**ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA REGIÃO DE
PIRACICABA – SP, COM AUXÍLIO DE
GEOPROCESSAMENTO**

Rosana Cristina Grecchi

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

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016553

ORIENTADOR: Prof. Dr. Osni José Pejon

São Carlos
1998

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Geóloga **ROSANA CRISTINA GRECCHI**

Dissertação defendida e aprovada em 03-04-1998
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor **OSNI JOSÉ PEJÓN (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **REINALDO LORANDI**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Prof. Doutor **ADAIL RICARDO LEISTER GONÇALVES**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

JOSÉ CARLOS A CINTRA
Coordenador da Área de Geotecnia
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Aos meus pais Celi e Waldemar

Renova-te
Renasce em ti mesmo
Multiplica teus olhos para verem mais
Multiplica teus braços para semearem tudo
Destrói os olhos que tiverem visto
Cria outros, para novas visões
Destrói os braços que tiverem semeado,
para se esquecerem de colher
Sê sempre o mesmo
Sempre outro
Mas sempre alto
Sempre longe
E dentro de tudo

C. Meireles

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Osni José Pejon pela orientação, amizade, compreensão, estímulo e principalmente dedicação durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) , pela bolsa concedida.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, pela infraestrutura oferecida

Aos docentes deste departamento pelos conhecimentos transmitidos

Ao engenheiro Dr. Herivelto M. dos Santos, pelos constantes auxílios na área de informática, essenciais à realização deste trabalho.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pelo fornecimento de materiais e informações de grande valia neste trabalho, em especial à Maria Victoria Ballester, por sua gentileza em concretizar este contato.

Ao professor Dr. Lázaro Valentin Zuquette, pela constante atenção e valiosas discussões proporcionadas

Aos professores do CEAPLA/ UNESP- Rio Claro, Marcos Ferreira e Diana Hamburger, pelas discussões e conhecimentos transmitidos na área de Geoprocessamento

À amiga Alessandra C. Corsi, pela companhia e colaboração nos trabalhos de campo

À bióloga e 'irmã' Daniela Monteiro Lotti, pelas enriquecedoras discussões multidisciplinares e pela sua amizade

À prima e amiga Renata C. Moretti, pelas sugestões na vetorização dos mapas, e auxílios em várias etapas deste trabalho.

À companheira de trabalho, Berenice Bitencourt, por sempre ter se mostrado bastante prestativa, principalmente nos auxílios em informática.

À querida geóloga Maria Letícia Bachion, pelas colaborações à finalização deste trabalho.

Aos amigos Edmilton, Ana Cláudia e Marília pelo estímulo e apoio, principalmente nas dificuldades pessoais enfrentadas.

Aos funcionários deste departamento pela simpatia e dedicação

A todos os amigos do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, em especial aos amigos do Mapeamento Geotécnico pelas discussões e experiências trocadas no decorrer destes dois anos

E por fim, a todas as pessoas que direta e indiretamente possibilitaram a realização deste mestrato.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS-----	i
LISTA DE TABELAS-----	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS -----	vii
RESUMO-----	viii
ABSTRACT-----	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Justificativas.....	3
2. ESTUDOS GEOAMBIENTAIS	4
2.1. Aspectos históricos.....	4
2.2 - Meio Ambiente	7
2.3 - Estudos de Natureza Geoambiental	9
2.3.1 - Estudos geoambientais como ferramentas para o planejamento territorial.....	11
2.3.2 - Relação entre a cartografia geotécnica e o zoneamento geoambiental	13
2.3.3. A Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento	16
2.3.4. Indicadores Ambientais.....	18
2.4 Metodologias empregadas em estudos geoambientais.....	20
2.4.1. Metodologia empregada por CENDRERO (1975)	24
2.4.2. Metodologia empregada por FRANCÉS et al. (1990)	26
2.4.3. Proposta metodológica de ZUQUETTE et al. (1997, modificado de 1993)	28
2.4.4. Metodologia empregada por SOBREIRA (1995)	31
2.4.5. Metodologia empregada por ALONSO et al. (1990)	31
2.4.6. Metodologia empregada por RIVAS, V.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A. (1992).....	33
2.4.7. Metodologia utilizada por VILLOTA et al. (1996)	36
2.4.8. Metodologias que consideram Estudos de Impacto Ambiental nos processos de Planejamento	
2.4.8.1. Metodologia empregada por RIVAS et al. (1994)	39
2.4.9. Metodologias que vêm buscando realizar valoração territorial	43
2.4.9.1. Metodologia de avaliação da qualidade da paisagem: RECATALÁ & SANCHEZ (1996).....	43

