa-se que até 1960 a existência de vales que possibilitassem a expansão dos núcleos urbanos, principalmente em Petrópolis, evitou a ocupação das encostas dos morros, não havendo, portanto, impactos negativos diretos sobre a topografia local.

A partir de 1970, a cidade de Petrópolis entrou num processo de urbanização acelerado, principalmente depois da construção da rodovia Rio-Juiz de Fora (atual BR 040) em meados de 1970 e mesmo possuindo códigos e decretos que regulamentassem a forma de ocupação, essa se deu de forma desordenada. Como os fundos dos vales já se encontravam urbanizados, passou-se a ocupar as encostas desses vales, como ilustra a Figura 14, onde se observa uma antiga voçoroca tratada com concreto projetado e escadas de drenagem.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 14 – Ocupação intensa no morro da Glória, em Corrêas, Petrópolis.

3.2.2. Cortes e aterros que comprometem a estabilidade do solo

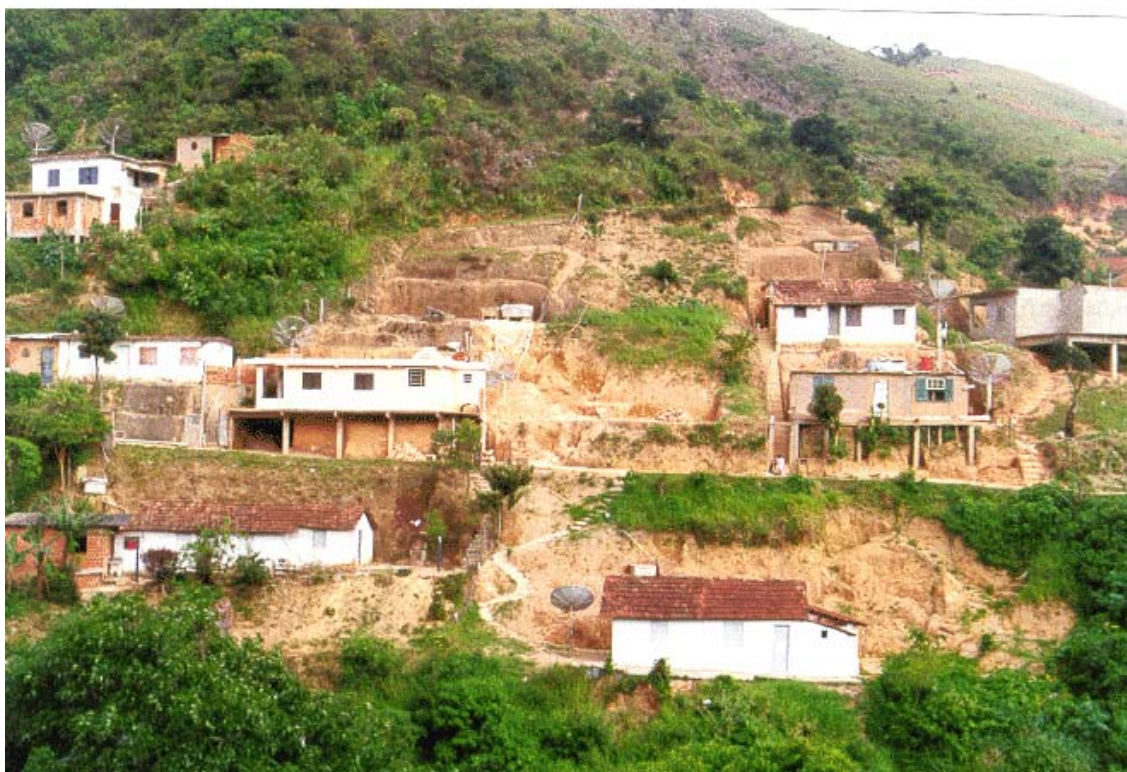
As características naturais de uma região influenciam decisivamente o processo de expansão urbana e a determinação do uso do solo adequado para certa área. De acordo com o tipo de solo estão relacionadas características relativas à resistência a cargas, umidade, plasticidade, permeabilidade, etc., que devem ser levadas em conta na elaboração de projetos destinados à execução de obras da construção civil.

Segundo o estudo elaborado para o Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis realizado pelo FNMA/ECOTEMA (2001), a composição pedológica dos solos da APA é formada de seis classes de solos:

- LVa1 - Latossolo Vermelho-Amarelo alumínico A moderado e proeminente textura argilosa fase floresta ombrófila densa relevo forte ondulado. (declividade de 20 a 30%).
- LVa2 - Associação Latossolo Vermelho-Amarelo A moderado e proeminente + Cambissolo Háptico Tb A moderado ambos alumínicos textura argilosa fase floresta tropical perenifólia relevo forte ondulado e montanhoso. (declividade de 30 a 60%).
- LVa3 - Associação Latossolo Vermelho-Amarelo + Cambissolo Háptico Tb A moderado ambos álicos A moderado textura argilosa + Solos Litólicos Tb distróficos A proeminente textura média fase floresta ombrófila densa relevo forte ondulado e montanhoso. (declividade de 30 a 60%).
- CX - Associação Cambissolo Háptico substrato sedimentos colúvio-aluvionares + Argissolo Vermelho-Amarelo ambos Tb distróficos A moderado e proeminente textura indiscriminada fase floresta ombrófila densa de várzea relevo ondulado e forte ondulado. (declividade de 15 a 25%).
- RU - Associação Neossolos Flúvicos + Gleissolos Hápticos ambos Tb distróficos A moderado e proeminente textura indiscriminada fase floresta ombrófila densa de várzea relevo plano e suave ondulado. (declividade de 0 a 8%).
- AR - Associação Afloramento de Rocha + Neossolos Litólicos Tb distrófico A moderado textura média fase vegetação rupestre e floresta ombrófila densa relevo montanhoso e escarpado. (declividade de 45 a 100%).

Dos tipos de formação de solo apresentados, a classe CX é a mais erodível. O alto índice pluviométrico da região e a remoção da cobertura vegetal natural vêm contribuindo para o aumento da água superficial de escoamento, o que por sua vez, desencadeia processos erosivos e escorregamentos de solo e rochas.

A ocupação das encostas, posteriormente à década de 70, é o fator que oferece maior risco ambiental. Até então, as construções, por estarem situadas em áreas relativamente planas, não requeriam grande movimentação de terra, não comprometendo, portanto, a estrutura natural do solo. A Figura 15 mostra os cortes no talude para construção de casas, deixando o solo exposto, tornando-o mais suscetível à erosão e aos movimentos de massa.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 15 – Ocupação em encosta no bairro Santa Isabel.

3.2.3. Ocupação ao longo dos recursos hídricos

A localização das cidades próximas a cursos hídricos pode ser verificada ao longo da história das civilizações. Assim, como as demais cidades do Brasil, Petrópolis e os municípios constituintes da APA Petrópolis estão localizados próximos de fontes de abastecimento de água, necessária à sobrevivência humana.

A construção do caminho, em 1698, atravessando o atual rio Paraíba do sul, seguindo em direção à Baía da Guanabara, o “Caminho Novo”, “Estrada Real” ou “Caminho do Comércio” encurtou a viagem entre o Rio de Janeiro e Vila Rica de 73 para 25 dias, partindo do porto da Estrela, no fundo da Baía da Guanabara, até a Fazenda do Córrego Seco, acompanhando daí em diante o curso do rio Piabanha, chegando em Cebolas, distrito de Paraíba do sul (FNMA/ECOTEMA, 2001). Desde então, as vilas foram sendo erguidas ao longo dos trechos dos rios.

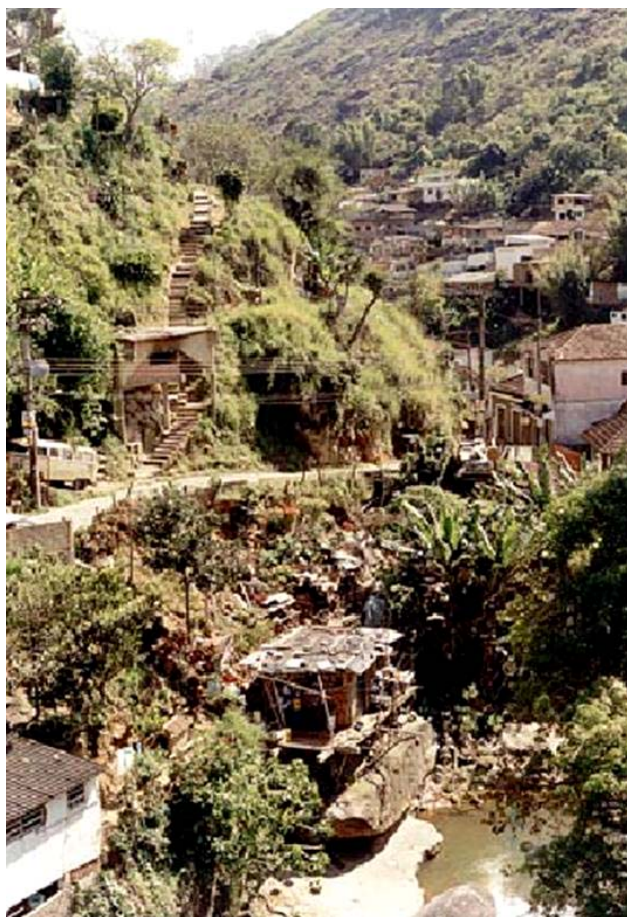
Em 1893 foi promulgado o primeiro Código de Posturas do Município de Petrópolis e em 1900, são incluídos oito artigos dedicados à proteção e preservação dos rios, mananciais e matas. Entretanto, mais tarde, mesmo que tais leis objetivassem a preservação dos recursos naturais, foram permitidas construções nas encostas e nas margens dos cursos d’água, à revelia da legislação.

Com o processo de urbanização acelerado, a partir da década de 70, o descumprimento da lei levou a níveis extremos a magnitude dos impactos que vinham sendo causados. O aumento da população levou ao aumento da quantidade de esgoto lançado nos corpos d'água. Uma vez que os terrenos adjacentes aos rios já haviam sido loteados, a concentração populacional da área central da cidade de Petrópolis e dos fundos de vale levou a uma grande ocupação da região do entorno, comandada pela especulação imobiliária que negligenciava a não-ocupação nas distâncias previstas por lei, como ilustram as Figuras 16 e 17.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 16 – Rio Santo Aleixo, travessia da adutora que abastece Magé (a); rio Itamarati, vista à montante do local de captação de água para abastecimento (b).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

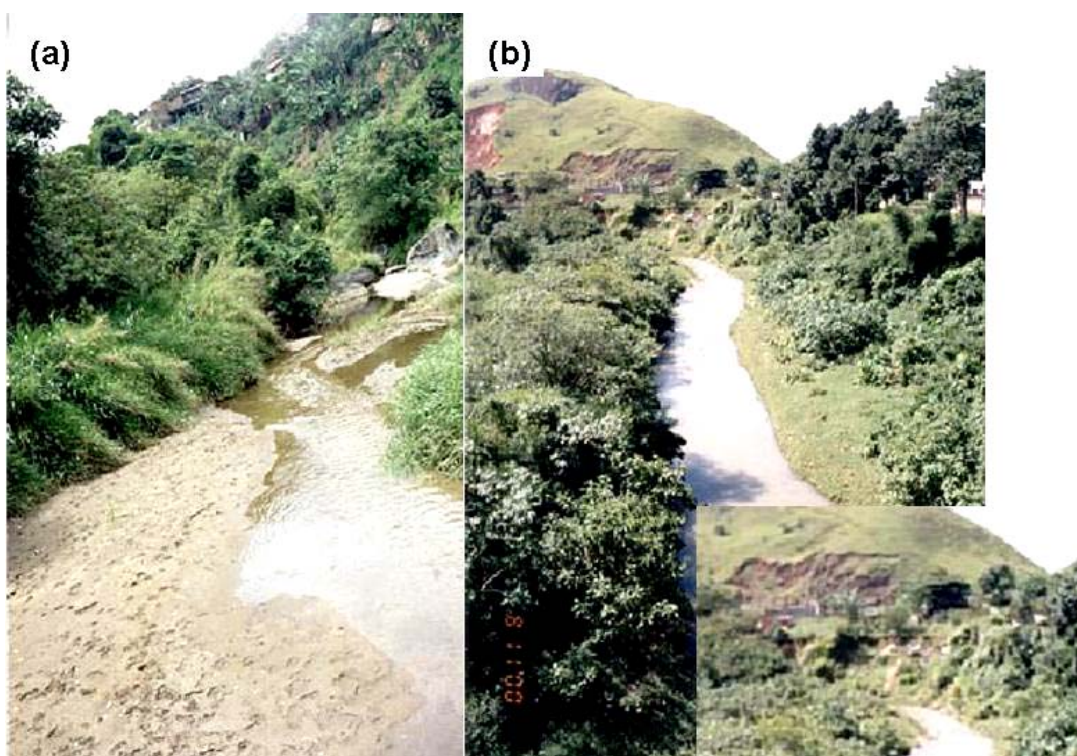
Figura 17 – Sub-habitação dentro do rio na Ponte de Ferro, Cascatinha, Petrópolis.

A preservação ambiental das áreas a montante e ao longo dos mananciais, além da proteção contra o lançamento de detritos nos leitos dos rios são medidas de suma importância para garantir a qualidade de vida na APA, uma vez que na região, são escassos os cursos d'água com disponibilidade hídrica em condições de serem aproveitados para o consumo humano.

Segundo o FNMA/ECOTEMA (2001), no sentido de controlar a poluição dos corpos d'água por efluentes domésticos, a Cia Águas do Imperador vem desenvolvendo um programa de instalação de redes coletoras de esgotos e a construção de estações de tratamento (ETE). Fazem parte deste programa a ETE do Palatinato com capacidade para atender 50.000 habitantes e a construção, em desenvolvimento, de 115 km de rede coletora que atendem à bacia do rio Palatinato, parte do Centro da cidade de Petrópolis, às regiões de Valparaíso, Saldanha Marinho e Quitandinha. Encontra-se também em construção a ETE de Itaipava com capacidade para atender 16.000 habitantes e 60 km de rede coletora que atenderão às localidades de Itaipava e Nogueira. Fazem ainda parte deste programa para implantação a partir de 2010, as ETE's de Piabanha, Cascatinha e Independência.

A qualidade da água de um manancial varia no tempo e no espaço. A qualidade da água de um rio, ao longo de seu curso, pode variar em função da região que atravessa. Com o passar do tempo, na medida em que se processa a ocupação urbana de uma área, a tendência é de piorar a qualidade de seus corpos d'água, a menos que se tomem medidas de preservação e/ou restrições de uso.

A ocupação das encostas e a conseqüente remoção da cobertura vegetal contribuem para o aumento da água de escoamento superficial. Este fato acarreta a condução de impurezas para os cursos d'água e para as vias situadas nos fundos de vale. Na APA Petrópolis, as encostas são ocupadas predominantemente por bairros residenciais, como conseqüência, os poluentes trazidos pela água de chuva são sólidos sedimentáveis de vários tipos e tamanhos, provenientes de cortes no terreno, lixo doméstico e lixo das obras de construção civil. Os principais impactos causados por esse fator são a excessiva turbidez da água e o assoreamento como mostra a Figura 18-a, onde se observa o grande assoreamento na margem direita do Rio Piabetá, com destaque para a ocupação por moradias na margem esquerda (Figura 18-b).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 18 – Vista do reservatório da barragem sobre o rio Bonfim.

3.2.4. Remoção da cobertura vegetal

Entende-se que, no processo de transformação do território, é inevitável a remoção da vegetação existente, mas existem critérios e limites para minimizar os impactos advindos desse procedimento.

Os maciços florestais presentes na APA são entremeados por vegetação rupestre, que ocorre próxima aos afloramentos rochosos e por vegetação secundária, nos estágios inicial e intermediário de sucessão vegetal. A vegetação secundária ocorre nas áreas onde foram marcantes as atividades antrópicas ou os fenômenos naturais, como queda de árvores e deslizamentos de encostas.

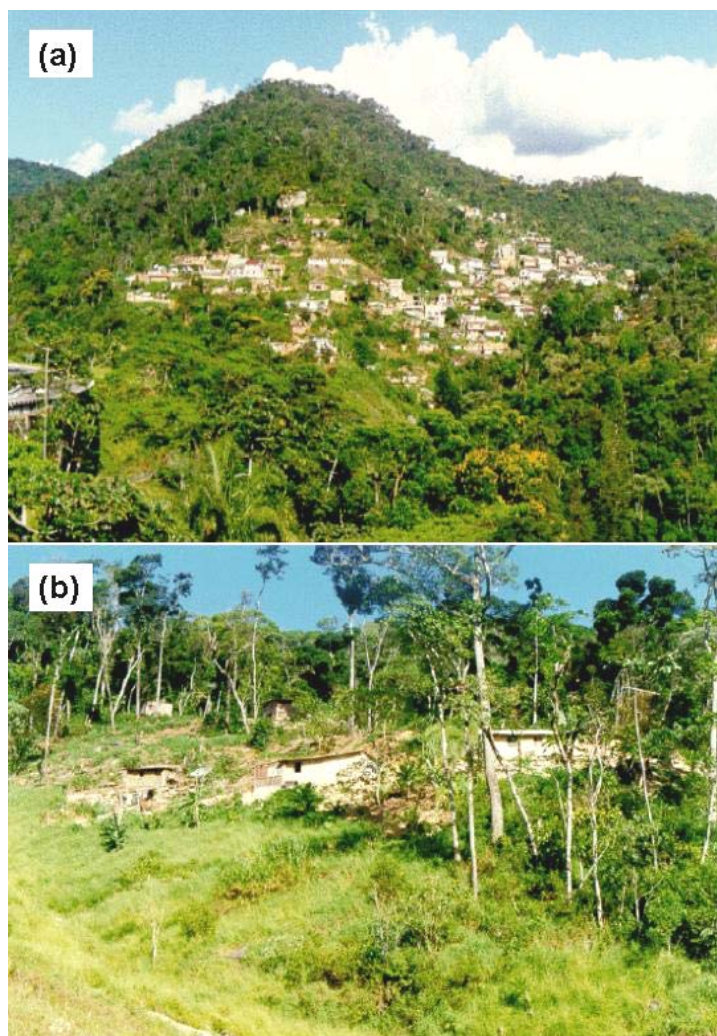
O estágio inicial de sucessão vegetal secundária é expressivo em toda APA Petrópolis, entretanto, sofre freqüentes modificações em função de queimadas, levando ao esgotamento do solo.

A ocupação dos fundos de vale foi transformando a paisagem. A vegetação foi sendo removida, dando lugar a pastagens e cultivos agrícolas. Em 16 anos, a área representada por pastagens aumentou em 14,78 km², ou seja, 0,92 km²/ano, aproximadamente.

A mancha urbana cresceu em 1,80 km²/ano, enquanto as formações florestais tiveram uma redução 2,50 km²/ano, entre os anos de 1985 e 2001.

O crescimento acelerado e desordenado acarretou a supressão indiscriminada da cobertura vegetal do solo, não poupando as encostas, topos de morro e margens dos rios (Figura 19).