2.4.9.2. Metodologia de Valoração Territorial - ALONSO HERRERO & CENDRERO (1988).....	44
2.4.10. Alguns exemplos de metodologias de caráter geoambiental no Brasil	47
2.5. Utilização de geoprocessamento em estudos ambientais.....	52
2.5.1 Geoprocessamento : aspectos gerais	52
2.5.2. Sensoriamento remoto	54
2.5.3. Sistema de informação geográfica (SIG)	57
CAPÍTULO 3	61
3.1. Aspectos Gerais.....	61
3.2. Localização	62
3.3. Clima.....	63
3.4. Vegetação	63
3.5. Aspectos Geológicos.....	64
3.6. Aspectos geomorfológicos.....	68
3.7. Pedologia.....	70
3.8. Hidrologia	72
3.8.1. Águas superficiais	72
3.8.2 Águas subterrâneas.....	77
CAPÍTULO 4: Obtenção, tratamento e análise das informações.....	79
4.1 Aspectos Metodológicos.....	79
4.2. Procedimentos empregados na elaboração dos documentos.....	81
4.2.1 Rede de drenagem e sub-bacias hidrográficas.....	82
4.2.2. Mapa de Landforms.....	82
4.2.3. Mapa de uso e ocupação do solo	89
4.2.3.1. Resultados obtidos.....	91
4.3. Uso de sistema de informações geográficas	94
4.3.1 Digitalização e preparo do material para utilização via sistema de informações geográficas.....	95
4.3.2. Mapas produzidos via Sistema de Informação Geográfica.....	96
4.3.2.1. Mapa de densidade hidrográfica.....	97
4.3.2.2. Carta de declividade	98
4.3.2.3 Carta de susceptibilidade à erosão: Considerações Gerais.....	99
4.3.2.5. Carta do Potencial Agrícola	106
CAPÍTULO 5 - ELABORAÇÃO DA CARTA GEOAMBIENTAL	119
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122
CAPÍTULO 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
APÊNDICES I e II	

ANEXOS

ANEXO I – Mapa de Landforms

ANEXO II- Mapa de uso e ocupação do solo

ANEXO III- Carta de susceptibilidade à erosão

ANEXO IV- Carta do Potencial Agrícola

ANEXO V- Carta de Vulnerabilidade do Aquífero

ANEXO VI- Carta de Zoneamento Geoambiental

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Sequência fundamental dos vários níveis de informações relativas ao meio ambiente (ZUQUETTE et al. 1997).

FIGURA 2 - Principais usos do solo e possíveis interferências nos recursos hídricos (PIRES & SANTOS, 1995).

FIGURA 3 - Esquema das principais linhas metodológicas para elaboração de mapas geoambientais (CENDRERO & DÍAZ DE TERÁN, 1987 apud CENDRERO, 1990).

FIGURA 4 - Exemplo clássico de mapa geoambiental do tipo sintético ou de unidades integradas ("resource capability units" de BROWN et al., 1971; original em 1:25.000).

FIGURA 5 - Relação entre escalas dos mapas, níveis e finalidade de planejamento (LÜTTIG, 1987 apud CENDRERO, 1990).

FIGURA 6 - Mapa de recomendações e limitações do uso do solo da parte inferior do Vale Nansa. 1: conservação, primeira prioridade/ 2: conservação, segunda prioridade/ 3: agricultura intensiva/ 4: dairy farming/ 5: reflorestamento protetor/ 6: reflorestamento produtivo. A: vulnerabilidade de aquífero; B: vulnerabilidade do solo; C: inundação (hazard) e D: instabilidade de talude (hazard). ALONSO et al. (1990).

FIGURA 7 - Unidades morfodinâmicas homogêneas (CENDRERO & DÍAZ DE TERÁN, 1987 apud RIVAS et al., 1992).

FIGURA 8 - Mapa de ações de manejo proposta na área do Txingudi. 1: Água; 2: Preservação e restauração de sistemas naturais; 3: Reabilitação da paisagem de áreas da costa; 4: parques urbanos; 5: Trilhas naturais; 6: Barreiras de árvores; 7: Estacionamento; 8: Marina. Existem usos que são indicados como segue: U: Urbano; S: Esportes; R: Estação de trem; Sch: Escola. RIVAS, V.; FRANCÉS, E & CENDRERO (1992).

FIGURA 9 - Modelos para avaliação de impactos (a) Convergente e (b) Divergente (GONZÁLES et al., 1993 apud RIVAS et al., 1994).

FIGURA 10 - Fluxograma da metodologia para EIA de planos diretores (modificado de CENDRERO & DÍAZ DE TERÁN, 1987 apud RIVAS et al., 1994).

FIGURA 11 - Figura mostrando, na primeira situação, a vocação de uso para uma atividade específica, e na segunda, o uso ótimo para cada unidade ALONSO HERRERO & CENDRERO (1998).

FIGURA 12 - Fragilidades do meio físico frente ao uso e ocupação do solo na área de definição do domínio 2 (CPRM, 1994).

FIGURA 13 - Fluxograma da sequência metodológica utilizada pelo IG no projeto: Planejamento e Gestão de Recursos Naturais na porção média da bacia do rio Piracicaba, SP (IG, 1993).

FIGURA 14 - Diagrama de fluxo de trabalho (DFT) para o zoneamento geoambiental da região do médio-alto Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto (OHARA, 1994).

FIGURA 15 - Localização da área de estudo.

FIGURA 16 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná (IPT, 1981a)

FIGURA 17 - Mapa do substrato rochoso (PEJON, 1992).

FIGURA 18 - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981b)

FIGURA 19 - Carta pedológica da folha Piracicaba (IAC, 1989).

FIGURA 20 – Pontos de amostragem (CETESB)

FIGURA 21 - Aplicação da técnica de avaliação do terreno, LOLLO (1995), modificado de COOKE & DOORKAMP (1990).

FIGURA 22 - Mapa de Unidades de Terreno

FIGURA 23 - Vista geral do Sisema de Terreno 1.

FIGURA 24 - Mapa de uso e ocupação do solo, região de Piracicaba (SP).

FIGURA 25 - Mapa de densidade hidrográfica

FIGURA 26 - Carta de declividade.

FIGURA 27 - Carta de susceptibilidade à erosão obtida para a região estudada.

FIGURA 28 - Carta do Potencial Agrícola.

FIGURA 29 - Carta de vulnerabilidade do aquífero.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Distribuição temática de trabalhos apresentados em reuniões internacionais sobre geologia ambiental na Europa, no período de 1985-89 (CENDRERO, 1990).

TABELA 2 - Relações entre os tipos de problemas x fonte x etapas de estudo x geologia ambiental x geotecnia ambiental (ZUQUETTE, 1993).

TABELA 3 - Geoindicadores: Influência natural x humana e utilidade na reconstrução de paleo-ambientes (ITC, 1996).

TABELA 4 - Terminologia usualmente empregada para designar instrumentos de caracterização do meio físico para o planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo (CERRI, 1990).

TABELA 5 - Etapas realizadas no mapeamento de unidades geológico ambientais (CENDRERO, 1975).

TABELA 6 - Resumo das fases metodológicas de aplicação da cartografia geoambiental para diferentes finalidades ((FRANCÉS et al., 1990).

TABELA 7 - Atributos x Formas de Obtenção Fundamentais ao Zoneamento Geoambiental (ZUQUETTE et al., 1997 modificado de 1993).

TABELA 8 - Etapas realizadas no mapeamento do Conselho de Sesismbra por SOBREIRA (1995).

TABELA 9 - Conjunto básico de funções para a grande área do geoprocessamento (CÂMARA, 1993).

TABELA 10 - Aplicações típicas de geoprocessamento (CÂMARA & MEDEIROS, 1996).

TABELA 11 - FERREIRA (1997) apresenta um resumo da avaliação Multicriterial, opção disponível em alguns sistemas de informações geográficas.

TABELA 12 - Distribuição dos principais grupos de solos presentes na área de estudo.

TABELA 13 - Panorama geral dos usos das águas nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari (1995).

TABELA 14 - Extraído de CETESB (1997).

TABELA 15 - Diagnóstico dos mananciais atuais e futuros para abastecimento público e avaliação do impacto ambiental potencial nas bacias de captação - Bacia do Piracicaba (estão representadas apenas as localidades situadas dentro da área de estudo) (SÃO PAULO/SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1994)

TABELA 16 - Sistema de esgoto doméstico (SÃO PAULO, 1994).

TABELA 17 - Classificação de tipos de terreno adotada por PIRES NETO, 1992 (modificada de PONÇANO et al., 1981).

TABELA 18 - Principais características do sistema de terreno nº 1.

TABELA 19 - Categorias de uso e ocupação do solo para a área estudada.

TABELA 20 - Área ocupada por cada uma das categorias.

TABELA 21 - Cartas e mapas digitalizados para uso em SIG.