A vegetação encontra-se intrinsecamente relacionada com os impactos ambientais originados pela ocupação das encostas e das áreas frágeis em virtude da composição do solo e conformidade do relevo.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

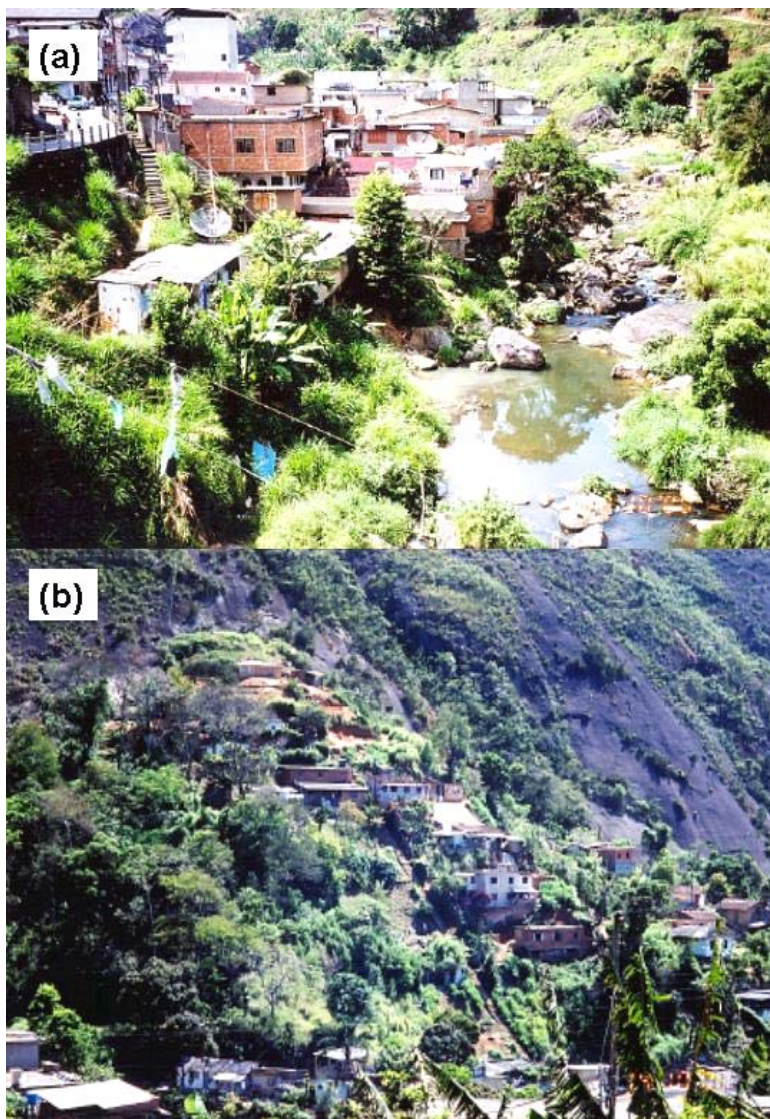
Figura 19 – Ocupação do Morro do moinho (a); ocupação recente, na margem da BR-040, trecho entre o Quitandinha e Bingen (b).

Além de ser um elemento fundamental para a estabilidade do ecossistema urbano, a vegetação apresenta-se como componente evidente na paisagem urbana. A não-preservação de áreas verdes, como consequência da ocupação aleatória, comprometeu o controle e a harmonia visual da APA.

Em estudo realizado para o Zoneamento Ambiental pelo Instituto Ecotema (2001), considerando-se que, em 1991, 71% de toda a população da APA Petrópolis estava contida no principal núcleo urbano do Município de Petrópolis, os dados históricos da expansão urbana levaram à constatação de um crescimento desordenado em direção a áreas periféricas do principal núcleo urbano e, também, aos demais Distritos de Petrópolis. Esse processo também foi verificado nos demais municípios, atingindo os núcleos urbanos dos Municípios de Duque de Caxias e Magé, especificamente nos

distritos envolvidos pela APA, e, notadamente, os de Imbariê e Xerém, no primeiro, e Inhomirin, no segundo.

Parcela significativa da população ocupa, hoje, as encostas e áreas de declividade superior a 45% (Figura 20-b), além das várzeas dos rios e fundos de vales, de forma descriteriosa, irregular e ilegal (Figura 20-a).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 20 – Cascatinha, Petrópolis (a); bairro Roseiral, em Petrópolis (b).

4. CONCLUSÕES

As imagens de satélite Lansat e CBERS constituíram-se em um instrumento satisfatório para a obtenção do uso e ocupação do solo, em escala regional, ressaltando a alta performance do software Idrisi no emprego de técnicas de sensoriamento remoto e o uso de imagens orbitais pelos custos mais baixos e pelas informações nelas contidas. Cumpre, ressaltar, entretanto, que para a obtenção de mapas temáticos em escalas maiores ou para a demarcação de características superficiais do terreno, recomenda-se recursos de sensoriamento remoto com uma melhor resolução espacial.

A interpretação das imagens orbitais em três datas permitiu a análise comparativa de alterações ocorridas em características superficiais do terreno. Foram detectadas alterações em características de uso e ocupação do solo.

Alterações ocasionadas pelas atividades antrópicas refletiram um aumento da área urbana em torno a 42%, entre 1985 e 2001 e a 3%, entre 2001 e 2004, motivado, principalmente, pela expansão na área urbana de Petrópolis e ao longo dos eixos rodoviários mais ao sul da APA. As áreas identificadas como pastagem e formações florestais também sofreram alterações significativas, com uma diminuição em torno de 57% e 18%, respectivamente, nos últimos 19 anos. O aumento da mancha urbana e a redução da vegetação existente, além de possibilitar a comprovação da evolução e crescimento da população, também possibilitaram o entendimento dos impactos ambientais existentes na APA Petrópolis.

O crescimento populacional e a falta de um planejamento efetivo trouxeram como consequência uma ocupação desordenada do território, onde a população de baixa renda foi afastada para as regiões periféricas, áreas abandonadas pela especulação imobiliária, tais como as encostas íngremes dos morros ou as áreas protegidas dos mananciais.

A ocupação das áreas urbanas e sua dinâmica ao longo do tempo são informações importantes para que as demandas da população e da cidade possam ser previstas de forma rápida e eficiente.

O padrão de uso do solo urbano muda rapidamente em resposta às forças econômicas, sociais e ambientais. A caracterização de mudanças no uso do solo é um dos instrumentos para promover um gerenciamento adequado dos problemas que acompanham o crescimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, E. T.; PRANDINI, F. L. Áreas urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 487.
- FNMA/INSTITUTO ECOTEMA. **Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis**. Petrópolis, 2001. 451p.
- GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimento de massas na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. P. (Eds) **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 189-252p.
- IBGE, Introdução ao processamento digital de imagens. **Manual técnico em geociências**. Rio de Janeiro, n. 9, 2001. 92p.
- LIMA, R. S. **Expansão urbana e acessibilidade – O caso das cidades médias brasileiras**. 1998. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- MELLO, F. A. O. **Análise do processo de formação da paisagem urbana de Viçosa, Minas Gerais**. 2002. 92p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.
- PETRÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Petrópolis. **Plano Diretor de Petrópolis. Lei Nº 4.870, de 05 de novembro de 1991**. Petrópolis, 1991. 83p.
- RIBEIRO, C. B. M. **Sensoriamento Remoto aplicado à detecção de mudanças na cobertura do solo de uma bacia hidrográfica**. 2001. 191p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.
- SANTOS, G. T.; BUENO, L. S.; PAULINO, L. A.; VIEIRA, S. J. A utilização de SIG's nos estudos geotécnicos. In: COBRAC- CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITARIO, 3, 1998, Florianópolis. **Anais...** Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac98>>. Acesso em : 02 de março de 2004.
- SILVA, A. N. R. **O custo do solo urbano ocioso e uma nova sistemática de tributação de propriedade**. 1993. 137p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SUSCETIBILIDADE DAS ÁREAS DE RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA NA APA PETRÓPOLIS

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A partir do início do século XX, a expansão populacional, a utilização indiscriminada dos recursos urbanos naturais e a industrialização, cresceram em ritmo surpreendente. Com o passar dos anos, observou-se, sempre com a atuação decisiva do homem, a aceleração desses processos considerados modificadores e desequilibradores da paisagem (Cunha e Guerra, 1996; Mendes 2001).

Desde os primórdios do processo de urbanização, as estruturas das cidades estão impregnadas das características comportamentais do sistema geológico, as quais determinam, o desempenho do meio físico, seja de modo sutil ou ostensivo. Dessa forma, os assentamentos antigos ajustam-se aos fatores geoderivados, como a presença de água, a conformação do relevo, a natureza e a disponibilidade de materiais de construção (Carvalho e Prandini, 1998).

Sendo assim, tem-se buscado a transformação da administração urbana em direção a seu contínuo e crescente interesse no crescimento sustentável, priorizando o aspecto ambiental. A legislação ambiental brasileira dispõe de alguns instrumentos à disposição do Poder Público e da sociedade na proteção do meio ambiente. As Unidades de Conservação, in casu, as APA's são exemplos destes instrumentos.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido utilizados com eficácia comprovada na simulação da realidade do espaço geográfico, na integração das informações espaciais, ou na geração de mapas (Ball, 1994). Inserido neste contexto, o planejamento urbano tem sido uma das áreas em que se tem observado maior desenvolvimento das aplicações do SIG, decorrente essencialmente, da grande concentração de conflitos no meio urbano. (Denègre, 1994).

1.2. Agentes e causas dos movimentos de massa

A Organização das Nações Unidas – ONU declarou os anos 90 como a “Década Internacional de Redução dos Desastres Naturais”, objetivando o estímulo à implantação de ações para redução da possibilidade de ocorrência de acidentes e propôs um modelo de abordagem estruturado em cinco etapas: identificação dos riscos, análise de risco, medidas de prevenção de acidentes, planejamento para situações de emergência e informações públicas e treinamento. Para que se alcance uma redução dos acidentes naturais e induzidos é necessário conhecer a freqüência, as características e a magnitude dos processos geológicos.

No Brasil, os freqüentes casos de escorregamentos em regiões urbanizadas têm provocado, periodicamente, grandes prejuízos econômicos e sociais. Em decorrência disso, a legislação brasileira, com a Constituição de 1988, fixou normas para uma ocupação racional do solo, exigindo a elaboração de Planos Diretores para municípios com população superior a 20.000 habitantes. Entretanto o que se observa é a completa negligência às restrições legais, agravada pela falta de fiscalização dos órgãos competentes.

Os movimentos de massa são processos gravitacionais, envolvendo sedimentos, solos e blocos de rocha a partir da desestabilização de terrenos inclinados ou encostas. Estes movimentos podem assumir diferentes magnitudes, desde movimentos lentos de solos, os rastejos, a outros rápidos e catastróficos, corridas de lama ou areia; rolamentos e quedas de matacões ou blocos de rochas e deslizamentos de sedimentos e solos (Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998).

O processo envolvido nas movimentações de massas rochosas ou de solo, mais comumente associado às encostas, compreende uma série de condicionantes complexos, desde a sua causa até o efeito final que é o próprio movimento. É fato comum que as movimentações ocorrem sob a influência de fatores geológicos, topográficos, climáticos e, certamente, sob a influência da ação antrópica (Natali, 1999).

Os agentes condicionantes, causadores e deflagradores dos movimentos de massa têm sido definidos e classificados, de forma semelhante, por diversos autores. Entretanto, de forma mais clássica, Terzaghi (1950) enumerou as causas dos escorregamentos em três níveis:

- causas externas, ligadas às ações externas que alteram o estado de tensão atuante no maciço, que são: aumento da inclinação do talude; deposição de material ao longo da crista do talude e efeitos sísmicos;

- causas internas, englobando aquelas que atuam reduzindo a resistência ao cisalhamento do solo sem ferir o seu aspecto geométrico visível: aumento da pressão na água intersticial e o decréscimo da coesão;
- causas intermediárias, relativas às ações que não se enquadram em nenhuma das classificações anteriores: a liquefação espontânea, erosão interna e o rebaixamento do nível de água.

Do ponto de vista das ações antrópicas, o IPT (1991) considera que as principais causas de escorregamentos induzidos são o lançamento e concentração de águas pluviais, o lançamento de águas servidas, vazamentos na rede de abastecimento de água ou fossa sanitária, declividade, e altura excessiva de cortes, execução inadequada de aterros, além da deposição de lixo e a remoção inadequada da cobertura vegetal (Figura 1).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 1 – Moradia desprovida de estrutura executada sem controle técnico, além da precariedade na coleta do esgoto domiciliar e do lixo (a); corte no morro Cremerie (b).

Esta constatação traz à tona a necessidade de se proceder a um programa de educação ambiental e uma política voltada para o planejamento que atue efetivamente, prevenindo, dessa forma, a ocorrência de catástrofes futuras.

Apoiados nos trabalhos de Terzaghi (1950) e Freire (1964), Guidicini e Nieble (1976), classificaram os agentes condicionantes em predisponentes e efetivos e as causas foram classificadas em internas, externas e intermediárias e estão apresentadas no (Quadro 1).

Quadro 1 – Agentes e causas dos escorregamentos.

AGENTES E CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
AGENTES	PREDISPONENTES	<ul style="list-style-type: none"> Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original. 	
	EFETIVOS	PREPARATÓRIOS	<ul style="list-style-type: none"> Pluviosidade, erosão pela água e pelo vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, oscilação de nível do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorescimento.
		IMEDIATOS	<ul style="list-style-type: none"> Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, ventos, ação do homem, outros.
CAUSAS	INTERNAS	<ul style="list-style-type: none"> Efeitos das oscilações térmicas. Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo. 	
	EXTERNAS	<ul style="list-style-type: none"> Mudanças na geometria do sistema Efeitos de vibrações Mudanças naturais na inclinação das camadas. 	
	INTERMEDIÁRIAS	<ul style="list-style-type: none"> Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”. Elevação da coluna d’água em descontinuidade. Rebaixamento rápido do lençol freático. Erosão subterrânea retrogressiva (piping). Diminuição do efeito de coesão aparente. 	

Fonte: GUIDICINI e NIEBLE, 1976.

Varnes (1978) agrupa os fatores responsáveis pela deflagração dos escorregamentos, conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Fatores deflagradores dos movimentos de massa.

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS
AUMENTO DA SOLICITAÇÃO	REMOÇÃO DE MASSA (lateral ou de base)	<ul style="list-style-type: none"> Erosão, escorregamentos. Cortes.
	SOBRECARGA	<ul style="list-style-type: none"> Peso da água de chuva, granizo, neve, etc. Acúmulo de material. Peso da vegetação. Construção de estruturas, aterros, etc.
	SOLICITAÇÕES DINÂMICAS	<ul style="list-style-type: none"> Terremotos, ondas, vulcões, etc. Explosões, tráfegos, sismos induzidos.
REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA	PRESSÕES LATERAIS	<ul style="list-style-type: none"> Água em trincas, congelamento, material expansivo.
	CARACTERÍSTICAS INERENTES AO MATERIAL (geometria, estruturas, textura, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais.
	MUDANÇAS OU FATORES VARIÁVEIS (mudanças nas características do material)	<ul style="list-style-type: none"> Intemperismo (redução da coesão, ângulo de atrito). Elevação do NA.

Para este trabalho será enfatizada a classificação de Augusto Filho (1995), que agrupou os movimentos de massa em quatro grandes classes e processos:

- Rastejos ou Creeps.
- Quedas ou Falls, Tombamentos
- Corridas ou Flows.
- Escorregamentos propriamente ditos ou Landslides.

Cada um desses grupos admite subdivisões, com extensas classificações e terminologias específicas.

1.3. Localização da área de estudo

A região onde se localiza a APA Petrópolis faz parte da porção sudeste da Plataforma Brasileira, representada pelo Domínio Tectônico Cinturão Móvel Atlântico (Figura 2).

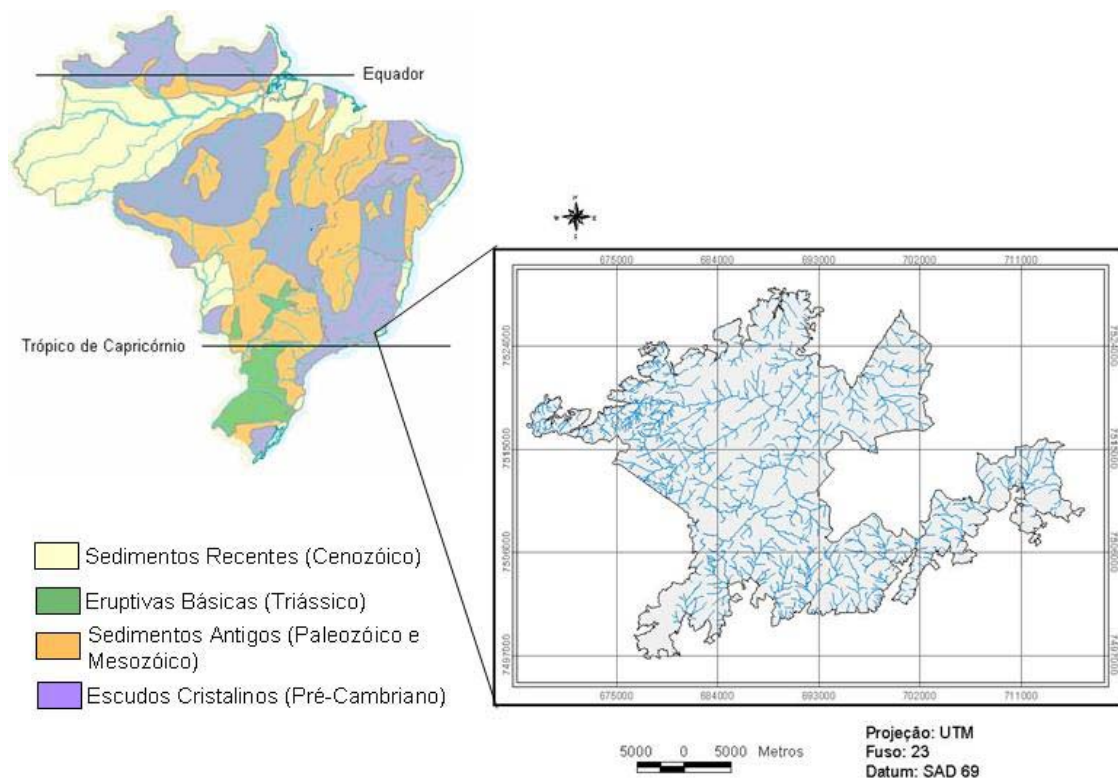


Figura 2 – Localização da APA Petrópolis, no contexto das formações geológicas do Brasil.

A APA Petrópolis está situada dentro do Domínio Morfoestrutural das Faixas de Dobramentos Remobilizados, incluindo a Região Geomorfológica Escarpas e Reversos da Serra do Mar. Caracteriza-se por um relevo acidentado com grandes desníveis altimétricos onde as cotas variam entre 500-1800 metros.

O controle estrutural sobre a morfologia é mostrado por linhas de falhas, blocos deslocados, escarpas, relevos e vales alinhados coincidindo com os dobramentos e/ou falhas. A resistência das rochas é traduzida nas formas de dissecação, sobressaindo escarpas rochosas, patamares com cumes arredondados, pontiagudos e desnudos, pontões, linhas de cristas e cumeadas e vales marcantes e profundos ao longo de zonas fraturadas.

A morfologia geral está, assim, intimamente relacionada com as características litoestruturais das rochas e às condições climáticas da região.

O relevo é suportado por rochas pré-cambrianas com predominância de rochas granitóides, gnáissico-migmatíticas e graníticas. Os afloramentos de rocha são muito abundantes na área. A presença de intenso fraturamento nas rochas, além de condicionar escarpas, paredões, vales fechados, favorece a atuação do intemperismo, atingindo maiores profundidades e formando mantos de alteração mais espessos em determinados locais, principalmente onde a foliação das rochas é desenvolvida e a quantidade de minerais escuros – biotita e anfibólio – é maior, em contraste, granitos mais pobres em ferro constituem os principais relevos salientes da APA pela maior resistência. A Figura 3 mostra uma encosta bastante erodida, com espesso manto de alteração, vegetação esparsa e a presença de blocos de rocha.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 3 – Encosta bastante erodida.

Na base das escarpas, na meia-encosta e nas proximidades dos afloramentos rochosos, distribuem-se blocos de rocha (rocha sã e semi-alterada) resultantes do desmoronamento de placas rochosas limitadas por fraturas e situadas nas partes mais elevadas (áreas de fornecimento de blocos).

Freqüentemente esses blocos acabam se acumulando ao longo do talvegue de pequenas linhas de drenagem, entulhando-as parcialmente e dando origem à acumulação de massas de tálus e colúvios, em geral de grandes proporções.