TABELA 22 - Fatores naturais e antrópicos envolvidos nos processos erosivos (extraído de DAEE/IPT, 1990).

TABELA 23 - Hierarquização das informações consideradas na elaboração da carta de susceptibilidade à erosão.

TABELA 24 - Escala contínua de 9 pontos de comparação paritária entre fatores (EASTMAN, 1997).

TABELA 25 - Matriz de ponderação relativa entre fatores.

TABELA 26 - Valores dos pesos atribuídos aos fatores e a taxa de consistência da ponderação.

TABELA 27 - Relação dos atributos e seus níveis, para definição das classes para elaboração da carta de potencial agrícola (ZUQUETTE et al., 1993).

TABELA 28 - Classificação dos tipos pedológicos quanto ao seu potencial agrícola.

TABELA 29 - Reclassificação dos tipos pedológicos

TABELA 30 - Importância relativa dos fatores e os pesos resultantes.

TABELA 31 - Importância relativa entre os fatores (porção superior da tabela) e os pesos resultantes.

TABELA 32 - Mostra da distribuição das unidades de terreno, por situações Favorável/ Moderado/ Severo/ Restritivo quanto aos fatores avaliados

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

IAC – Instituto Agronômico de Campinas

IG – Instituto Geológico

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

IQA- Índice de Qualidade das Águas

pH – potencial hidrogeniônico

OD – Oxigênio Dissolvido

RMSP- Região Metropolitana de São Paulo

SIG- Sistema de Informações Geográficas

RESUMO

O trabalho consiste na realização de um zoneamento geoambiental para a região de Piracicaba-SP, com base na análise de variáveis ambientais, principalmente de atributos do meio físico, tais como: geologia, solos, hidrologia, etc.

A área estudada localiza-se na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, uma das mais importantes do estado de São Paulo e que vem apresentando intenso desenvolvimento econômico e conseqüentemente problemas de degradação ambiental.

Este estudo foi realizado seguindo-se os pressupostos da cartografia geoambiental, mas utilizando-se também os procedimentos da cartografia geotécnica tradicional.

Incorporou-se ainda ao estudo a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e do processamento digital de imagens de satélite, que permitiram maior agilidade e confiabilidade no levantamento, análise e tratamento das informações.

Para a obtenção da carta de zoneamento geoambiental partiu-se da compartimentação do terreno em "Landforms", sendo que estas unidades homogêneas foram então caracterizadas e avaliadas quanto as suas principais aptidões e restrições.

A carta obtida apresenta-se dividida em 16 unidades, descritas quanto a aptidões, restrições e conflitos de uso, principalmente em relação a aptidão agrícola, erosão, vulnerabilidade do aquífero e disposição de rejeitos.

ABSTRACT

This work presents the geoenvironmental mapping of the Piracicaba (SP) region, based on the analysis of environmental attributes, such as: geology, soils and surface and ground waters. This region is located in the Piracicaba river basin, one of the more importance basins in the São Paulo state . It presents serious environmental degradation problems due to intense economic activities.

This study has been based on the proposal of the geoenvironmental mapping, but using to the procedures of the traditional Engineering Geological Mapping.

A Geographical Information System (IDRISI) and digital image processing were used to permit quickness and confidence on the collect, analysis and handling of the geological- geotechnical informations.

The geoenvironmental zoning chart has been based on the terrain landforms division and the characterization of these homogeneous units that were evaluated with respect to the mainly aptitudes and constraints. The region was divided into 16 geoenvironmental units with their advantages and limitations analised in terms of agriculture aptitude, erosion susceptibility, aquifer vulnerability and waste disposal.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a conscientização da necessidade de compreender a inter-relação entre as atividades humanas e o meio ambiente vem crescendo. A dinâmica do mesmo é frequentemente modificada por atividades antrópicas, as quais vem acentuando processos naturais ou criando novos, com sérias implicações de ordem natural, social e econômica.

Neste contexto, a atuação dos profissionais das ciências da terra na produção de documentos voltados a planejadores vem ganhando destaque, apesar de ainda serem pouco utilizados na prática.

Assim, o presente trabalho procurou levantar características geoambientais (aqui entendidas como: aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e de uso e ocupação do solo), a fim de produzir uma carta geoambiental de caráter sintético, onde as características da área estudada, quanto a fragilidades e potencialidades, estivessem representadas. As informações foram obtidas na escala 1:50.000, entretanto apresentadas em 1:100.000. Estes documentos representam uma análise bastante abrangente dos atributos do meio físico, tendo a preocupação de considerar aspectos de uso e ocupação do solo, essenciais na compreensão de problemas ambientais.