A Região Geomorfológica representada pela Unidade Geomorfológica Serra dos Órgãos caracteriza-se também pelo notável controle estrutural sobre a drenagem, tanto em relação aos cursos d'água que descem a escarpa em direção ao mar quanto aos que se dirigem para o rio Paraíba do Sul orientados, via de regra, pelas fraturas. Os rios oriundos da escarpa principal voltada para o Atlântico possuem cabeceiras inseridas nas encostas íngremes e festonadas, apresentando vales subparalelos entre si. Os rios que drenam para o Paraíba do Sul, no reverso da Serra do Mar, seguem lineações de falhas e juntas segundo a direção preferencial NE-SW (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

A evolução natural do relevo montanhoso está ligada a desmoronamentos e escorregamentos das encostas, que são favorecidos pela ausência de vegetação. Em muitas áreas, principalmente em locais urbanizados, as encostas são desmatadas, apresentando solo parcialmente exposto, propiciando a instabilidade local. Em algumas áreas localizadas às margens de vias de acesso, como na BR-040 entre Quitandinha e Bingen (Figura 4), as encostas estão desmatadas e desprotegidas, necessitando de cuidados especiais para sua manutenção.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 4 – Cicatriz de escorregamento na BR-040.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

- mapas topográficos do IBGE, em escala 1:50.000, de 1978, em formato digital;
- mapa geológico (escala 1:50.000), mapa de suscetibilidade aos fenômenos naturais e mapa de vegetação e uso atual das terras (2000), na escala 1:25.000, também no formato digital, cedidos pelo Instituto ECOTEMA;
- mapa contendo alguns acidentes geológicos (2000), em escala 1:10.000, cedido pela Prefeitura de Petrópolis;
- software GIS Idrisi 32, *version* Kilimanjaro, maio de 2003, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis;
- software ArcGIS/ArcGRID, *version* 8.1, © Environmental Systems Research Institute, Inc;
- Plano Diretor de Petrópolis, de 2003 (Lei nº 6.070, de 18 de dezembro de 2003, versão revista e atualizada da Lei 4.870 de 05 de novembro de 1991), cedida pela Prefeitura de Petrópolis.
- Lei nº 5.393, de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo do Município de Petrópolis - LUPOS, de 25 de maio de 1998.
- Lei nº 6.766, Lei Federal que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, de 19 de dezembro de 1979.

2.1. Desenvolvimento da metodologia

A partir dos dados acima mencionados, foram elaborados o Modelo digital de Elevação Hidrograficamente Consistente – MDEHC, a Carta Clinográfica e o Modelo de Sombreamento Analítico, como descritos a seguir.

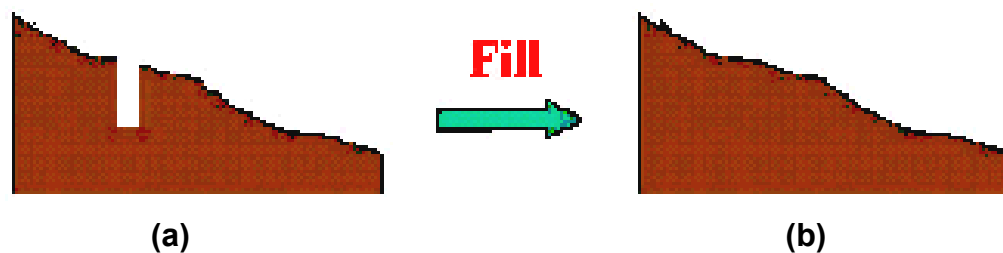
2.1.1. MDEHC – Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Consistente e Modelo de Sombreamento Analítico

Nas últimas duas décadas, diversos algoritmos têm sido implementados em módulos específicos dos sistemas de informações geográficas com a finalidade de automatizar a extração de características morfométricas da superfície terrestre, a partir dos modelos digitais de elevação, dentre as quais se destaca o delineamento de bacias hidrográficas e da respectiva rede de drenagem. As vantagens da automação em relação aos procedimentos manuais são a maior eficiência e confiabilidade dos processos, a reprodutibilidade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais (Chaves, 2002).

A eficiência da extração dessas informações e de outras, derivadas a partir destas, medida em termos de precisão e de exatidão, está diretamente relacionada com a qualidade do modelo digital de elevação e do algoritmo utilizado. O modelo digital deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para e ao longo da drenagem mapeada, garantindo assim a sua consistência hidrológica.

Assim, para este trabalho foi utilizado o TOPOGRID/ArcGRID, o que permitiu a imposição da hidrografia ao modelo digital de elevação (MDE). A resolução utilizada foi de 10m, tendo-se em vista a escala de trabalho e o tempo para sua geração.

Após a geração do MDE, foi feito o trabalho de preenchimento das depressões espúrias. As depressões são células cercadas por células com maiores valores de elevação. Sua presença em um MDE produz a descontinuidade do escoamento superficial descendente para uma célula vizinha (Figura 5). Por definição, as depressões incluem áreas planas e depressivas. Algumas delas podem ser naturais, como os sumidouros observados em região de Karst, mas a maioria delas é considerada espúria, decorrentes do próprio processo de geração do MDE (amostragem e interpolação) e da truncagem dos valores interpolados para números inteiros na saída do modelo (Chaves, 2002).



Fonte: CHAVES, 2002.

Figura 5 – Vista transversal de uma depressão espúria de um MDE (a) e da depressão espúria preenchida (b).

O Modelo de Sombreamento Analítico foi obtido a partir do MDEHC gerado.

2.1.2. Carta de classes de declividades

A carta clinográfica, obtida a partir do MDEHC, foi subdividida em quatro classes: classe 1, de 0 a 15%; classe 2, de 15 a 30%, classe 3, de 30 a 45% e a classe 4, para declividades maiores que 45%. As faixas foram definidas de acordo com a legislação vigente, Lei Federal nº 6.766/79 que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Segundo esta lei, em declividades maiores que 45% não deve haver ocupação e os loteamentos e desmembramentos urbanos só serão autorizados em declividades de até 30% (Cunha, 1991).

2.1.3. Mapa de uso do solo X declividades

Esse mapa foi obtido a partir da tabulação cruzada do mapa de uso do solo com a carta de classes de declividades. Foram selecionadas, no entanto, as áreas com declividades superiores a 30%, que constitui o limite para a ocupação de encostas, sem a necessidade de projetos especiais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do estudo do meio físico, no caso com enfoque geomorfológico, gerou-se mapas temáticos, os quais possuem relevância significativa no planejamento da ocupação urbana de novas áreas, ou na reestruturação de áreas antigas, considerando as demandas ambientais naturais da área e seus limites de utilização. A partir da análise e do cruzamento dos dados referentes à susceptibilidade natural e da pressão de uso antrópico foi possível estabelecer as áreas sujeitas a processos de movimentos de massa.

3.1. Mapas temáticos

Os mapas temáticos, apresentados a seguir, são:

- Mapa hidrográfico sobre o modelo de sombreamento analítico (Figura 6);
- Carta de classes de declividades (Figura 7)
- Mapa de acidentes ocorridos sobre o arruamento e a Carta de Classes de declividades (Figura 8);
- Uso e ocupação do solo sobre o modelo de sombreamento analítico (Figura 9);
- Uso e ocupação do solo X declividades (Figura 15).

Para a carta de classes de declividades, observa-se a seguinte distribuição (Quadro 3):

Quadro 3 – Distribuição das classes de declividades em toda extensão da APA Petrópolis.

CLASSES DE DECLIVIDADES	ÁREA (KM²)	ÁREA RELATIVA (%)
0 – 15%	60,04	10,10
15 – 30%	122,33	20,56
30 – 45%	141,53	23,80
> 45%	270,86	45,54

Observa-se que quase 70% da área total da APA possui declividades superiores a 30%. Este é um fator natural que, associado à concentração populacional e chuvas concentradas, traduz um risco potencial de movimentos de massa muito elevado.

Pelos mapas temáticos do uso do solo X ocupação urbana, pode-se traçar um paralelo da relação existente entre o aumento da população e as ocorrências dos movimentos de massa. Observa-se que à medida que se interioriza pela APA, o número de eventos diminui. O contrário acontece nas áreas de maior adensamento populacional.

Entretanto, mesmo em áreas não ocupadas é possível observar a ocorrência, muito comum, de movimentos de massa naturais, resultantes dos processos de evolução natural da encosta. Esses processos resultam de uma predisposição natural, função da litologia existente e do controle estrutural, que gera elevadas declividades em áreas muito extensas, como ilustra a Figura 8.

Valores altos de amplitude de relevo e declividade das encostas propiciam maior intensidade dos processos morfodinâmicos e mais elevada suscetibilidade à erosão e escorregamentos de terra. Em relevos menos enérgicos verificam-se menores volumes e velocidades de escoamento das águas pluviais, implicando em suscetibilidades menos elevadas.

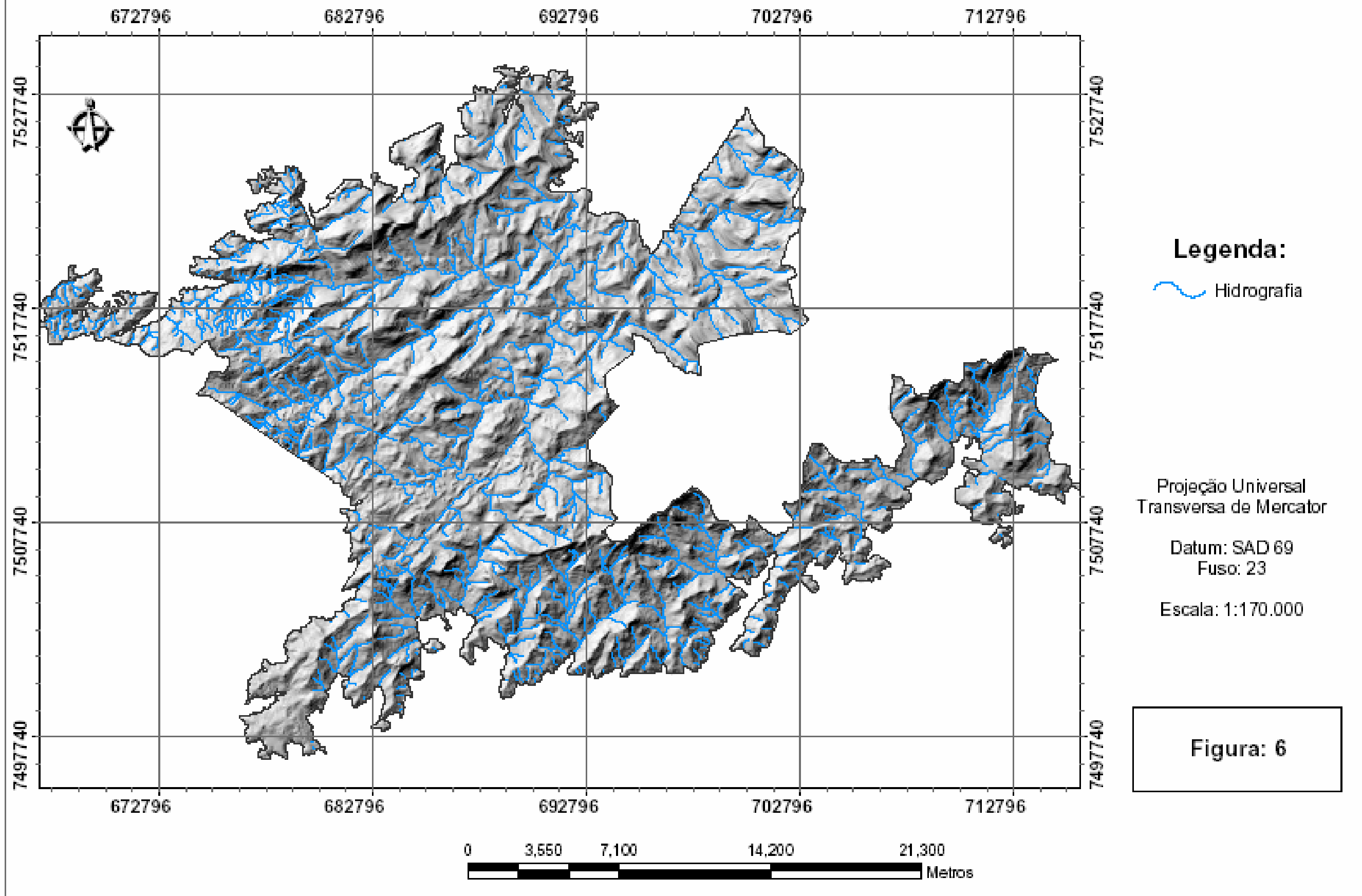
A região da APA Petrópolis é caracterizada pela presença de unidades litológicas diferentes, sobressaindo os litotipos gnáissicos, migmatíticos, granitóides e graníticos. Além da resistência desigual das rochas aos agentes erosivos, a presença de fraturas (falhas e juntas) também contribuem para a alteração diferencial das rochas. A Figura 10 ilustra cicatrizes de escorregamento e queda de blocos de rocha na Serra Estrela.



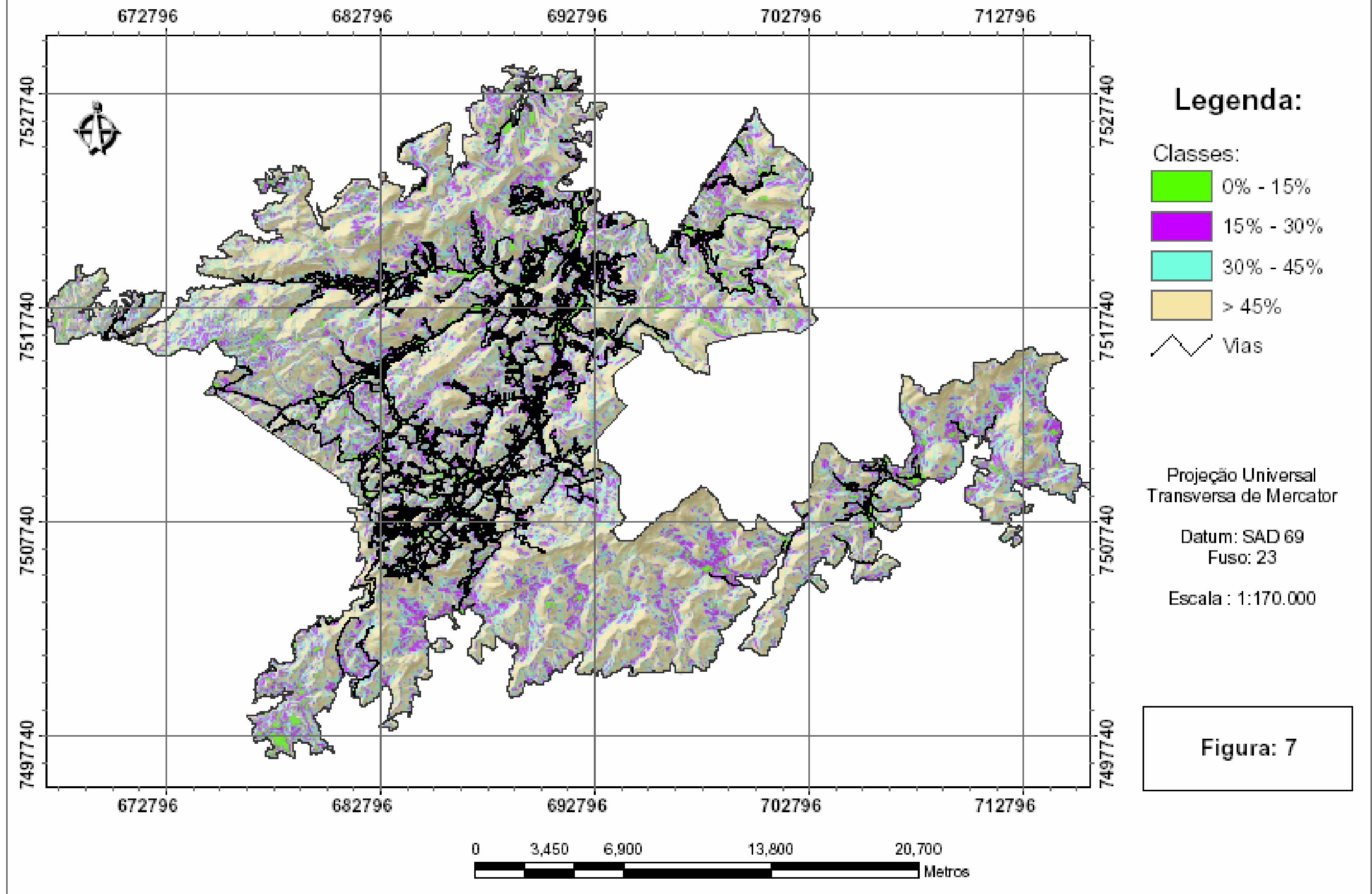
Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 10 – Serra Estrela.

Mapa da Hidrografia



Carta de Classes de Declividades



Mapa de Classes de Declividades e Acidentes

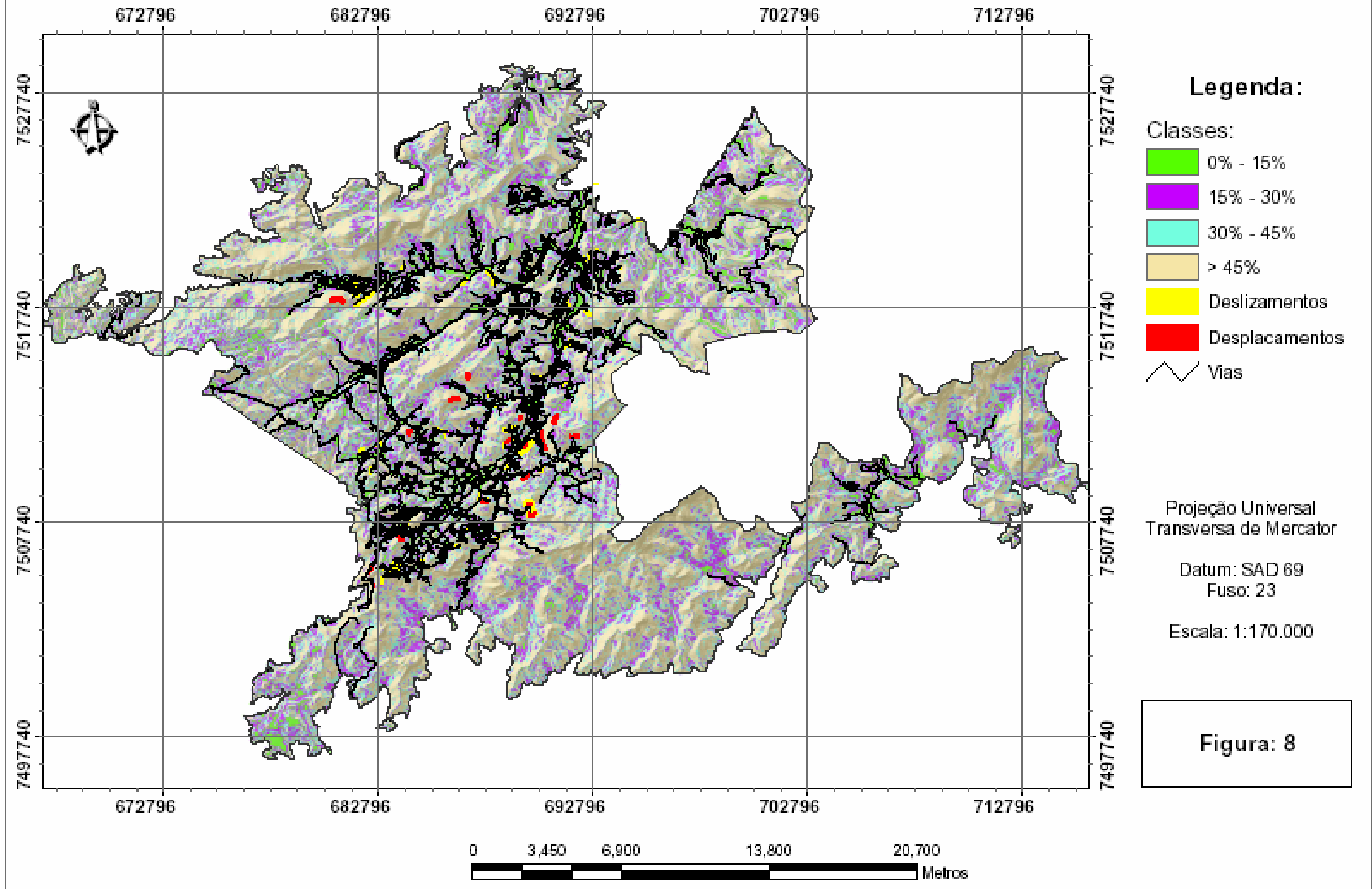
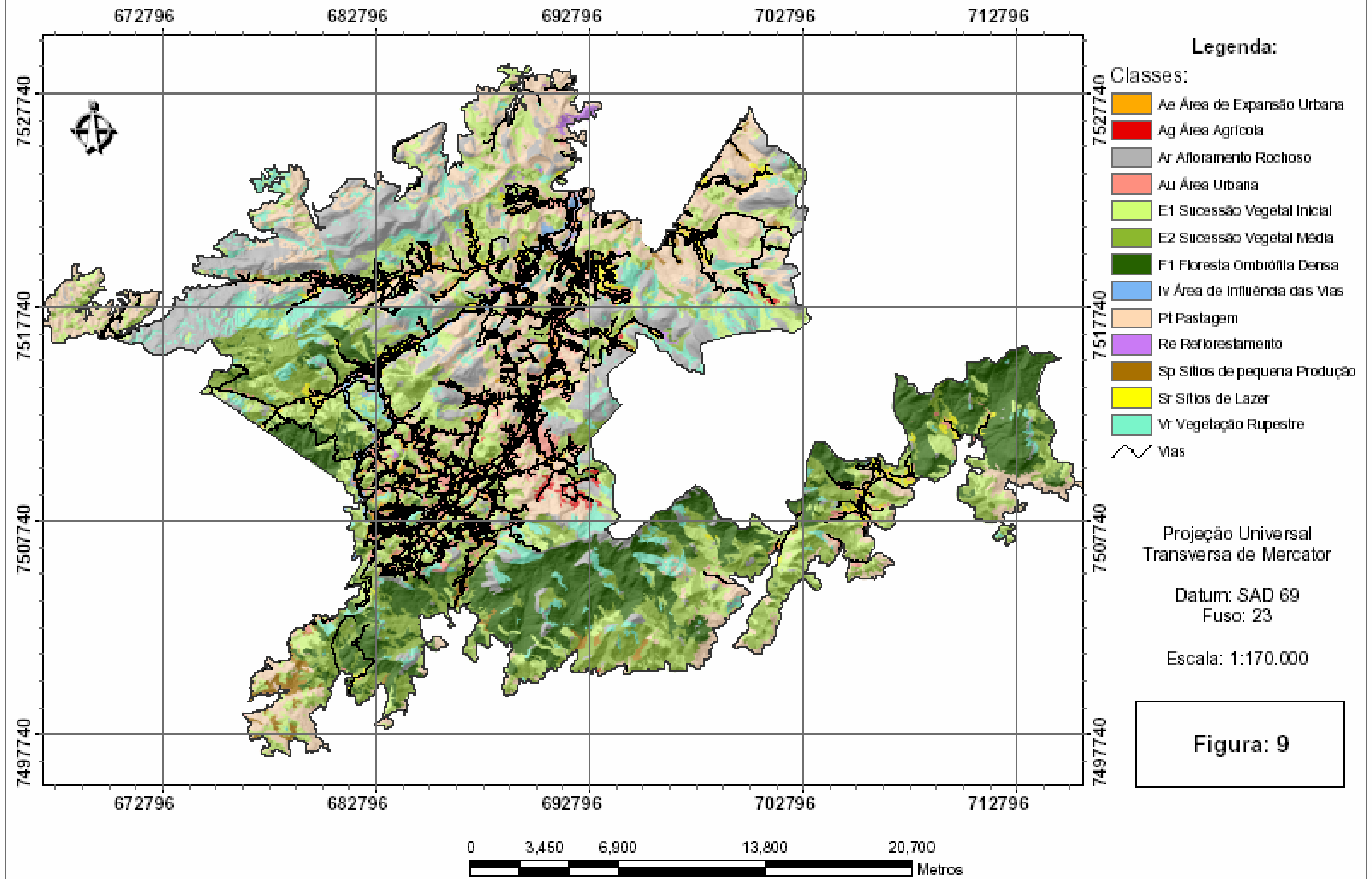


Figura: 8

Mapa de Vegetação e Uso Atual das Terras



Os solos residuais, quando erodidos e transportados, classificam-se como colúvios (à meia encosta) ou tálus (meia encosta/sopé das elevações) quando contém blocos de rocha inclusos na sua massa como mostra a Figura 11, área altamente suscetível a rolamento de blocos, ao fundo observa-se um paredão rochoso com suscetibilidade à queda de blocos.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 11 – Campo de matacões na estrada Petrópolis-Teresópolis.

O rolamento de blocos ou matacões pode ser desencadeado por solapamento em sua base de apoio, decorrente da erosão, descalçamento por escavação ou evolução dos processos de intemperismo. Podem ocorrer rolamentos de matacões de grande porte, mesmo na ausência de chuvas (FNMA/ECOTEMA, 2001).

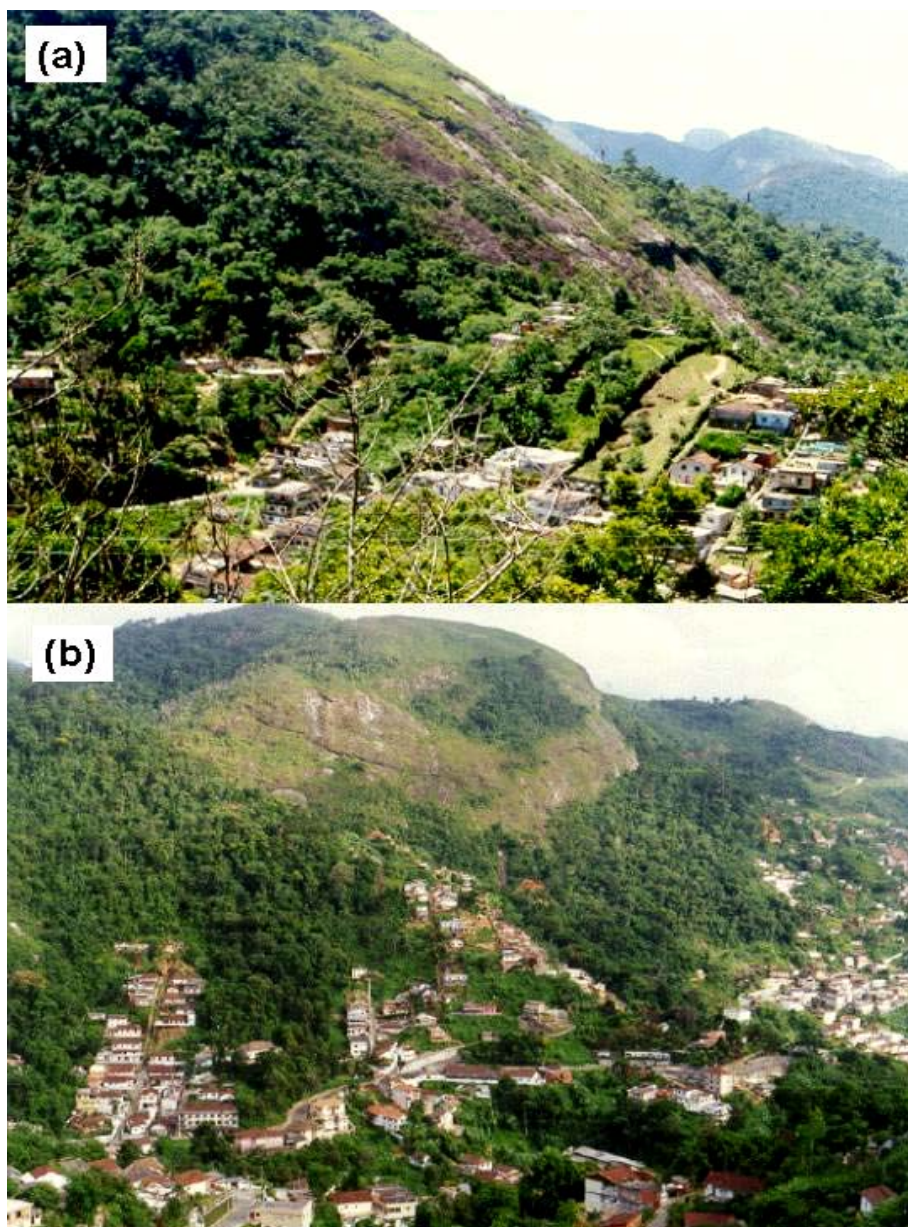
Esses movimentos podem ocorrer, também, a partir de deslocamentos nos maciços rochosos muito fraturados. A Figura 12 ilustra um bloco com estabilidade precária.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 12 – Cicatriz de deslizamento em depósito de tálus, Vila do rio Itamarati.

O transporte desses materiais encosta abaixo se dá por gravidade, através de rastejo, deslizamentos de massa ou queda de blocos. Nas zonas de relevo mais íngreme, surgem com mais freqüência os depósitos de tálus com blocos semi-arredondados e angulosos ou matacões de dimensões variadas (Figura 13).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 13 – Ocupação de terrenos de colúvios e tálus no Alto da Serra (a) e nas encostas da Estrada da Saudade, bairro Quissamã (b).

Os escorregamentos de solo e rocha são mais representativos nas grandes massas de tálus, cujos constituintes são fragmentos soltos dispostos de maneira desordenada. Os blocos de rocha, geralmente, encontram-se envolvidos por uma matriz arenosa-argilosa, proveniente do mesmo processo de acumulação por gravidade ou oriunda de processo de alteração dos próprios blocos rochosos. Nos locais onde ocorre um contato abrupto do tálus com a rocha sã ou alterada, forma-se uma superfície inclinada que favorece os escorregamentos, fazendo, muitas vezes, a rocha aflorar.

Segundo estudos realizados pelo FNMA/INSTITUTO ECOTEMA (2001), na maioria dos casos de instabilidade verificados, o equilíbrio do manto de decomposição das rochas foi rompido por desmatamento e/ou escavações; ou ainda adição de aterros inadequados para a ocupação de terrenos de encosta sem cuidados técnicos; ou acompanhamento deficiente das obras em geral, por fim, ausência ou subdimensionamento do sistema de drenagem e proteção (Figura 14).



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 14 – Cicatrizes de escorregamentos de terra no alto do morro, no bairro Floresta.

A intervenção antrópica vem agravar as condições naturais pré-existentes, já frágeis, provocando deslizamentos de pequenas e grandes proporções.

Mapa de Uso e Ocupação do Solo

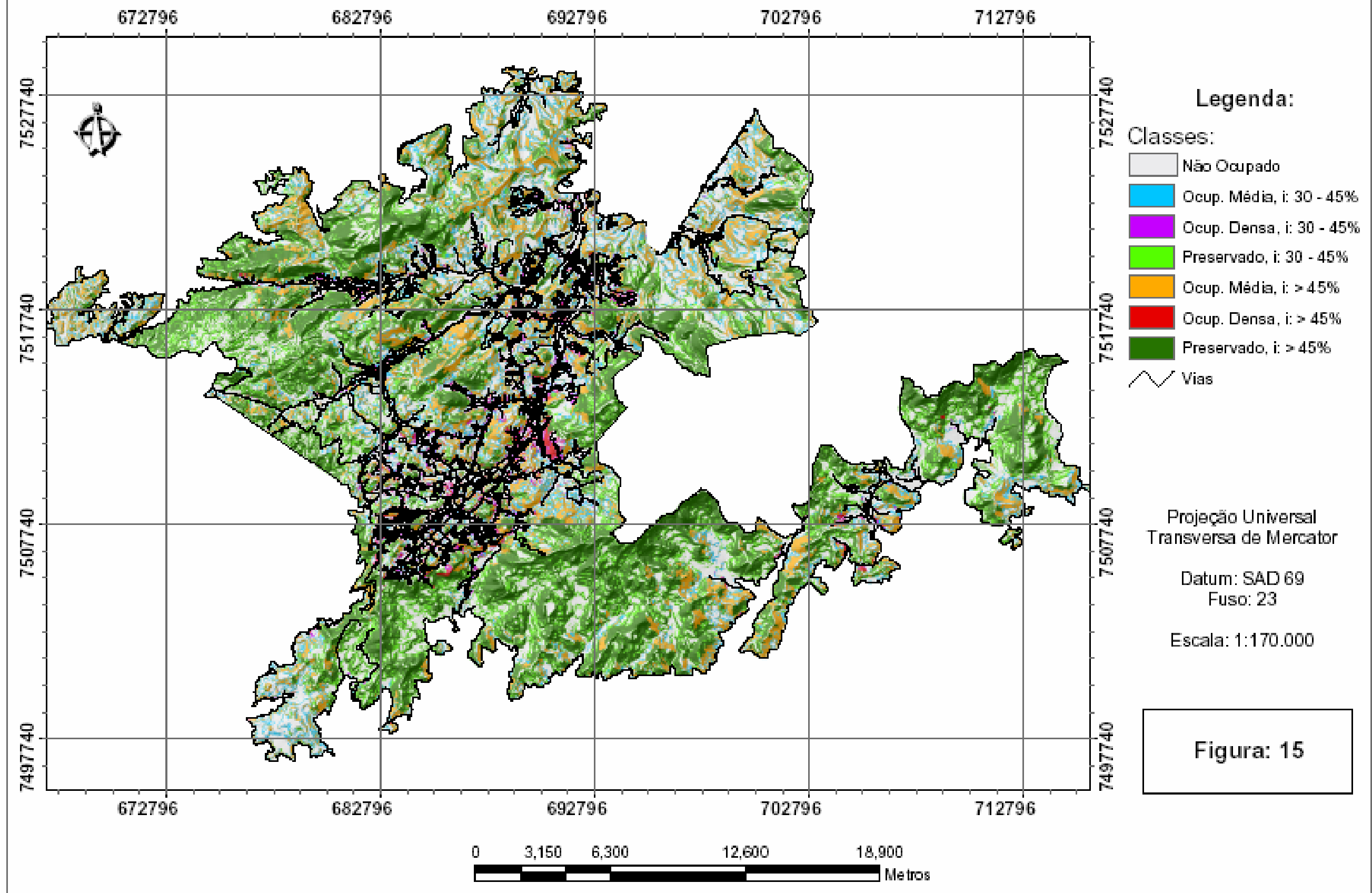


Figura: 15

A região em que se insere a APA Petrópolis é formada por unidades geoambientais vulneráveis a desequilíbrios do meio ambiente, quer seja por processos naturais ou pela ação do homem. Assim, as práticas que provocam acidentes nas encostas, como cortes e aterros inadequados, retirada de vegetação, lançamento de água ou bloqueio das linhas d'água naturais por lixo ou entulho, devem estar sujeitas ao controle e fiscalização dos órgãos públicos e da comunidade.

Outro aspecto importante a ser considerado são os indicadores sócio-econômicos, tais como padrão construtivo da moradia, forma de ocupação e acompanhamento técnico empregado. Esta relação implica no uso de material impróprio e na utilização de técnicas não adequadas à região. Os tipos de habitação presentes na APA nem sempre utilizam, em maior ou menor grau, as técnicas disponíveis e os elementos construtivos exigidos pelas condições naturais de clima, relevo, tipo de solo, intempéries etc. O fator econômico nem sempre é o responsável. A explicação pode estar na cultura local, tornando tradicional o desuso de material, equipamento e tecnologia, por desconhecimento ou negligência.

A integração do ambiente natural e construído e a segurança nas áreas mais declivosas são de responsabilidade conjunta do poder público e dos cidadãos que vivem e ocupam esses espaços urbanos. A responsabilidade social dos moradores concretiza-se pelo conhecimento do risco e mudança de hábitos, adotando práticas adequadas de preservação do ambiente natural.

O processo de materialização do espaço urbano, quando conduzido de forma não planejada, provoca fortes impactos ambientais, no qual a sociedade é o principal agente. No Brasil, os principais processos associados a desastres naturais são as inundações e os movimentos de massas, sendo que a este último relaciona-se o maior número de vítimas fatais.

A prevenção dos riscos urbanos é uma atribuição municipal. Com a missão de elaborar uma nova política de desenvolvimento urbano no País, o Ministério das Cidades, criado em janeiro de 2003, elaborou uma ação específica de apoio à prevenção e erradicação de riscos, parte do programa de "Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários".

Petrópolis está entre os municípios que solicitaram apoio do Ministério das Cidades em 2004 e que foram priorizados por apresentarem maiores níveis de risco e cujas administrações já desenvolvem ações de prevenção de risco e realizaram algum diagnóstico do problema por meio do mapeamento dos riscos.

Em um estudo de apoio à prevenção de riscos em assentamentos precários – Análise das operações realizadas no primeiro semestre do ano de 2004, realizado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, Petrópolis está entre as cidades que mais fez vítimas fatais em escorregamentos, aparecendo em primeiro lugar no quadro de “Vítimas fatais devidas a processos de escorregamentos”, com 258 mortes, no período entre 1988 e 2004.

4. CONCLUSÕES

A forma de ocupação e o uso social do espaço são fatores determinantes para a configuração do meio ambiente urbano, o qual por sua vez, determina, em resposta, o nível de qualidade de vida. Na APA Petrópolis fica evidente a precariedade da infraestrutura urbana e das moradias nas novas áreas ocupadas, vizinhas aos bairros já consolidados.

Os principais processos geológicos presentes na APA são o escorregamento e as quedas de blocos, ocorrendo, predominantemente, em solos transportados. Os seus principais agentes predisponentes são o fator morfológico (relevo acidentado) e o fator climático. Os agentes efetivos preparatórios são a pluviosidade, a erosão pela água e as ações humanas, ao passo que os agentes efetivos imediatos são as chuvas intensas e, também, as intervenções antrópicas. As chuvas ocorrem, em geral, de outubro a março, período em que ocorre a maioria dos escorregamentos.

A principal ação humana é a execução de cortes nas encostas, pela abertura de lotes ou ruas. Os taludes produzidos possuem altura e inclinação geralmente elevadas, ficando desprotegidos da vegetação original. As principais causas são a redução dos parâmetros de resistência por intemperismo (causa interna), as mudanças na geometria do sistema (causa externa) e a diminuição do efeito da coesão devido à saturação do solo (causa intermediária).

O processo erosivo também ocorre de maneira superficial, formando sulcos profundos, contribuindo para a ocorrência de escorregamentos, quando se observa o descalçamento das camadas de solos subjacentes (solos maduros e/ou coluvionares).

Dessa forma, observou-se que a grande ocorrência de movimentos de massa na APA Petrópolis agrava-se, entre outros fatores, devido à concentração urbana desordenada em áreas de risco e ao relevo acidentado. Existem, de fato, construções feitas de forma insegura, em locais impróprios, porém há também várias ocorrências de movimentos de massa em áreas nobres, áreas que não poderiam ser ocupadas por se localizarem em encostas muito íngremes, com convergência de fluxos ou pela ocorrência de tálus.

Há severas restrições do meio físico ao crescimento da ocupação humana na APA Petrópolis, demonstrando a necessidade de severas restrições ao crescimento urbano.

Entretanto, pouco se faz em relação às ações de recuperação de áreas atingidas, como a utilização de técnicas preventivas: deslocamento da população das áreas de risco; fiscalização de ocupações irregulares, entre outras.

Um aspecto importante a se enfatizar é o impacto negativo com que se apresenta a paisagem urbana, evidenciado pelo aspecto degradado do solo no entorno das construções nas encostas, as quais são desmatadas e escavadas, expondo, muitas vezes, um solo de alta erodibilidade.

O uso da tecnologia SIG torna possível a integração e manipulação de dados, de forma rápida e eficaz, na geração de informações para subsidiar tanto o diagnóstico quanto o gerenciamento, sem necessariamente acarretar em investimentos elevados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: BRITAR, O. Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995. p. 77-100.
- BALL, G. L. 1994 **Ecosystem modeling with GIS**. Environmental Management, 18(3): 345-349.
- BRASIL. **LEI Nº 6.766/1979 – Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano**. Brasília – DF, 1979.
- CARVALHO, E. T.; PRANDINI, F. L. Áreas urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 487.
- CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**. 2002. 115p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CUNHA, M. A. (Coord.) **Ocupação de encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 216p. (IPT – Publicação, 1831).
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Orgs), **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro, 1996. p.337-379.
- DENÈGRE, J. **Technological progress in geographical research: recent developments in satellite remote sensing and geographical information systems**. Mapping Sciences and Remote Sensing, 31(1):3-12. 1994.
- FNMA/INSTITUTO ECOTEMA. **Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis**. Petrópolis, 2001. 451p.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. 1976. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 167p.
- INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 487.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Manual de uso e ocupação de encostas**. São Paulo: 1991. 25p.

PETRÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Petrópolis. **LEI N° 5.393/1998 – Lei de Uso, parcelamento e ocupação do solo**. Petrópolis – RJ, 1998.

PETRÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Petrópolis. **LEI N° 6.070/2003 – Revisão do Plano Diretor de Petrópolis**. Petrópolis – RJ, 2003.

MENDES, R. M. **Mapeamento geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) na escala de 1:10.000, como subsídio ao planejamento urbano**. 2001. 245p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de São Carlos, São Carlos.

NATALI, P. P. **Carta Preliminar de risco de escorregamento para a área urbana de Ponte Nova – MG**. 1999. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TERZAGHI, K. 1950. **Mecanismos de escorregamentos de terra**. Trad. de Ernesto Pichler. São Paulo: Grêmio Politécnico. 41p.

VARNES, D. J. 1978. Slope movements types and processes. In: **Landslides analysis and control**. Washington: National Academy of Sciences. p. 11-33.

ANÁLISE ESTRATÉGICA DE DECISÃO APLICADA À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA EXPANSÃO URBANA

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

O desenvolvimento urbano se processa de acordo com uma de duas diretrizes básicas: a partir de um núcleo central, definido segundo condicionantes físicas; ou a partir da expansão de outros núcleos, em áreas antes destinadas à agricultura ou outros fins (MELLO, 2002).

O processo de expansão das cidades brasileiras, realizado através do parcelamento do solo, é marcado, notadamente, pela implantação de empreendimentos habitacionais periféricos promovidos tanto pelo setor privado – os loteamentos – quanto pelo poder público – os conjuntos habitacionais. Este fenômeno, que em sua maioria, ocorre de forma desordenada, ocupando áreas desfavoráveis a esse tipo de uso, é uma das atividades de grande impacto sobre o ambiente, além de gerar pesado ônus ao poder público e riscos à população.

Nas parcelas da cidade produzidas informalmente, onde predominam os assentamentos populares e a ocupação desordenada, a combinação dos processos de construção do espaço com as condições precárias de vida urbana gera problemas sócio-ambientais e situações de risco, que afetam tanto o espaço físico quanto a saúde pública: desastres provocados por erosão, enchentes, deslizamentos; destruição indiscriminada de florestas e áreas protegidas; contaminação do lençol freático ou das represas de abastecimento de água; epidemias provocadas por umidade e falta de ventilação nas moradias improvisadas, ou por esgoto e águas servidas que correm a céu aberto, entre outros (Groinstein, 2001).

A APA Petrópolis, notadamente a cidade de Petrópolis, com 286 537 habitantes (IBGE, 2001), se situa no universo das cidades de porte médio não metropolitanas que vem passando por um processo de desenvolvimento acelerado. Do ponto de vista territorial, o acelerado crescimento da cidade vem resultando em um processo de ocupação predatório e extensivo, originando a formação de favelas, ocupações ilegais de terra em área de preservação. Além disso, a autoconstrução destaca-se como a

forma mais utilizada de produção de moradias, erguidas em condições precárias em bairros afastados do centro.

O processo de expansão urbana, intensificado a partir dos anos 60, atingindo o seu auge no final dos anos 70 e início dos 80 e a ocupação e o parcelamento de solos muitas vezes inadequados a este tipo de uso estão intimamente relacionados com a proliferação dos movimentos de massa na APA, constituindo o principal problema ambiental do município, seguido das enchentes.

Pode-se enumerar diversos fatores responsáveis pelo aumento das feições erosivas e movimentos de massa relacionados ao processo de expansão urbana: construção de loteamentos e conjuntos habitacionais em locais não apropriados sob o ponto de vista geotécnico, com deficiência de infra-estrutura; deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais e servidas, tanto nas formas de captação como na dissipação; traçado inadequado do sistema viário, agravado, muitas vezes, pela falta de pavimentação, guias e sarjetas; e, principalmente, a ausência de um controle efetivo, por parte da Prefeitura, sobre as obras de infra-estrutura dos loteamentos para a população de baixa renda.

O crescimento e expansão das áreas urbanizadas no Brasil não têm considerado aspectos fundamentais, que trazem transtornos e custos para a sociedade e para o ambiente, como a prevenção dos riscos geológicos e hidrológicos urbanos. Observa-se a inoperância de um planejamento que contemple a interdisciplinaridade do meio urbano e a perspectiva de soluções em longo prazo.

Inserido neste contexto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vêm sendo amplamente utilizados em trabalhos que demandam a articulação de uma grande gama de informações espacializáveis, sendo capazes de trabalhar integradamente os componentes do meio. Podem analisar bases de dados que incluem informações cartográficas, espectrais (obtidas por sensores remotos), observações de campo, resultados de entrevistas ou censos, lidando, portanto, com todos os tipos de informações necessárias à decisão: básicas, históricas, atuais e futuras. Em um SIG, estas atribuições podem ser encadeadas ou combinadas, por meio da tomada de decisão, freqüentemente baseada na seleção e hierarquização de alternativas de ação (Pivello et al., 1999).

Os SIGs, ao oferecer capacidades únicas na automatização, gestão e análise de dados espaciais para a tomada de decisão, têm papel importante na análise de problemas de decisão multicritério. A avaliação multicritério oferece uma vasta coleção de técnicas e procedimentos que permitem revelar as preferências de decisores e incorporá-las em tomadas de decisão baseadas num SIG, entre as quais estão as lógicas Booleana e Fuzzy (Rodrigues et al., 2002).

Estas análises são feitas com o cruzamento de diferentes informações que resultarão em áreas contendo atributos condizentes com o modelo adotado. Sob o aspecto da lógica Booleana, esse é o princípio da simultaneidade, no qual vários procedimentos matemáticos, que suportam as diversas relações topológicas entre os objetos espaciais, são representados por um SIG, associados sempre a um atributo ou não (Braghin e Silva, 1997). A lógica Fuzzy distingue-se da lógica Booleana por permitir a utilização de um intervalo entre os limites 0 e 1 ou 0 e 255, e não apenas estes, como ocorre no caso binário. Trata-se de uma lógica que utiliza valores contínuos, e não discretos, tornando-se necessária uma representação por conjuntos descritos por funções matemáticas (Sui, 1992)

1.2. Organização espacial das cidades e os fatores que direcionam seu crescimento

De acordo com Villaça (2001), o espaço é um atributo de todos os valores de uso. Dessa forma, tanto um objeto quanto o seu uso exigem lugares e, portanto, definem espaços. O espaço da cidade é formado pela justaposição de diferentes usos da terra. Conforme o uso é definida a área central, onde normalmente se concentram as atividades comerciais, de serviços, bem como as áreas residenciais, as industriais, as de expansão, dentre outras (Corrêa, 1993).

Apesar de se tratarem de áreas com características distintas, os processos sociais que acontecem na cidade determinam as articulações entre essas áreas, organizando-as espacialmente. As inter-relações acontecem de forma dinâmica e se dão por meio dos transportes e das comunicações, sendo, portanto, dependentes da disponibilidade de infra-estrutura. Villaça (2001) coloca o transporte de pessoas como fator determinante na estruturação do espaço urbano. Por isso, torna-se importante para o crescimento das cidades a acessibilidade a determinada área, ou seja, a conexão de determinado local da cidade com o restante da malha urbana.

Por esse motivo, as vias de circulação desempenham importante papel no crescimento físico da cidade.

Considerando a terra como mercadoria, observa-se que a acessibilidade e a localização têm influência direta na sua valorização.

Segundo Lefebvre (1999), a valorização do terreno urbano tem início pela transmissão patrimonial do solo por meio da sua renda fundiária, da renda absoluta derivada de

sua posse. Esse valor se estende, entretanto, ao potencial do espaço, do subsolo e dos volumes acima do solo que estão sendo intercambiados, ou seja, do espaço social como um todo e das estruturas e objetos que o constituem.

O reflexo disso na configuração das cidades é a alteração do valor de uso da terra em virtude da concentração dos meios de produção, ou seja, das facilidades permitidas pela aglomeração, de acordo com a localização do terreno. Quanto mais próxima dos núcleos de produção, mais valor adquire a terra, refletindo no seu preço. Mudanças de uso ou transformações urbanas alteram o valor da localização, causando a oscilação do preço.

De acordo com Santos (1993) e Mello (2002), a dinâmica social cria o sítio social, superposto ao sítio natural. O funcionamento da sociedade transforma seletivamente os lugares, adequando-os as suas necessidades. Por isso, determinados pontos ou artérias tornam-se mais atrativos e adquirem maior valor.

Essas considerações acerca da acessibilidade explicam a tendência do crescimento urbano em torno das vias de transporte, quer ao longo das rodovias, quer ao redor das estações ferroviárias.

A estrutura do sítio natural é outro importante elemento que influencia a expansão urbana. Os elementos naturais, como as serras, os rios e as zonas de proteção de recursos naturais, na maioria das vezes, funcionam como obstáculos ao crescimento, causando o adensamento em determinadas áreas.

Mota (1981) e Mello (2002) enfatizaram a relação entre o desenvolvimento urbano com o espaço natural. Para os autores, a cidade deve ser vista como um ecossistema formado por dois sistemas independentes: o sistema natural, composto pelo meio físico e biológico, e o sistema cultural, que consiste no homem e em suas atividades.

De fato, esses dois sistemas coexistem sob ações de causa e efeito. Se por um lado, o sistema cultural é um modelo dinâmico, que vive em constante alteração, por outro, o sistema cultural influencia o natural, que também repercute no cultural. O clima, o relevo, os tipos de formações do solo, os recursos hídricos e a cobertura vegetal influem no processo de urbanização e são influenciados por esse.

O relevo é o principal elemento a condicionar o processo de urbanização. A declividade dos terrenos de uma região tende a conduzir o crescimento urbano ao longo dos vales, seguindo áreas de menor cota, ou seja, o crescimento tende a se processar mais no sentido do vale do que transversalmente a ele. Com o avanço tecnológico, o homem tem conseguido transpor os obstáculos impostos pelo relevo, principalmente por meio das movimentações de terras, causando impactos sobre a paisagem e o meio ambiente.

As condições geológicas podem ser favoráveis ou apresentar limitações a determinado tipo de solo. Algumas formações geológicas se mostram mais aptas à construção civil no que diz respeito à resistência das cargas, umidade, capacidade de absorção, etc. outras devem ser destinadas a áreas de lazer, como os parques. Solos frágeis devem ter cobertura vegetal mantida para evitar impactos negativos ao meio ambiente. São, portanto, uma barreira ao crescimento urbano.

Os cursos d'água são um atrativo para as aglomerações humanas. O núcleo original das cidades normalmente surge às margens dos rios, em virtude da necessidade da água para atividades biológicas e produtivas. A manutenção do volume de água nos cursos d'água faz parte do ciclo hidrológico, circulando através do ar, do solo, e do subsolo. Por isso, a ocupação urbana deve evitar transformações no meio natural que interfiram no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, na quantidade de água.

O fenômeno da ocupação urbana está intrinsecamente relacionado com a remoção da cobertura vegetal original do solo. A vegetação, por sua vez, interfere em todos os demais elementos que estruturam o espaço natural. Ela contribui para a retenção e a estabilização dos solos, previne contra a erosão, integra o ciclo hidrológico, ameniza o aumento da temperatura e de poluição do ar, contribui no aspecto estético da paisagem e serve com habitat para inúmeras espécies animais. Por isso, sua remoção deve ser planejada de forma a ser redistribuída e/ou incorporada ao ambiente urbano.

1.3. Localização da área de estudo

Situada na Serra do Mar, a APA Petrópolis estende-se sobre terrenos dos municípios de Petrópolis, Magé, Guapimirim e Duque de Caxias, em altitudes que variam dos 100 aos 1967m (Serra da Maria Comprida), abrangendo uma superfície de aproximadamente 595 km² (Figura 1).

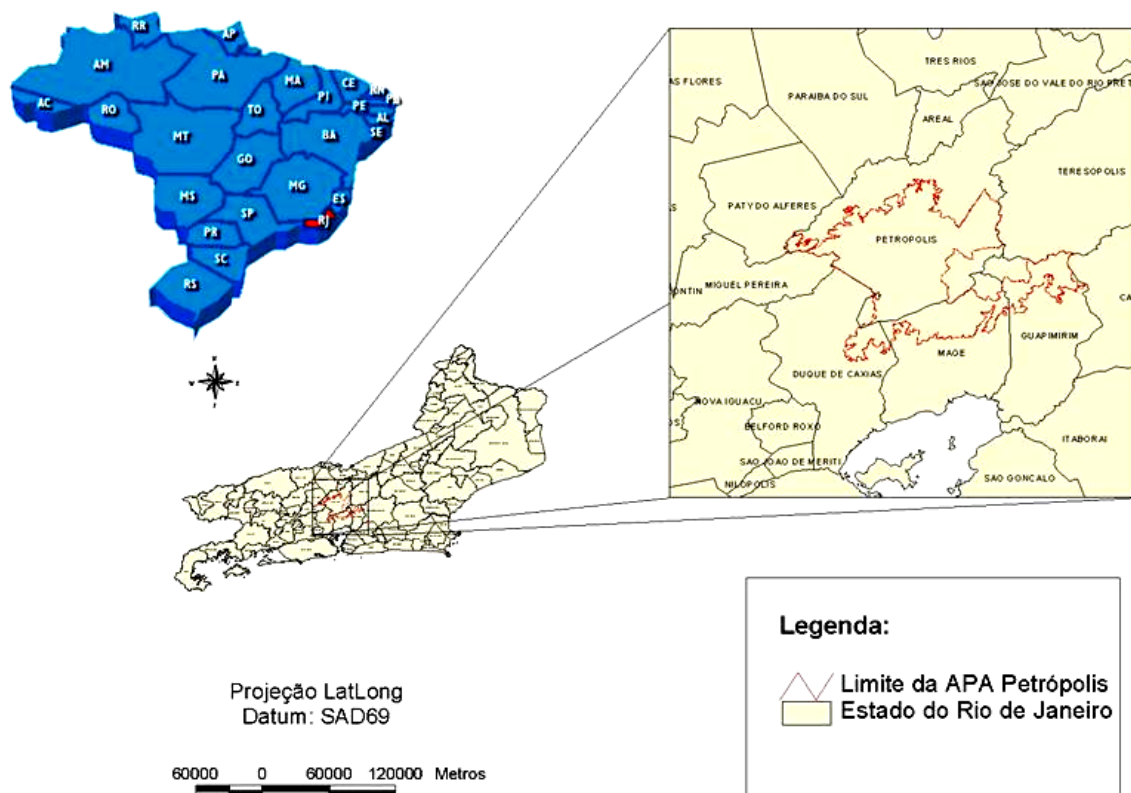


Figura 1 – Localização da APA Petrópolis, no contexto do Estado do Rio de Janeiro.

Nos principais vales fluviais – rios Piabanha, da Cidade, das Araras, Itamarati, Cuiabá ocorrem depósitos aluviais quaternários constituindo planícies alongadas e lateralmente restritas (FNMA/ECOTEMA, 2001).

A atração turística da região resulta tanto da procura pelos monumentos e sítios históricos do município, quanto pela apazibilidade dos seus ambientes naturais.

O crescente número de emigrantes, veranistas ou não, resulta tanto dos benefícios e facilidades oferecidos pelo grande centro urbano em que se constitui o município de Petrópolis, da proximidade e rápido acesso à cidade do Rio de Janeiro, quanto pelos

ambientes preservados e tranquilos dos vales e encostas dos velhos e novos núcleos rururbanos¹, como ilustra a Figura 2.



Fonte: FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001.

Figura 2 – Área rururbana em Petrópolis, Vale da Boa Esperança.

Na APA existem inúmeras nascentes protegidas por florestas, cujos rios e córregos que se formam vertem para a Baía de Guanabara e para a bacia do rio Paraíba do Sul. Estes cursos d'água abastecem comunidades residentes dentro e fora da APA e são, juntamente com a cobertura vegetal, os principais atrativos turísticos das áreas não urbanas. A presença de grandes maciços florestais nos vales e encostas, cuja exuberância e estado de preservação são atrativos para os turistas que neles se estabelecem por meio de condomínios e pousadas.

¹ De acordo com o Art. 2º da LUPOS, o Município de Petrópolis se divide em Zonas que são diferenciadas por suas características gerais de uso e ocupação do solo, são elas: Rural (ZRL), Rururbana (ZRB), Urbana (ZRU) e Proteção Especial (ZPE).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foi considerado o Plano Diretor do Município de Petrópolis, por ser essa a cidade de maior expressão dentro da APA e a Lei de Lehmann (Lei Federal 6.766 de 19 de dezembro de 1979). Para fins de planejamento, o município utiliza, entre outros instrumentos e nos termos do Estatuto das Cidades, o Plano Diretor de Petrópolis, a Lei de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo (LUPOS) e o Zoneamento Ambiental Municipal, que considera as recomendações da Área de Proteção ambiental de Petrópolis/APA Petrópolis.

Os materiais utilizados na realização deste trabalho foram:

- Mapa geológico, produzido pelo FNMA/ECOTEMA (2001), na escala 1:50.000, em formato digital.
- Mapa geomorfológico, produzido pelo FNMA/ECOTEMA (2001), na escala 1:50.000, em formato digital.
- Mapa de classes de solos, produzido pelo FNMA/ECOTEMA (2001), na escala 1:50.000, em formato digital.
- Mapa de vegetação e uso atual das terras, produzido pelo FNMA/ECOTEMA (2001), na escala 1:25.000, em formato digital.
- Mapa do Zoneamento Ambiental, produzido pelo FNMA/ECOTEMA (2001), na escala 1:25.000, em formato digital.
- Mapa do arruamento, produzido pelo FNMA/ECOTEMA (2001), na escala 1:25.000, em formato digital.
- Mapa da hidrografia, produzido pelo IBGE (1978), na escala 1: 50.000, em formato digital.
- Carta de declividades gerado para o capítulo anterior.
- software GIS Idrisi 32, *version* Kilimanjaro, maio de 2003, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis;
- software ArcGIS/ArcGRID, *version* 8.1, © Environmental Systems Research Institute, Inc;
- Plano Diretor de Petrópolis, de 2003 (Lei n° 6.070, de 18 de dezembro de 2003, versão revista e atualizada da Lei 4.870 de 05 de novembro de 1991), cedida pela Prefeitura de Petrópolis.
- Lei n° 5.393, de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo do Município de Petrópolis - LUPOS, de 25 de maio de 1998.
- Lei n° 6.766, Lei Federal que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, de 19 de dezembro de 1979.

3.1. Desenvolvimento da metodologia

As análises espaciais foram realizadas utilizando-se o módulo MCE do GIS Idrisi Kilimanjaro como sistema de apoio à tomada de decisão, usando critérios múltiplos para selecionar as áreas mais adequadas para a expansão urbana, na área de estudo, de forma a não agravar os movimentos de massa recorrentes na APA Petrópolis. O módulo MCE foi utilizado para avaliar e agregar os critérios oriundos de informações existentes ou geradas.

Os critérios podem ser fatores ou restrições. Os fatores são limitações relativas que definem algum grau de aptidão para as regiões geográficas, enquanto as restrições são limitações absolutas que limitam o espaço de análise.

As restrições estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Restrições utilizadas nas análises.

ID	DESCRIÇÃO
R1	Declividades superiores a 45%
R2	Distância mínima de 15m (“ <i>buffer</i> ”) de qualquer curso d’água (de acordo com a Lei de Uso Parcelamento e Ocupação do Solo de Petrópolis).
R3	Distância mínima de 15m (“ <i>buffer</i> ”) do sistema viário (de acordo com a Lei Federal 6766/79 e com a Lei de Uso Parcelamento e Ocupação do Solo de Petrópolis).
R4	Distância mínima de 50m (“ <i>buffer</i> ”) das falhas geológicas (de acordo com a Lei de Uso Parcelamento e Ocupação do Solo de Petrópolis).
R5	Zonas de proteção do patrimônio natural e de conservação do patrimônio natural (de acordo com o Plano Diretor de Petrópolis).