A área estudada já vem sendo alvo de diversos trabalhos voltados à avaliação do meio ambiente, o que possibilitou a utilização de alguns dados já existentes, inclusive de cartografia geotécnica, a qual serviu em parte de base à realização deste trabalho.

Optou-se pelo uso de um sistema de informações geográficas (IDRISI) e pelo processamento digital de imagem de satélite, não somente pela necessidade de armazenamento, manipulação e análise de uma grande quantidade de informações, mas também pelo aspecto de incorporação de novas ferramentas às formas tradicionais de obtenção e cruzamento dos dados.

Cendrero (1990) cita o número crescente de trabalhos envolvendo a cartografia geoambiental, sendo tais documentos de suma importância como reveladores do panorama ambiental de uma região, tanto do ponto de vista natural, quanto antrópico.

O autor salienta ainda o fato de a dinâmica sócio-econômica, na maioria das vezes, ser determinante na ocupação de uma área, o mesmo não acontecendo com as características inerentes a esta. Neste contexto, a cartografia geoambiental deve ter a preocupação de fornecer documentos voltados ao planejamento territorial, sendo executáveis em qualquer escala, a depender dos objetivos do trabalho.

1.1. Objetivos

O trabalho tem como objetivo, o estudo de uma série de variáveis geoambientais, a partir das quais busca-se obter uma carta geoambiental para a região estudada. Nesta carta, devem estar representadas potencialidades e restrições do ponto de vista do meio físico, juntamente com uma caracterização sobre os aspectos biológicos (remanescentes florestais principalmente) e do uso e ocupação do solo atuais. Assim, pretende-se realizar um diagnóstico de como as unidades geoambientais mapeadas para a região vem “respeitando” as características ambientais, de maneira que documentos dessa natureza possam servir como subsídio ao planejamento regional, e como orientação ao planejamento local mais efetivamente.

Tem ainda como objetivo a incorporação de ferramentas como Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto e de um Sistema de Informações Geográficas aos métodos tradicionais de mapeamento geotécnico, visando agilizar o a compreensão da coincidência espacial de variáveis ambientais, além de propiciar o levantamento de novos dados, como é o caso do uso do processamento de imagens na obtenção do uso e ocupação do solo.

Vale ressaltar que a área possui dados básicos disponíveis em escalas compatíveis com a realização deste trabalho, apesar de dispersos, possibilitando uma análise integrada utilizando-se também dados já existentes.

1.2. Justificativas

O trabalho justifica-se, visto a localização da área de estudo em uma importante bacia hidrográfica, a do rio Piracicaba, que devido ao intenso crescimento econômico, vem experimentando consequências de uma ocupação urbana desordenada, sem planejamento, com implicações diretas no aumento da demanda de água, e a preocupante degradação deste valioso bem natural, além de muitos outros problemas ambientais.

CAPÍTULO 2

ESTUDOS GEOAMBIENTAIS

A cartografia geoambiental vem sendo citada como um dos ramos da geologia ambiental que tem recebido crescente atenção nos últimos anos (CENDRERO, 1990). Busca compreender a relação entre os componentes do meio físico, juntamente com a consideração de fatores biológicos e o conflito destes com o uso e ocupação atual e previsto do solo.

O panorama atual é de crescente preocupação com o meio ambiente (seja ele físico, biológico ou social) principalmente no que diz respeito à queda da qualidade de vida nos grandes centros urbanos, relacionada às mais diversas atividades que o homem vem desenvolvendo, sem se preocupar até pouco mais de duas décadas, com as consequências das modificações impostas à natureza. A interferência antrópica adquiriu tal proporção, ao ponto que o homem vem sendo citado por vários autores como o mais novo e intenso agente geológico, provocando transformações no meio ambiente natural, ao mesmo tempo que protagoniza uma das grandes vítimas das repostas a estas modificações.

Neste contexto, os estudos geoambientais podem se tornar grandes colaboradores, seja como fonte de dados ou no auxílio direto à resolução, previsão ou prevenção de problemas ambientais.

2.1. Aspectos históricos

“ NA NATUREZA NÃO HÁ NEM RECOMPENSAS, NEM CASTIGOS,
HÁ CONSEQUÊNCIAS ... AS MAIS DAS VEZES,
IRREVERSÍVEIS E IRREPARÁVEIS “. (Ingersoll)

Essa frase talvez expresse a problemática enfrentada atualmente relativa à degradação ambiental, resultante da postura ofensiva por parte dos seres humanos diante da natureza, durante toda a história da humanidade, acentuada radicalmente nos últimos 200 anos (C.ROMARIZ, 1988).