Os fatores utilizados nas análises foram:

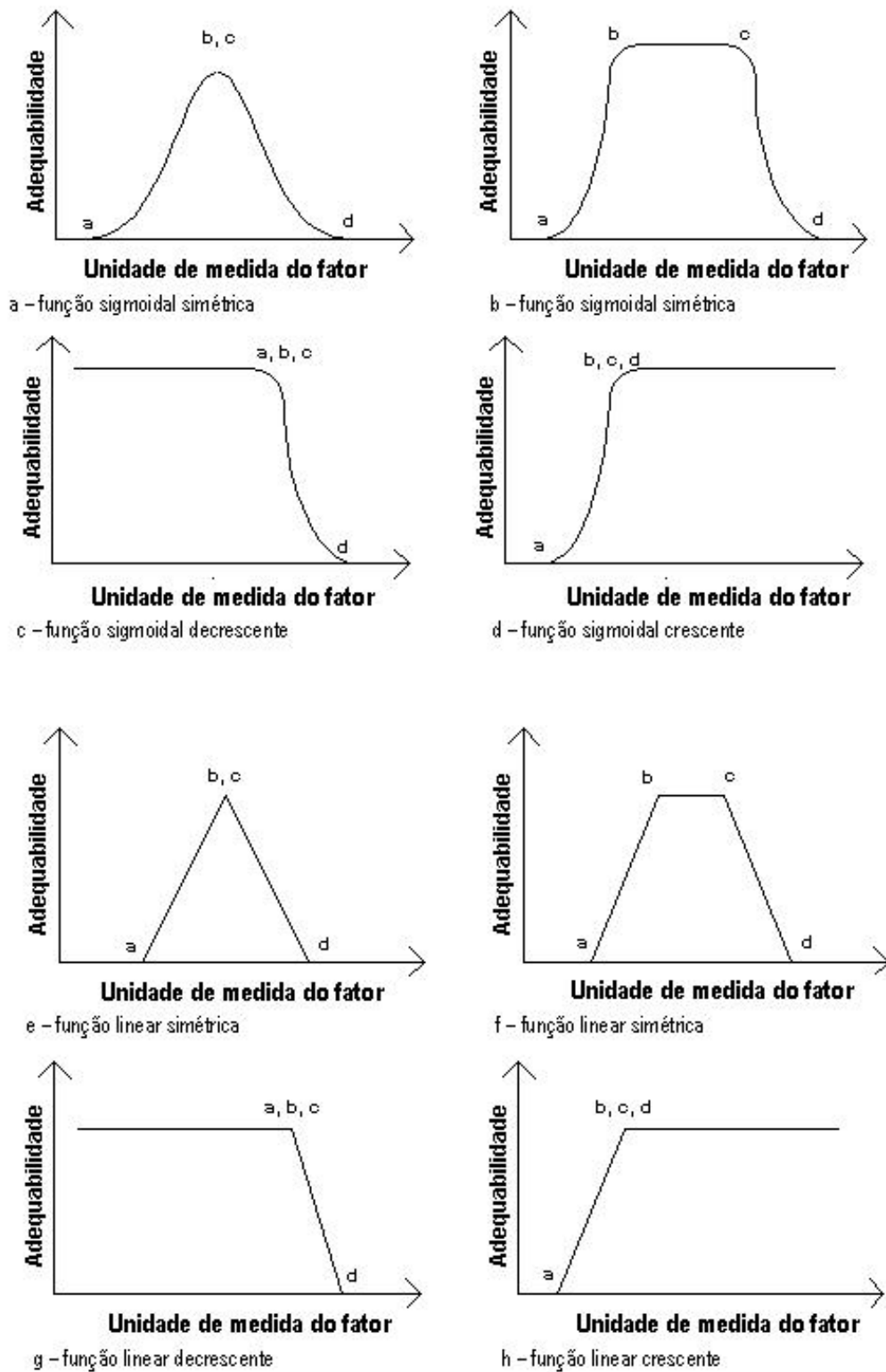
- As zonas contidas no Zoneamento ambiental.
- Distância das rodovias.
- Distância de áreas já urbanizadas.
- Geomorfologia.
- Classes de declividades.
- Classes de solos.
- Geologia.
- Uso do solo.
- Distância dos cursos d'água.

2.1.1. Processo de análise

Os fatores, em uma primeira etapa, foram agregados através da combinação linear ponderada (WLC), considerando seus respectivos pesos. Na segunda etapa, os fatores, juntamente com as restrições foram agregados através da combinação de média ponderada ordenada, que considera dois conjuntos de pesos, permitindo controlar o nível de compensação entre os fatores e o nível de risco na determinação da adequabilidade.

2.1.2. Descrição dos fatores

Para converter os fatores em imagens padronizadas a uma escala de adequabilidade, foram utilizadas as funções dos conjuntos fuzzy, em bytes, variando de zero (áreas menos adequadas) a 255 (áreas mais adequadas). Em alguns casos, os fatores foram reescalados para valores categóricos de adequabilidade (Quadro 2). A Figura 3 mostra as funções membros do conjunto fuzzy utilizadas neste trabalho.



Fonte: adaptado de Corrêa, 2003.

Figura 3 – Funções do conjunto *fuzzy*.

Quadro 2 – Fatores utilizados na análise. Funções *fuzzy* adotadas e seus respectivos pontos de controle.

ID	DESCRIÇÃO	d _{min}	Função <i>Fuzzy</i>	Ponto de Controle			
				a	b	c	d
F1	Distância mínima de 15m de qualquer curso d'água .	15m	Linear monotônica crescente	15 m	200 m	200 m	200 m
F2	Pedologia	-	Escala [0-255]	-			
F3	Geologia	-	Escala [0-255]	-			
F4	Geomorfologia	-	Escala [0-255]	-			
F5	Uso do Solo	-	Escala [0-255]	-			
F6	Zoneamento Ambiental	-	Escala [0-255]	-			
F7	Declividade máxima de 45% .	0%	Sigmoidal Simétrica	0%	5%	20%	45%
F8	Áreas muito distantes do sistema viário oneram sensivelmente os custos de implantação de infra-estruturas.	15 m	Linear monotônica decrecente	0m	5881m	5881m	5881m
F9	Áreas mais próximas ao centro urbano são mais valorizadas e diminuem os custos de implementação de infra-estrutura.	0m	Linear monotônica decrecente	0m	6.846m	6.846m	6.846m

2.1.2.1. Distância dos cursos d'água (F1)

O valor 3630m foi obtido após a aplicação do módulo Distance na imagem de recursos hídricos, produzindo uma superfície contínua de valores de distância Euclidiana. Como a APA é bem servida de recursos hídricos, fixou-se um patamar de estabilização em 200m, pois uma distância excessiva da água pode significar maiores custos em infra-estruturas.

2.1.2.2. Pedologia (F2)

As classes pedológicas foram reescaladas a valores categóricos de adequabilidade. Para isso, entretanto, foi elaborado um mapa que conjugasse as classes de solos quanto ao risco de erosão, o relevo, a cobertura vegetal, a pressão de uso antópico e áreas sujeitas à inundação. Esses temas foram cruzados no módulo *Crosstab* e reclassificados com diferentes valores de adequabilidade, conforme a Quadro 3.

Quadro 3 – Quadro contendo as classes de solo, as características do relevo, da cobertura vegetal, pressão de uso antrópico e as áreas com declividades até 2% sujeitas à inundações. A tabela também apresenta o resultado do cruzamento entre todos os temas e a adequabilidade para cada nova classe.

Classes de Fragilidade/Adequabilidade	Característica do Relevo	Tipo de Solo	Cobertura Vegetal	Pressão de Uso Antrópico	Risco de Inundação
Muito Baixa/ 250	Elevações rochosas sob forma de montanhas com algumas escarpas, onde vários penhascos ocorrem com rocha aflorante. Topos angulosos e arredondados, vertentes convexas e retilíneas. Altitude média de 1.200 m.	(Ar) Associação Afloramento de Rocha + Neossolos Litólicos.	Floresta ombrófila densa. São expressivas as florestas das cabeceiras do córrego do Meio e rio da Cidade, que deságuam na bacia do rio Paraíba do Sul, além de diversas manchas, de vários tamanhos, dispersos por toda APA. Também abrange áreas de estágio médio de sucessão vegetal secundária.	Sítios de lazer e residências em condomínios de alto padrão construtivo e Sítios de pequena produção: esses sítios têm origem em grandes propriedades que foram subdivididas ou são frutos de herança. Como se localizam, em geral, em locais aprazíveis, são ladeados por sítios ou condomínios de luxo e muitas das vezes por estes absorvidos. Todavia há ausência de escolas, postos de saúde, comércio e não raramente calçamento das ruas.	A rede de drenagem é controlada por fraturas entalhando vales profundos. Devida a sua ocorrência em grandes altitudes, o risco de inundação é nulo.
Baixa/ 200	Relevo colinoso, forte ondulado, com topos arredondados e angulosos, vertentes convexas, vales abertos e fechados, alvéolos colúvio-aluvionares restritos. Atitude média variando entre 700 e 900 m.	(Ad) Associação Neossolos Flúvicos + Gleissolos Háplicos; (LVA1) Latossolo Vermelho-Amarelo	No relevo forte ondulado e montanhoso, com declividades entre 30 a 60% e cobertura vegetal de floresta ombrófila densa pouco alterada, o que constitui uma eficiente cobertura protetora dos solos. Já no relevo plano e suave ondulado, ocorre a cobertura original de floresta ombrófila densa, bastante alterada. Nestas regiões, ainda ocorre o estágio inicial de sucessão.	Sítios de lazer e residências em condomínios de alto padrão construtivo: apresentam geralmente boa infra-estrutura, com abastecimento de água, iluminação, arborização, preservação ambiental, segurança e acesso restrito às pessoas credenciadas. Sítios de pequena produção, como se localizam, em geral, em locais aprazíveis, são ladeados por sítios ou condomínios de luxo e muitas das vezes por estes absorvidos.	Quando ocorrem em baixas declividades, distam em 30m das margens do rio, não sendo propenso às inundações.
Média/ 150	Relevo caracterizado por encostas de transição, sulcadas por vales subparalelos com interflúvios lineares de topos angulosos, vertentes convexas e retilíneas, vales fechados a abertos. Patamares arredondados e desnudos. Declividades 45-75% (montanhoso) e 20-45% (forte ondulado).	(LVA2) Associação Latossolo Vermelho-Amarelo + Cambissolo	Abrange regiões desde afloramento rochoso e vegetação rupestre, passando por pastagens.	Esta classe também abrange os sítios de lazer e os sítios de pequena produção, além de áreas em expansão urbana, que se constitui de superfícies adjacentes ou internas às áreas urbanas. Trata-se, principalmente, de terrenos baldios, loteamentos e superfícies terraplenadas e áreas de influência das vias de circulação, em trechos que distam entre 20 e 30m da hidrografia.	Existe o risco de inundação somente em áreas muito próximas (10m) aos rios que cortam a paisagem agrícola.
Alta/ 100	Relevo montanhoso à forte ondulado, de topos arredondados e angulosos, vertentes convexas e retilíneas, com declividades entre 20 e 45%. Presença de tálus junto às encostas rochosas, colúvios espessos e matacões à meia encosta.	(LVA3) Associação Latossolo Vermelho-Amarelo + Cambissolo + Solos Litólicos	Floresta ombrófila densa, estágios médio e inicial de sucessão vegetal secundária, reflorestamento com espécies exóticas, disseminados por toda a APA, entretanto suas maiores expressões estão em Araras e Itaipava. Pastagens e áreas agrícolas. Afloramento de rochas, ora completamente desnudos, ora cobertos por vegetação rupestre.	Engloba desde sítios de lazer e de pequena produção a áreas fortemente antropizadas.	Áreas sujeitas à inundação devido ao alto grau de antropização de algumas áreas, o que diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial. Este quadro é agravado nos meses de outubro a abril, devido a intensas precipitações, de curta duração.
Muito Alta/ 80	Relevo montanhoso a escarpado, topos angulosos, encostas e vertentes retilíneas com declividades acentuadas, entre 40 e 70%.	(Cd) Associação Cambissolo + Argissolo Vermelho-Amarelo	Constituída por cobertura vegetal graminóide e gramíneo-herbácea, de origem antrópica, afloramentos rochosos, vegetação rupestre. Em depressões rochosas ou falhas, onde o solo é mais desenvolvido, apresenta-se como vegetação arbustiva, característica de um processo de sucessão vegetal primária. As florestas aparecem de forma fragmentada.	Sítios de lazer e de pequena produção, mas principalmente área urbana e de influência das vias de circulação.	Condições mais desfavoráveis nos fundos de vales, quadro agravado pelo forte grau de ocupação urbana, onde as classes mais desfavorecidas constroem suas casas às margens dos rios.

Considerando-se as áreas mais propícias para a expansão urbana em função das classes encontradas, quanto mais favoráveis essas características nas unidades de mapeamento, maior sua aptidão. Considerou-se, de acordo com os dados obtidos do *Crosstab*, a classe de fragilidade muito baixa a mais adequada e a muito alta, a menos adequada.

2.1.2.3. Geologia(F3)

Assim como a pedologia, as classes geológicas foram reescaladas a valores categóricos de adequabilidade, com o diferencial de conjugar também classes de declividades, similarmente ao que foi feito com a pedologia (Quadro 4).

considerando-se as áreas mais propícias aquelas que apresentam a Unidade Granito de Nova Friburgo e declividades baixas (0 a 5%). A Unidade Rio Negro Migmatítico e a Unidade Rio Negro Granitóide associadas a altas declividades (maiores que 45%) foram consideradas as menos adequadas.

Quadro 4 – Quadro contendo o resultado do cruzamento entre a classes geológicas e as classes de declividades e a adequabilidade para cada nova classe.

RESULTADO DO CROSSTAB	ADEQUABILIDADE
GR/0-5%	255
BGR/0-5%; GRT/0-5%; GR/5-15%; BGR/5-15%; GR/15-30%.	200
MG-GN/0-5%; GRT/5-15%; BGR/15-30%; GR/30-45%	150
Qa/0-5%; MG-GN/5-15%; GRT/15-30%; MG-GN/15-30%; BGR/30-45%; GRT/30-45%; GR/>45%; BGR/>45%	100
MG-GN/30-45%; GRT/>45%; MG-GN/>45%	50

Nota: MG/GN: Unidade Rio Negro Migmatítico; GRT: Unidade Rio Negro Granitóide; BGR: Batólito Serra dos Órgãos; GR: Unidade Granito Nova Friburgo; Qa: Depósitos Aluviais.

2.1.2.4. Geomorfologia (F4)

As classes geomorfológicas foram reescaladas a valores categóricos de adequabilidade conforme mostra o Quadro 5.

Considerando-se as áreas menos adequadas aquelas que apresentam a unidade Montanhas Assimétricas e a unidade Escarpas Abruptas, pois ambas são sustentadas por migmatitos e granitóides, possuem encostas rochosas de declividades acentuadas. O relevo caracteriza-se como montanhoso, com desníveis altimétricos entre 360 e 450 metros e entre 200 e 300 metros para as Montanhas Assimétricas e Escarpas Abruptas, respectivamente.

Como áreas mais propícias foram consideradas aquelas que apresentam a Unidade Colinas Altas. Essa unidade possui substrato rochoso constituído principalmente por biotita-gnaisses, migmatitos e granitóides. O biotita-gnaiss é o tipo litológico mais propenso a formar manto de alteração mais espesso, dando origem a solos do tipo Latossolo e, secundariamente, Cambissolo (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

Quadro 5 – Quadro contendo as classes geomorfológicas e a adequabilidade correspondente.

UNIDADES DE RELEVO	DESCRIÇÃO	ADEQUABILIDADE
MA (Montanhas Assimétricas)	Elevações rochosas sob a forma de montanhas com algumas escarpas, onde vários penhascos ocorrem com rocha aflorante sem vegetação. Declividades entre 45 e 75%.	0
EA (Escarpas Abruptas)	Escarpas abruptas, sulcadas por vales de rios torrenciais, separados por espigões. Declividades maiores do que 75%.	0
MS (Morros com Serras Restritas)	Relevo montanhoso com declividades entre 20 e 45%.	150
EE (Escarpas com Espigões)	Declividades entre 45 e 75% (montanhoso) e declividades entre 20 e 45% (forte ondulado).	100
CA (Colinas Altas)	Relevo colinoso, forte ondulado, com declividades entre 20 e 45%.	200
VE (Vales Estruturais)	Os vales contêm depósitos restritos de aluvião e geralmente grandes concentrações de blocos rolados ao longo do talvegue.	180

2.1.2.5. Uso do solo (F5)

Os valores de adequabilidade foram distribuídos dentro das classes de uso do solo de acordo com as características viáveis à expansão urbana e proximidade aos núcleos urbanos existentes. Às áreas utilizadas como pastagem e expansão urbana foram atribuídos os maiores valores de adequabilidade (Quadro 6).

Quadro 6 – Classes de vegetação e uso atual das terras.

CLASSES DE USO DO SOLO*	DESCRIÇÃO*	ADEQUABILIDADE
Áreas de Expansão (Ae)	Áreas subjacentes ou internas às áreas urbanas, principalmente, terrenos baldios, loteamentos e superfícies terraplenadas.	250
Áreas Agrícolas (Ag)	Terras onde se desenvolve a horticultura.	50
Afloramento Rochoso (Ar)	Superfícies de rochas expostas, apresentando, por vezes, pequenas áreas cobertas por fina camada de materiais decompostos (solos incipientes).	80
Área Urbana	Construções residenciais, industriais, comerciais, ruas, praças e outros espaços construídos pelo homem.	0
Estágio Inicial de Sucessão Vegetal Secundária (E1)	Cobertura vegetal envolvendo comunidades de substituição de fisionomias graminóide, herbácea e arbustiva.	150
Estágio Intermediário de Sucessão Vegetal Secundária (E2)	Cobertura vegetal envolvendo comunidades de substituição de fisionomias arbóreo-arbustivas fechadas.	50
Floresta Ombrófila Densa (F1)	Integrante da Mata Atlântica, constitui a comunidade clímax da região.	0
Área de Influência das Vias de Circulação (Iv)	Extensas áreas com obras de contenção de encostas, que servem para manter em bom estado as margens das rodovias, mesclam-se com ruínas, pequenos comércios, pequenas residências, depósitos de entulhos e pequenas áreas reflorestadas.	80
Pastagem (Pt)	Cobertura vegetal graminóide e gramíneo-herbácea, de origem antrópica, utilizada, principalmente, para o criatório de gado.	220
Reflorestamento (Re)	Comunidades arbóreas constituídas de espécies exóticas, como o pinus, eucalipto, araucária e cipreste.	0
Sítios de Pequena Produção (Sp)	Propriedades de classe média e média-baixa, utilizada, em sua maioria, como residências, apresentando a criação de pequenos animais, pomares e agricultura de subsistência, cuja produção excedente é comercializada na vizinhança.	120
Sítios de Lazer e Residências em Condomínios de Luxo (Sr)	Áreas utilizadas por pessoas da classe média-alta e alta. Essas propriedades são utilizadas tanto para lazer quanto para residência fixa ou de longa temporada.	180
Vegetação Rupestre (Vr)	Comunidades vegetais vizinhas aos afloramentos rochosos.	50

*Fonte: FNMA/ECOTEMA, 2001.

2.1.2.6. Zoneamento Ambiental (F6)

O Zoneamento Ambiental é o instrumento que estabelece a ordenação do território de uma APA, mediante a identificação de unidades ambientais (zonas) de comportamento interno similar com relação aos elementos dos meios físico, biótico e sócio-cultural, elencando as diretrizes de uso com vistas à conservação e/ou proteção dos seus recursos naturais e humanos, objetivando a sustentabilidade do desenvolvimento (FNMA/ECOTEMA, 2001).

As zonas foram reescaladas a valores categóricos de adequabilidade de acordo com a aptidão de cada zona para a expansão urbana, conforme mostra o Quadro 7,.

Quadro 7 – Quadro contendo as zonas e suas adequabilidades.

ZONAS*	DESCRIÇÃO*	ADEQUABILIDADE
ZRA1	Zona de Recuperação Social e Natural - Compreende áreas com o meio social degradado, assentadas sobre superfícies, geralmente, degradadas ou legalmente proibidas.	50
ZRS1	Zona de Recuperação Social - Compreende áreas onde o meio social apresenta-se degradado, assentado sobre áreas com suscetibilidade natural média, não havendo impedimentos naturais ou legais à sua ocupação.	100
ZRN2	Zona de Recuperação Natural - Compreende áreas degradadas sob o ponto de vista natural.	50
ZRN2*	Subzona de Recuperação Natural e de Expansão Restrita da Ocupação – Compreende áreas com suscetibilidade natural Média a Alta até Alta, com parcelas degradadas sob ponto de vista natural, em parte passíveis de ocupação mediante cuidados especiais.	120
ZCO1	Zona de Consolidação da Ocupação das Áreas Construídas – Compreende áreas já ocupadas, devendo ser objeto de consolidação e/ou melhorias do uso e conservação do patrimônio sócio-histórico-cultural.	180
ZCO1*	Subzona de Consolidação da Ocupação das Áreas Construídas – Compreende igualmente áreas já ocupadas, porém assentadas sobre terrenos de alta suscetibilidade natural.	150
ZCN2	Zona de Consolidação da Ocupação das Áreas Não Construídas Não Agrícolas – Compreende áreas de influência de vias de circulação e áreas ocupadas com sítios de lazer, excluindo-se as construções.	120
ZCR2	Zona de Consolidação da Ocupação das Áreas Não Construídas Agrícolas – Compreende áreas agrícolas e sítios de pequena produção.	50
ZEU2	Zona de Expansão da Ocupação com Áreas Construídas – Compreende áreas apropriadas para a expansão com a ocupação urbana e rururbana, em terrenos com suscetibilidade natural Média.	230
ZPC3	Zona de Proteção do Patrimônio Natural - Conservação - Compreende áreas pouco ou muito pouco antropizadas, indicadas para conservação, caracterizando áreas de uso restrito.	0
ZPP3	Zona de Proteção do Patrimônio Natural - Preservação - Compreende áreas pouco ou muito pouco antropizadas, indicadas para a preservação permanente, caracterizando áreas vedadas ao uso. Inclui-se aqui as ZVS (Zonas de Vida Silvestre) e as áreas dos Parques, Reservas e RPPNs inseridos na APA.	0

*Fonte: FNMA/ECOTEMA, 2001.

2.1.2.7. Classes de declividades (F7)

As classes de declividades foram padronizadas através da função fuzzy linear simétrica, com os pontos de controle conforme mostrado no Quadro 2.

A adequabilidade, inicialmente, é crescente, variando de 0 a 5%, onde atinge o valor máximo de adequabilidade que se mantém até declividades 20%, declividade máxima permitida para as vias em trecho de extensão máxima de 100m, quando começa a decrescer até atingir adequabilidade nula em 45%.

Apesar da Lei de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo de Petrópolis (LUPOS) permitir a ocupação em declividades de até 100%, salvo o incremento de declividades, determinado pelo fator de acréscimo em áreas e testadas mínimas, entretanto, a declividade de 45% é a declividade máxima permitida por Lei Federal (Lei Lehmann) prevendo a execução de projetos especiais.

Áreas com declividades superiores a 45% podem ser ocupadas, uma vez que existem recursos técnicos para isso. Porém, podem exigir custos muito elevados, o que muitas vezes inviabiliza a sua ocupação.

2.1.2.8. Distância do sistema viário (F8)

O valor 5881m foi obtido após a aplicação do módulo Distance na imagem das rodovias. A adequabilidade decresce com a distância, áreas mais próximas às rodovias são mais adequadas por questões de operacionalidade, facilitando a ligação com as novas vias.

2.1.2.9. Distância das áreas urbanizadas (F9)

Como se objetiva a alocação de áreas adequadas para a expansão urbana, é importante que essas áreas estejam próximas ao núcleo urbano existente, devido às questões operacionais e de infra-estrutura.

2.1.3. Agregação dos fatores

Os fatores foram agregados, numa primeira etapa, usando o procedimento da Combinação Linear Ponderada (WLC) através da qual cada fator padronizado é multiplicado pelo seu peso correspondente, são somados e a soma é dividida pelo

número de fatores. A combinação ponderada é calculada para cada pixel na imagem e permite a compensação entre os fatores. A análise posiciona-se entre o risco extremo (OR) e o risco mínimo (AND).

O valor de compensação ou ponderação indica a importância relativa dos fatores e regula a compensação entre eles. No GIS Idrisi Kilimanjaro, o módulo Weight compara pares de fatores em termos de sua importância relativa e depois de todas as combinações possíveis, calcula um conjunto de pesos cuja somatória é 1 e uma razão de consistência.

O Quadro 8 explicita a distribuição das importâncias relativas, objetivando a expansão urbana com redução de risco dos movimentos de massa.

Quadro 8 – Importância relativa entre os fatores.

FATORES	F6	F8	F9	F4	F7	F2	F3	F5	F1
F6	1								
F8	1	1							
F9	1	1	1						
F4	1/2	1/2	1/2	1					
F7	1/2	1/2	1/2	1/2	1				
F2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1			
F3	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1		
F5	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/3	1/3	1	
F1	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1

NOTA: F1: distância dos cursos d'água; F2: pedologia; F3: geologia; F4: geomorfologia; F5: uso do solo; F6: zoneamento ambiental; F7: classes de declividades; F8: distância do sistema viário; F9: distância das áreas urbanizadas.

Numa Segunda etapa, os fatores e as restrições foram agregados pelo processo da Média Ponderada Ordenada (OWA), no qual são aplicados aos fatores um segundo conjunto de pesos, permitindo controlar o nível total de compensação entre os fatores e também o nível de risco na determinação da adequabilidade. As restrições permanecem como máscaras *boolean*.

O segundo conjunto de pesos permite controlar o nível total de compensação entre os fatores e o nível de risco na determinação da adequabilidade. O fator com menor adequabilidade recebe o primeiro *order weight*, e assim sucessivamente, ou seja, os fatores são ponderados com base em sua ordem, do mínimo para o máximo.

Segundo EASTMAN et al. (1998), em um processo de decisão envolvendo três fatores, se for aplicado todo o peso ao fator com menor adequabilidade, o resultado será uma solução conservadora, de aversão ao risco, semelhante ao operador lógico AND (todos os critérios devem ser satisfeitos). Por outro lado, se todo o peso for atribuído ao fator com maior adequabilidade, a solução será de risco elevado, equivalente ao operador lógico OR (pelo menos um dos critérios deve ser satisfeito). Se for atribuído um conjunto de pesos iguais a todos os fatores, resultaria em uma solução de risco médio e compensação total, análogo ao operador WLC, que nada mais é que um caso particular de OWA.

Para o cálculo dos pesos ponderados, foi utilizado o módulo *Weight*, para o qual foram atribuídos os valores de importância relativa entre os fatores (Quadro 9).

Quadro 9 – Importância relativa entre os fatores e os pesos ponderados calculados de acordo com a matriz de atribuição.

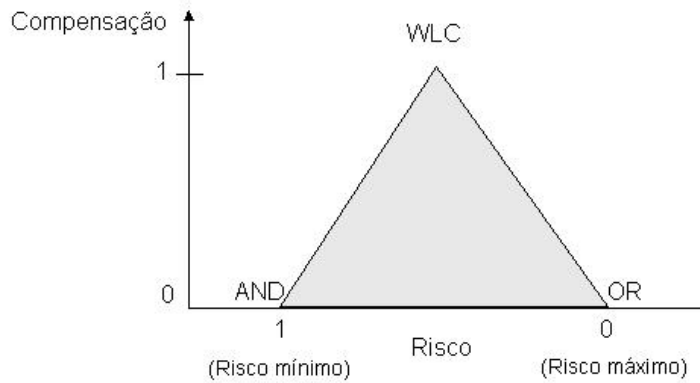
FATORES	F6	F8	F9	F4	F7	F2	F3	F5	F1	PESOS
F6	1									0,1580
F8	1	1								0,1580
F9	1	1	1							0,1580
F4	1/2	1/2	1/2	1						0,1375
F7	1/2	1/2	1/2	1/2	1					0,1181
F2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1				0,0943
F3	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1			0,0770
F5	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/3	1/3	1		0,0495
F1	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	0,0495

NOTA: valor 1: mesma importância de um item sobre outro; valor 1/2: importância intermediária, entre igualmente e moderadamente menos importante; valor 1/3: importância moderadamente menor de um fator sobre outro.

2.1.4. Cenários finais

As restrições booleanas e os fatores foram agregados pelo procedimento OWA, variando os níveis de compensação gerando cenários finais de adequabilidade. Dentre as infinitas possibilidades de variação dos níveis de riscos e grau de compensação, as que representam risco extremo (análise otimista e ausência de compensação) e aversão ao risco (análise pessimista ou conservadora), não foram consideradas, pois não estão em conformidade com os objetivos propostos. A Figura 4 explicita o espaço

estratégico de decisão OWA, onde se percebe, que além do dos casos particulares citados, qualquer combinação de pesos ordenados é possível, desde que o somatório dos mesmos seja a unidade. O risco assumido e o grau de compensação podem ser calculados pelas expressões 1 e 2.



Modificado de RAMOS e MENDES, 2001.

Figura 4 – Espaço estratégico de decisão OWA.

$$R = \frac{1}{n-1} \sum_i^n (n-1)O_i \quad \text{Equação 1}$$

$$C = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_i^n \left(oi - \frac{1}{n}\right)^2}{(n-1)}} \quad \text{Equação 2}$$

Fonte: EASTMAN et al., 1998.

Onde:

R = risco

C = compensação

O_i = peso ordenado na posição i

n = número de fatores

Os cenários finais, propostos a partir da variação dos níveis de risco e grau de compensação, estão apresentados no Quadro 10 e representados na Figura 6.

Quadro 10 – Resumo dos cenários finais propostos.

CENÁRIOS	POSIÇÃO E VALOR DOS PESOS ORDENADOS									RISCO	COMPENSAÇÃO
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°		
C1	0,2000	0,1800	0,1600	0,1400	0,1200	0,0800	0,0600	0,0400	0,0200	0,68	0,81
C2	0,1600	0,1400	0,1300	0,1200	0,1100	0,1000	0,0900	0,0800	0,0700	0,58	0,91
C3	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111	0,50	1,00
C4	0,0300	0,0600	0,0900	0,1200	0,3000	0,1600	0,1200	0,0800	0,0400	0,48	0,75
C5	0,0200	0,0400	0,0600	0,0800	0,1200	0,1400	0,1600	0,1800	0,2000	0,32	0,81
C6	0,0750	0,0750	0,0750	0,0750	0,4000	0,0750	0,0750	0,0750	0,0750	0,50	0,68

NOTA: C1: cenário 1; C2: cenário 2; C3: cenário 3; C4: cenário 4; C5: cenário 5; C6: cenário 6.

A Figura 5 mostra os cenários finais no espaço estratégico de decisão.

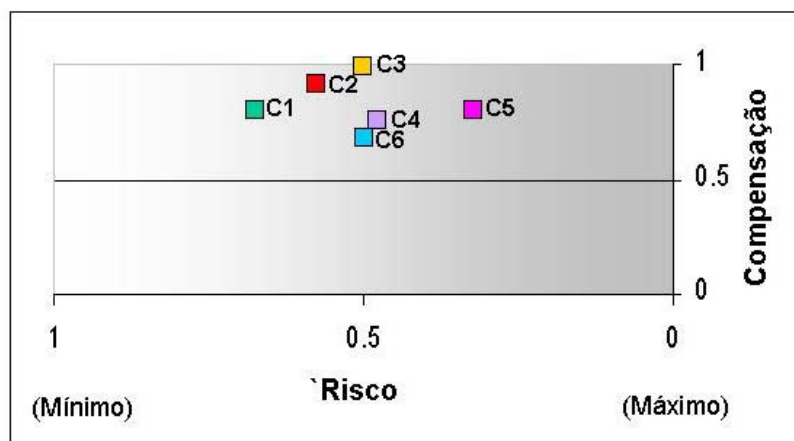
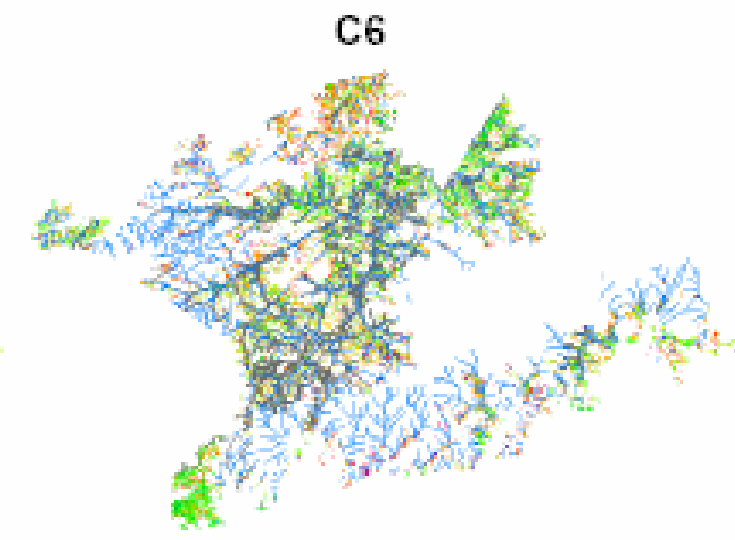
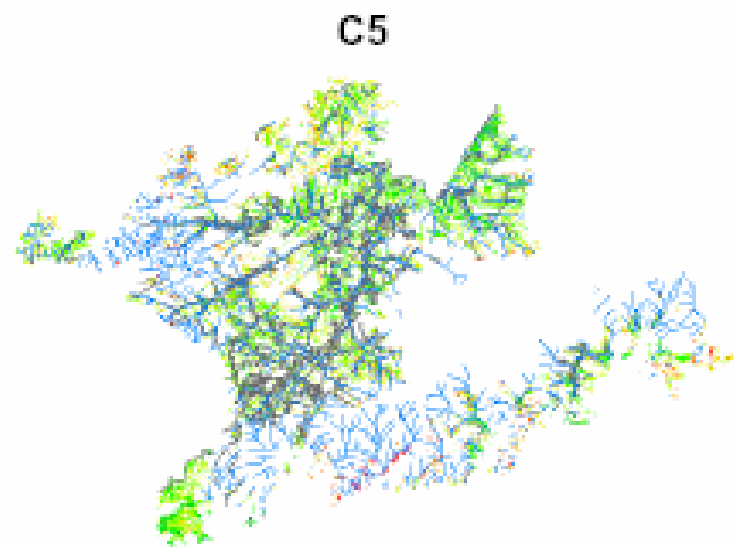
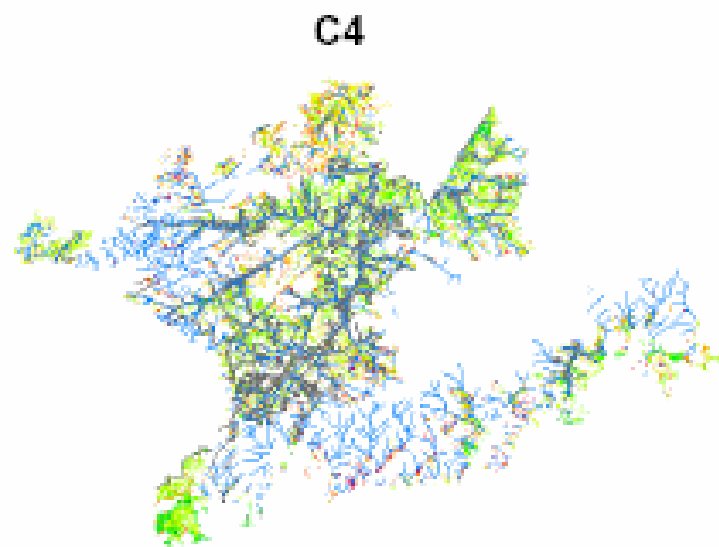
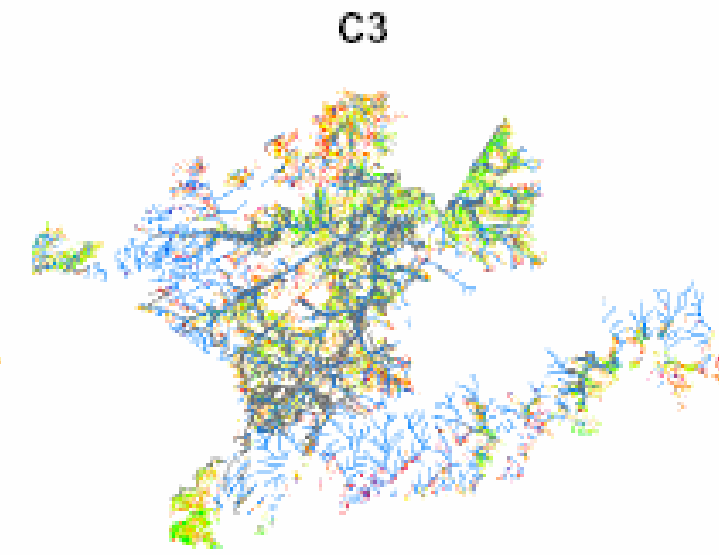
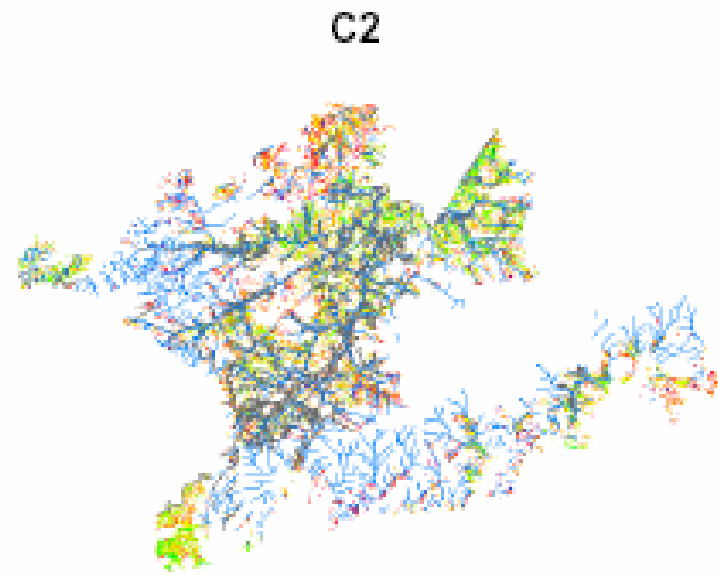
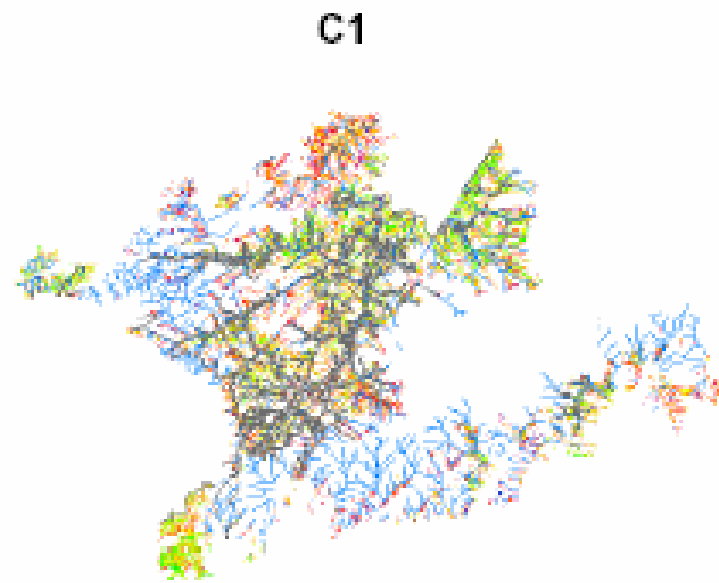
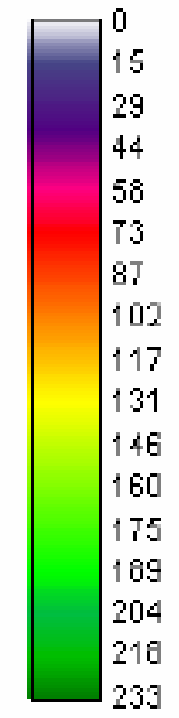


Figura 5 – Posição dos cenários finais no espaço estratégico de decisão.

Cenários



Legenda:



Projeção Universal
Transversa de Mercator

Datum: SAD 69
Fuso: 23

Escala: 1:210.000



Figura: 6

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aproximações WLC e OWA resultam em imagens contínuas de adequabilidade, que tornam a seleção de *sites*, específica para um determinado fim, problemática.