Neste contexto de intensa degradação ambiental, a geologia vem buscando contribuir para a melhor compreensão e solução de problemas ambientais desde o final do século passado (primeiros trabalhos sobre geologia relacionada ao meio ambiente). Porém, a Geologia Ambiental só surge como ramo da geologia tradicional, na Europa por exemplo, no início dos anos 70 (CENDRERO, 1990).

HACKETT, em 1967 (apud CENDRERO, 1990) introduz o termo “Geologia Ambiental”, sendo tal fato praticamente concomitante com acontecimentos importantes de tomada de consciência a nível mundial com relação às questões ambientais, marcada por eventos mundialmente importantes (CENDRERO, 1990), como os citados abaixo:

- Promulgação da NEPA (National Environment Protection Act), em 1970 nos USA;
- Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente em Estocolmo (Suécia), 1972;
- O clássico trabalho de FLAWN (1972) como o primeiro texto sobre geologia ambiental.

Os geólogos até então envolvidos com estudos clássicos sobre história geológica e exploração de recursos minerais e energéticos, começam a se engajar na compreensão dos sistemas terrestres atuais, visando prever e prevenir consequências da interação Meio Ambiente-Homem.

Porém, COATS (1981) apud SOBREIRA (1995), atribui o emprego do termo Geologia Ambiental pela primeira vez a BETZ, em 1962.

As definições para Geologia Ambiental são várias, apresentando inclusive objeções sob argumento de redundância (d'ORSI, 1992 apud SOBREIRA 1995). Segundo SOBREIRA (1995), a precursora e que serviu de base para as seguintes é a de FLAWN (1970) apud SOBREIRA (1995), definindo este ramo da Geologia como a ciência que deve buscar compreender e apresentar soluções para problemas decorrentes do uso do solo pelo homem, e das consequências desta interação.

Para FABBRI & CENDRERO (1995), a Geologia Ambiental, dentro do cenário das ciências da terra voltadas à análise ambiental, pode ser entendida como o estudo da interação

entre a atividade humana e o meio ambiente geológico, abrangendo assessoria geocientífica ao planejamento e manejo do ambiente.

CENDRERO (1990) cita dois grandes conjuntos de linhas metodológicas que vêm norteando os estudos no ramo da Geologia Ambiental, iniciados nos anos 70 e realizados até os dias atuais.

O primeiro grupo engloba trabalhos de caráter mais geral, os quais têm como objetivo básico: análise e diagnóstico territoriais desde escalas muito pequenas (âmbito supranacional) até escalas locais, visando sempre orientar a ocupação humana de modo que provoque danos mínimos ao meio ambiente, com o máximo aproveitamento de seus recursos. Enquadrando-se dentro deste primeiro grupo é que surgem os primeiros trabalhos intitulados de “ Mapas Geoambientais “ ou “Geocientíficos de Potencial do Meio Natural ”, sendo os pioneiros realizados pelo grupo de LÜTTIG, na Alemanha Federal (LÜTTIG 1971, 1972, 1978 apud CENDRERO, 1990).

Mapas similares surgem na mesma época nos Estados Unidos através do grupo de Bureau of Economic Geology da Universidade do Texas em Austin (BROWN et al., 1971; FISHER et al., 1972 apud CENDRERO, 1990), vindo a aparecer mais recentemente na maioria dos países (com variantes significativas), já em escalas maiores, 1:50.000 - 1:5.000.

O segundo grande grupo de trabalho enfoca temas relacionados a problemas ambientais mais específicos (por exemplo: relacionados a sismos; vulcanismos recentes; deslizamentos; inundações, etc.), dando origem aos trabalhos voltados à avaliação, predição e prevenção de riscos geológicos.

No Brasil, a terminologia empregada a este ramo das Geociências também é bastante controversa : Geologia Ambiental ou de Planejamento (?) ; Geologia de Engenharia Aplicada a Obras ou ao Meio Ambiente (?), sendo que estas divergências resultam em diversas formas de abordagens dos problemas ambientais (OLIVEIRA, 1991). PRANDINI, GUIDICINI & GREHS (1974), optam pelo termo Geologia de Planejamento, considerando a cartografia geotécnica como o instrumento mais importante neste ramo da Geologia.