Na análise de risco, o número de áreas adequadas obtidas com o processo de agregação foi tanto menor quanto menor o risco assumido. O contrário também foi verificado, quanto maior o risco, maior o número de áreas adequadas. Raciocínio idêntico é válido para o grau de compensação. Assim, quanto menor a compensação entre os fatores, menor o número de área adequadas ao fim do processo de agregação.

Os níveis de risco e graus de compensação assumidos para os cenários finais são descritos a seguir:

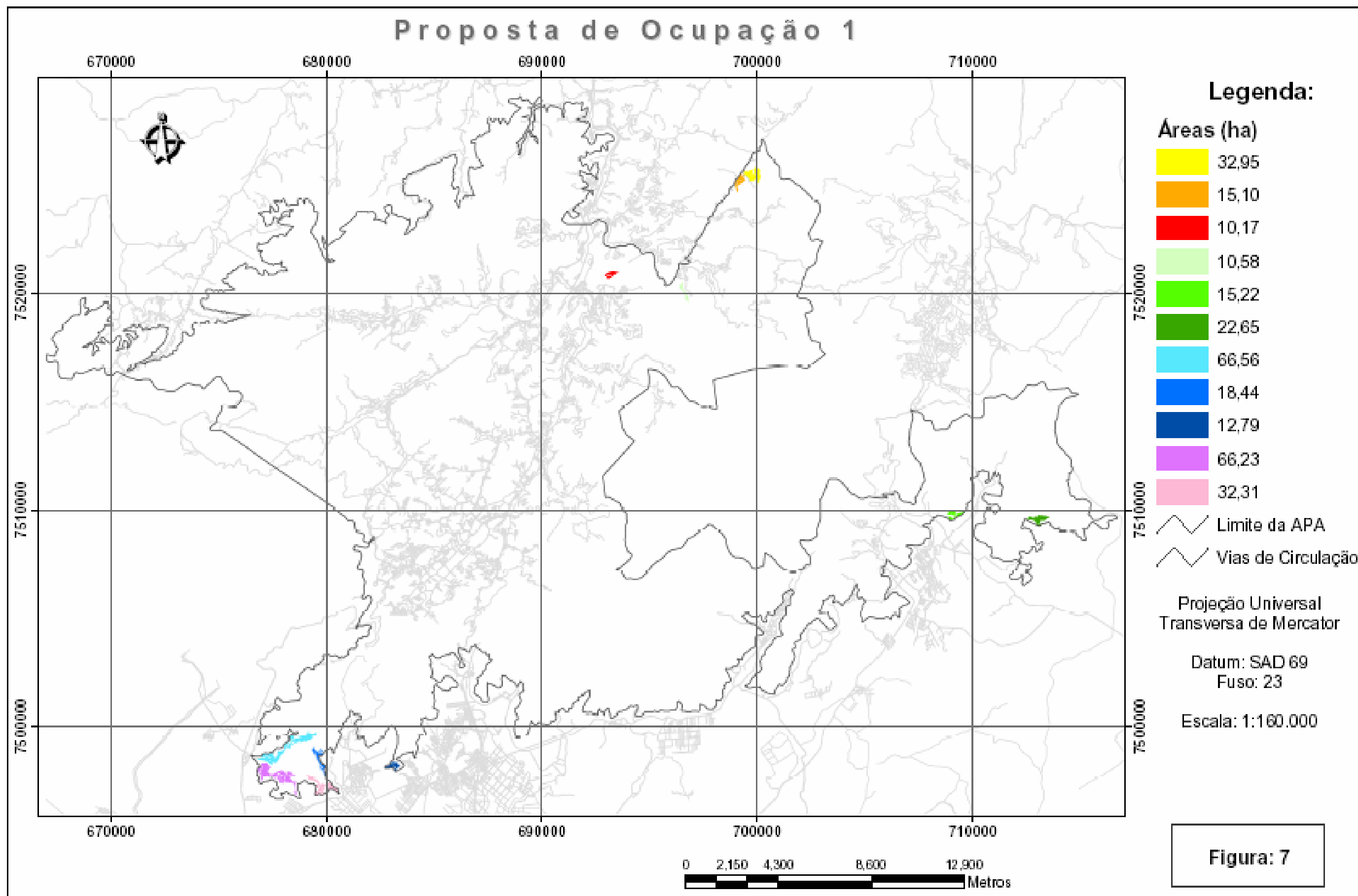
- C1: risco inferior ao médio e alta compensação;
- C2: risco inferior ao médio e alta compensação;
- C3: risco médio e compensação total;
- C4: risco superior ao médio e alta compensação;
- C5: risco superior ao médio e alta compensação;
- C6: risco médio e compensação superior à média.

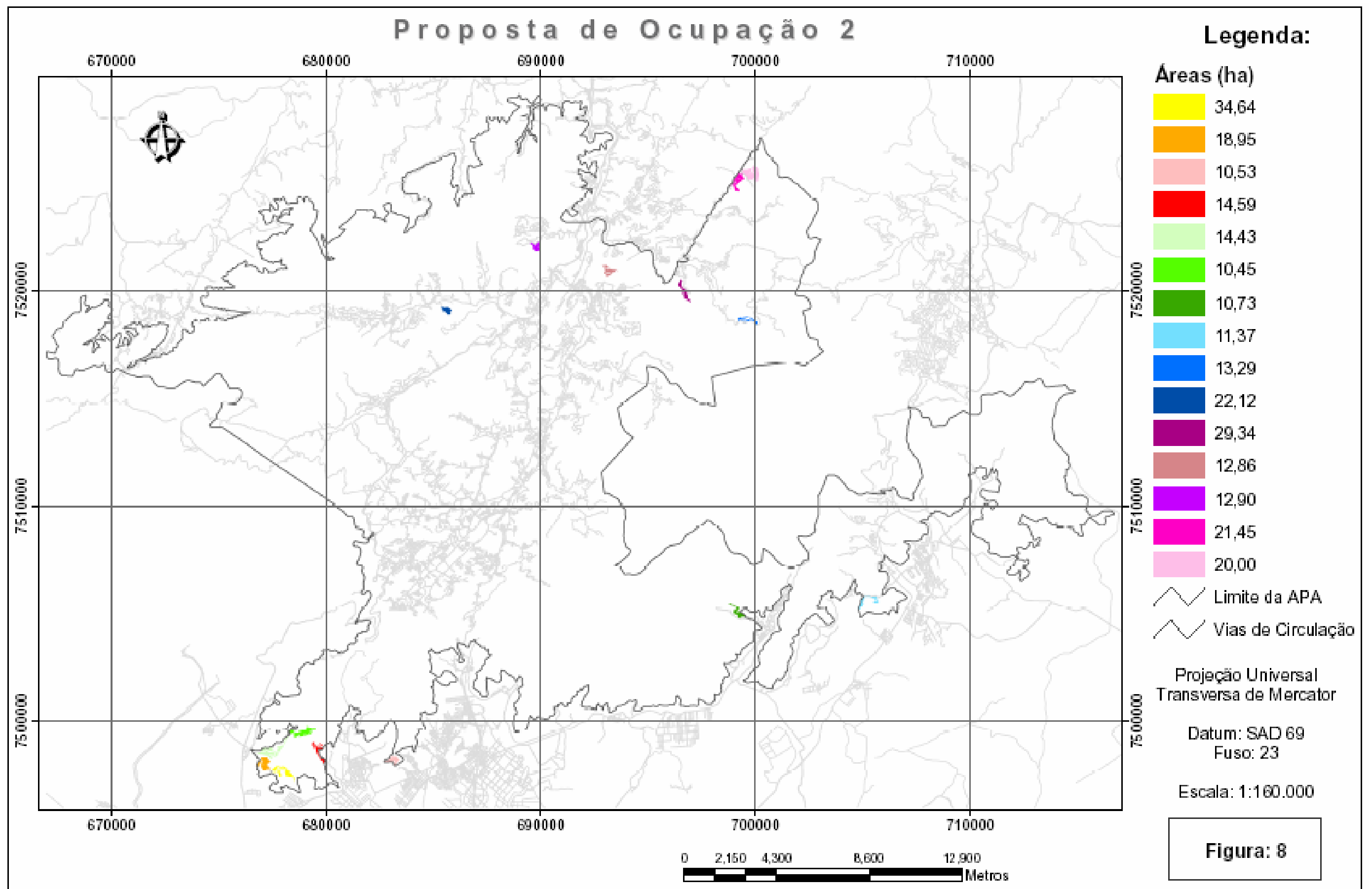
De posse dos cenários finais, com áreas classificadas em níveis contínuos de adequabilidade, foram aplicados dois novos critérios a fim de se obter áreas contíguas, individualizadas, que possam ser utilizadas para a expansão urbana. Os critérios utilizados foram:

- Área superior a 10 hectares;
- Adequabilidade mínima de 190 para a proposta a partir do cenário 4;
- Adequabilidade mínima de 215 para a proposta a partir do cenário 5.

Para a obtenção das áreas adequadas, foi aplicada a macro SITSELECT nas imagens C4 e C5. A macro usa vários módulos Idrisi para produzir dois mapas de sites. O primeiro mapa mostra cada site com identificador único para cada área, o segundo mapa mostra sites usando valores originais contínuos de adequabilidade. A macro também apresenta uma estatística sobre cada site selecionado, incluindo o valor médio da adequabilidade, a variação dos valores, desvio padrão e área em hectares.

Como resultado temos a Proposta 1 (figura 7), com áreas superiores a 10 hectares e adequabilidade mínima de 190 e a Proposta 2 (Figura 8), também com áreas superiores a 10 hectares e adequabilidade mínima de 215.





A escolha dos cenários 4 e 5, como propostas para a expansão urbana, se deu pela observação dos graus de risco e compensação. A alta compensação equilibra-se ao maior risco, garantindo a coerência das propostas. Isso se comprova pela conformidade entre as áreas encontradas e as áreas para expansão urbana contidas na ZEU2 (Zona de expansão da ocupação com áreas construídas), segundo o Zoneamento Ambiental, realizado pelo FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, e suas diretrizes de uso para o ordenamento do território abrangido pela APA Petrópolis.

A principal diferença entre as propostas apresentadas neste trabalho e o que foi feito para o Zoneamento está na consideração de áreas próximas às áreas já urbanizadas. Isso é de fundamental importância, principalmente, porque a população concentrada nos limites da APA pode ser considerada uma população essencialmente urbana, tendo em vista que as maiores concentrações localizam-se nos primeiro e segundo Distritos, que correspondem ao Centro Histórico da cidade de Petrópolis e seus bairros periféricos. A cidade de Petrópolis possui, ainda, a integração de seus principais bairros via centro da cidade, o que reitera a necessidade da expansão urbana se dar próxima aos núcleos urbanos.

Sendo a APA Petrópolis uma APA de características urbanas, outro aspecto importante considerado foi o da infra-estrutura urbana, vinculada à capacidade de acesso aos serviços básicos por parte da população. Como agravante, em uma área já bastante atingida por movimentos de massa, a abertura de novas ruas para loteamentos sem o cuidado imediato da instalação de sistemas adequados de drenagem de águas de superfície (guias, sarjetas, esgotos pluviais, valas impermeabilizadas e mesmo pavimentação) leva, inevitavelmente, à formação de sulcos que se transformarão em novas problemáticas, bem como o processo de erosão, uma vez removidos o revestimento vegetal e a camada superficial do solo, pois o processo de urbanização, por si só, pressupõe a remoção da vegetação natural.

O processo de expansão urbana pode ser entendido como resultado de uma dinâmica de conflitos e negociações entre os fatores naturais e antrópicos envolvidos, onde diferentes interesses vão se associar de acordo com o problema.

A abordagem integrada de todos os fatores utilizados neste trabalho assume uma dimensão ambiental, direcionando a APA Petrópolis para o equacionamento desses problemas, que estão além das ações de regularização, mas que também deverão incorporar os diferentes interesses envolvidos e a participação social nas decisões.

4. CONCLUSÕES

O crescimento da população se depara com a redução do número de áreas adequadas à expansão urbana nos municípios.

Nos morros da principal cidade da APA - Petrópolis, a ocupação desordenada vem acumulando riscos e prejuízos ambientais, que se evidenciam em desastres cada vez mais numerosos e na geração de paisagens urbanas cada vez mais comprometidas e deterioradas.

Essa constatação demonstra a estreita relação existente entre as características da ocupação urbana de encostas e a manutenção ou incremento de suas condições de estabilidade, além das características do tipo de ocupação e os aspectos de custos associados às implantações.

Utilizando-se a macro desenvolvida no Software GIS Idrisi, Version Kilimanjaro, denominada *siteselect*, foi possível encontrar os melhores locais (adequabilidade acima de 190 e 215, para os cenários 4 e 5, respectivamente) que apresentam áreas superiores a 10 ha;

Foram encontradas 11 áreas entre 10 e 66 ha que apresentam adequabilidade superior a 190 e 15 áreas entre 10 e 34 há com adequabilidade superior a 215.

Os resultados obtidos, no presente estudo, revelam o SIG como uma ferramenta útil e ágil na integração de informações espaciais para tomada de decisão no processo de avaliação e seleção de áreas aptas à expansão urbana.

O presente trabalho propõe uma metodologia simples de análise espacial que agrega critérios ambientais, operacionais e sócio-econômicos de dados digitais (mapas cartográficos e temáticos e imagem de satélite) espacialmente georreferenciados.

Espera-se que a metodologia venha orientar a avaliação e seleção de áreas potenciais à expansão urbana, visando, sobretudo, a redução de custos operacionais e ambientais, fundamental em uma região como a APA Petrópolis, formada por unidades geoambientais vulneráveis a desequilíbrios do meio ambiente, quer seja por processos naturais ou pela ação do homem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGHIN M. A.; SILVA, A. B. **Proposta de Novo Método de Análise Booleana em Pesquisa Metalogenética**. Caderno de Informação Georeferenciadas,1:2, 1997.
- BRASIL. **LEI N° 6.766/1979 – Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano**. Brasília – DF, 1979.
- CORRÊA, R.L. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 1993. 94p.
- EASTMAN, J. R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J. **Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS**. In: Beint, E.; Nijkamp, P (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 227-251. 1998.
- FNMA/INSTITUTO ECOTEMA. **Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis**. Petrópolis, 2001. 451p.
- GROINSTEIN, Marta Dora (2001) *Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos insustentáveis*. In: **São Paulo em Perspectiva**. vol.15 no.1 São Paulo. Jan./Mar.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem da população, 2001**. Site Oficial. Disponível em <<http://www.ibge.gov.Br>>.
- LEFEBVRE. H. **A revolução urbana**. Trad. Sérgio Martins. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1999. 178p.
- MELLO, F. A. O. **Análise do processo de formação da paisagem urbana de Viçosa, Minas Gerais**. 2002. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MOTA, S. **Planejamento urbano e preservação ambiental**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1981. 241p.
- PETRÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Petrópolis. **LEI N° 5.393/1998 – Lei de Uso, parcelamento e ocupação do solo**. Petrópolis – RJ, 1998.
- PETRÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Petrópolis. **LEI N° 6.070/2003 – Revisão do Plano Diretor de Petrópolis**. Petrópolis – RJ, 2003.

- PIVELLO, V. R.; BITENCOURT, M. D.; MESQUITA JÚNIOR, H. N.; BATALHA, A. B. Banco de dados em SIG para ecologia aplicada: Exemplo do Cerrado Pé-de-Gigante, S.P. **Caderno de Informações Georreferenciadas – CIG**, n. 3, v. 1, art. 4, 1999. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/revista/cigv1n3a4.html>>. Acesso em: 19 de março de 2004.
- RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: O caso de Valença. **Revista engenharia Civil**, v. 10, n. 10, p. 7-29. 2001.
- RODRIGUES, D. S.; SILVA, A. N. R.; RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação multicritério da acessibilidade em ambiente SIG. In: **VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica**, Lisboa, 2002. 13p.
- SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993. 157p.
- SUI, D. Z. A. **Fuzzy GIS modeling approach for Urban land evaluation**, **Computers, Environment and Urban Systems**, 16, 2:101-115, 1992.
- VILLAÇA, F. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 2001. 373p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tentou-se mostrar, ao longo do presente trabalho, um diagnóstico inicial e básico das situações de risco de movimentos de massa na APA Petrópolis, Rio de Janeiro. Para isso, identificou e caracterizou a evolução urbana, a partir da classificação de imagens orbitais; avaliou os processos da dinâmica superficial, analisando fatores físicos e antrópicos relevantes e, utilizando a avaliação multicritério, elaborou o mapeamento de áreas adequadas à expansão urbana, cumprindo, dessa forma, os objetivos inicialmente propostos.

Na APA Petrópolis, a ocorrência dos movimentos de massa também é uma consequência do modelo de ocupação, aliado ao desmatamento e à instabilidade natural do meio, onde não foram utilizadas práticas de construção e conservação do solo. Em geral, as áreas de risco envolvem populações de baixa renda que ocupam porções de declive acentuado das encostas, sem os devidos critérios.

Os efeitos das ocupações problemáticas das encostas não se restringem a elas, afetando também as áreas de baixadas e cursos d'água, através do carreamento de solo, gerando assoreamentos e propiciando inundações. A ocupação inadequada de encostas é resultado de um descaso institucional com o desenvolvimento urbano, expressado pela desconsideração dos condicionantes físicos.

Para resolver o problema, medidas estruturais são necessárias, entretanto, além de onerosas, não são uma solução eficaz e sustentável quando não estão atreladas à medidas não estruturais.

Em áreas ainda não urbanizadas, existem medidas de controle que podem ser usadas antes da ocupação. Essas medidas podem evitar que, no futuro, as medidas estruturais se tornem imprescindíveis.

No caso das áreas urbanas, a noção de meio ambiente é bastante complexa, uma vez que o homem, muitas vezes, não é capaz de perceber o quanto suas atividades, seu comportamento e anseios, influenciados por padrões culturais ou por aspectos políticos e sócio-econômicos, podem interferir na sua qualidade de vida.

A questão do risco geológico-geotécnico é o resultado da ocupação de áreas inadequadas, quer seja pela viabilidade econômica, pela especulação imobiliária, ou ainda pela falta de uma política que atue de forma efetiva, voltada para o planejamento urbano.

De modo geral, percebe-se que a diminuição na magnitude dos impactos ambientais depende do disciplinamento do uso e ocupação do solo, preservando as características do terreno, da drenagem e da vegetação natural. A paisagem

desconfigurada é fruto do crescimento espontâneo, sem o cumprimento da legislação. Trabalhos como este são importantes para que locais com características distintas sejam tratados de forma também distinta, avaliando-se tanto seus aspectos físicos quanto os sociais.

Entretanto, cabe salientar que, para qualquer pesquisa que se faça envolvendo áreas urbanas são necessários materiais cartográficos que ilustrem o maior número de dados sobre a área e em escala mais adequada que a utilizada neste trabalho, 1:10.000 seria o ideal, permitindo um nível de detalhamento maior dos critérios ambientais, operacionais e sócio-econômicos considerados. A escassez de dados sobre a área, em escala maior que a utilizada, limitou o detalhamento desta pesquisa.

Nesse contexto, os sistemas de informação geográfica transformaram-se em uma grande ferramenta de análise, nos trabalhos de planejamento urbano. No caso de Petrópolis, a cidade de maior expressão dentro da APA Petrópolis, sugere-se que o estudo realizado para os 70% do território pertencente a APA seja estendido ao restante do Município, uma vez que os problemas aqui abordados são pertinentes a toda Petrópolis.

Propõe-se também a caracterização geotécnica de campo e de laboratório para os solos da área de estudo, de modo a disponibilizar um banco de dados extensivo objetivando seu uso em projetos locais de engenharia, direcionados à estabilidade de taludes e engenharia de fundações.

Ainda, como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se o estudo da viabilidade definitiva das áreas selecionadas para a expansão urbana, com levantamentos adicionais de caráter local. Esses estudos visam a verificação *in situ* das potencialidades de cada área para a priorização de cada uma delas, bem como o levantamento do valor venal das terras, uma vez que a valorização excessiva das terras torna-se um fator complicador a mais.

Sugere-se a inclusão na análise desenvolvida neste trabalho de outros fatores, tais como os sugeridos anteriormente, a fim de gerar novas imagens de adequabilidade.