Num contexto mais atual, pode-se citar a atuação da COGEOENVIRONMENT (Comissão on Geoscience for Environmental Planning), fundada em 1990 e ligada à International Union of Geological Science (IUGS), a qual vem procurando promover a conscientização a respeito da relação entre geociências e meio ambiente e tem participado de diversos projetos, destacando-se o realizado junto à SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment), tendo como título ‘*Impacto da Urbanização e Mineração nos Processos da Superfície da Terra*’.

Um grupo de trabalho ligado a esta comissão (International Working Group on Environmental Geoindicators), vem estabelecendo desde 1992 uma “check-list” de indicadores geocientíficos voltados à avaliação da saúde e integridade do meio ambiente (MULDER, 1994). O autor cita o fato de até pouco tempo os indicadores serem principalmente relacionados à dinâmica dos ecossistemas, entretanto o meio ambiente físico também vem respondendo às intervenções antrópicas, exigindo que profissionais relacionados às ciências da terra se engajem na busca de soluções.

2.2. Meio Ambiente

Uma compreensão adequada do meio ambiente, de seus vários componentes e da inter-relação entre eles, é de fundamental importância quando se abordam questões relacionadas à degradação ambiental, ou à necessidade de um planejamento ambiental visando compatibilizar suas principais potencialidades e limitações. Observa-se ainda, que o meio ambiente ecologicamente equilibrado é constitucionalmente direito fundamental de todos os brasileiros e condição essencial para uma qualidade de vida sadia (art. 225 / Constituição Federal).

VILLOTA et al. (1996) referem-se ao meio ambiente como um sistema de relações entre o conjunto de elementos e processos abióticos, bióticos e antrópicos existentes em um determinado espaço.

RODRIGUES (1996) aborda o tema como a inter-relação entre “Leis Naturais” e “Leis Sociais”, e ainda que o meio ambiente seria composto de níveis de organização, formado pelas seguintes categorias operacionais:

- ecossistema;
- geossistema;
- geosociossistema;
- sistema geocultural e;
- ecossistema humano.

Cada um dos enfoques acima representa (como partes de um todo) o meio ambiente, relacionam-se entre si, e levam a abordagens distintas, sendo indispensável uma visão multidisciplinar na busca da compreensão da dialética da natureza. Por exemplo, ecossistema seria um conceito biocêntrico, tendo os organismos, comunidade, etc. como centro, com um entorno biótico, abiótico e social; já o ecossistema humano aborda meio ambiente sob um ponto de vista antropocêntrico, enquanto o geossistema busca compreender

a inter-relação entre os componentes e elementos naturais (modificados ou não pela ação do homem).

ZUQUETTE et al. (1997) apresentam no fluxograma da Figura 1, um conjunto de atributos, propriedades e parâmetros do meio ambiente (meio físico, biológico e social), a fim de possibilitar uma análise global deste, e chamam a atenção para que profissionais que interagem com a problemática ambiental estejam sempre atentos ao nível de informações que estão produzindo.

FIGURA 1: Sequência fundamental dos vários níveis de informações relativas ao meio ambiente (ZUQUETTE et al. , 1997).

O CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução nº 01 / 86) segundo OLIVEIRA et al. (1995), distingue a abordagem do meio ambiente em: meio físico, meio biológico e meio sócio-econômico. O meio físico é definido por FORNASARI et al. (1992) como: “conjunto do meio ambiente definido pelas interações de componentes predominantemente abióticos, quais sejam, materiais terrestres (solos, rochas, água, ar) e tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da terra e outras), incluindo suas modificações decorrentes da ação biológica e humana”.

Para ZUQUETTE (1993), meio físico é a parcela do meio ambiente composta pelos materiais rochosos e inconsolidados, as águas e o relevo, combinados e arranjados de diversas maneiras em espaços tridimensionais, constituído pela repetição destes arranjos com níveis distintos de heterogeneidade.

Os conceitos acima mostram a gama de variáveis envolvidas quando se trata de meio ambiente, chamando a atenção para a necessidade cada vez maior da realização de

trabalhos por equipes multidisciplinares. A abrangência do assunto justifica também a variedade de enfoques e metodologias existentes na abordagem de problemas ambientais, os quais vem sendo tratados por profissionais das mais diversas áreas afins, como geólogos, biólogos, geógrafos, engenheiros, ecólogos, agrônomos, etc.

Outro conceito importante, relacionado ao planejamento territorial / ambiental, é o de sustentabilidade ambiental, que apesar de ser ainda bastante utópico, vem buscando nortear as propostas de planejamento ambiental.

Segundo RODRIGUES (1996), desenvolvimento sustentável trata-se da “ gestão e administração de recursos e serviços ambientais e a troca tecnológica e institucional para assegurar o ganho da contínua satisfação das necessidades para gerações presentes e futuras, dentro dos limites da capacidade de sustentabilidade dos sistemas ambientais”.

Ainda segundo este autor, algumas posturas visam a sustentabilidade ambiental:

- manejo integrado de recursos;
- uso dos recursos em função da aptidão;
- limitar o uso de recursos facilmente esgotáveis;
- conservar e potencializar a base ecológica do patrimônio de recursos naturais;
- respeito com a complexidade funcional, mecanismos de autoregulação e estrutura;
- manter a integridade e ritmos da natureza;
- minimizar danos e impactos;
- capacidade para controle de riscos, catástrofes, perturbações e incertezas, etc.

2.3. Estudos de Natureza Geoambiental

De uma forma geral, o zoneamento geoambiental visando planejamento e ordenamento territorial pode ser enquadrado como ramo da Geologia Ambiental, resultando de uma série de caracterizações: geológica; geomorfológica; hidrológica; de recursos naturais, científicos, paisagísticos e culturais. SOBREIRA (1995) destaca ainda outros temas que podem ser considerados como de natureza geoambiental, observados no esquema a seguir:

Apesar destes estudos apresentarem três formas de abordagem distintas, vale ressaltar a interligação que os mesmos apresentam, visto terem em comum a problemática central que é a intervenção do homem na natureza.

As unidades geoambientais definidas são confrontadas normalmente com atividades já em desenvolvimento, e/ou com as prováveis a serem implantadas. Posteriormente, são caracterizadas quanto às suas aptidões e limitações, além da indicação de porções do terreno com uma maior qualidade ambiental que possam ser preservadas.

Segundo CENDRERO (1990), a cartografia geoambiental é um dos temas relacionados à geologia ambiental que teve maior atenção nos últimos anos, e que tem recebido a publicação de um grande número de trabalhos nos países europeus (anos de 1985-89), com crescente elaboração de mapas geoambientais para diferentes fins e em diferentes escalas (Tabela 1).

TABELA 1-Distribuição temática de trabalhos apresentados em reuniões internacionais sobre geologia ambiental na Europa, no período de 1985-89 (CENDRERO, 1990).

TEMA	Nº
Cartografia Geoambiental	36
Geoquímica Ambiental	23
Riscos Geológicos	15
Problemas com Zonas Litorâneas	15
Eliminação de Resíduos	11
Avaliação Ambiental de Recursos Minerais	10
Hidrogeologia	8
Restauração de Áreas Degradadas	6
Conservação Geológica	5
Planificação Geológica	7
Outros	10

CENDRERO (1988) apud SOBREIRA (1995) cita as etapas genéricas de estudos dessa natureza, sendo que procedimentos semelhantes foram descritos por outros autores, abordados mais detalhadamente no tópico sobre metodologias.

ETAPA 1) **Planificação**: análise ; diagnóstico e recomendações;

ETAPA 2) **Ordenamento**: normas estabelecidas com base na etapa anterior;

ETAPA 3) **Manejo e gestão**: implantação, acompanhamento e controle das atividades de usos do território.

Diante das etapas citadas, constata-se que a contribuição efetiva de equipes técnicas especializadas ocorre apenas na primeira fase, sendo as demais dependentes, na maioria das vezes, de decisões políticas. Tal fato contribui para que estudos de caráter técnico não sejam efetivamente considerados por planejadores, os quais normalmente não têm formação adequada à interpretação destes documentos.

2.3.1. Estudos geoambientais como ferramentas para o planejamento territorial

A necessidade de um planejamento surge em contrapartida a um crescimento econômico baseado no uso intensivo da energia fóssil; na condenação da água, do ar e do solo como receptores de dejetos; na superexploração de ecossistemas naturais, e ainda em efeitos ecológicos secundários negativos, provocados por exemplo por agroquímicos na agricultura (ESPINOSA, 1993).

PIRES & SANTOS (1995) citam o fato de estratégias de planejamento do uso do solo, apoiadas em critérios econômicos clássicos, virem falhando pela desconsideração de conflitos entre as metas de desenvolvimento e a capacidade de suporte dos ecossistemas. Assim, CENDRERO (1975) chama a atenção para a importância de estudos geoambientais, salientando que “planejamento de acordo com a capacidade das unidades permite máximo uso dos recursos naturais da área com um mínimo de dano ambiental”.

ANCONA (1993), ao abordar a questão ambiental da cidade de São Paulo (uma das cinco maiores cidades do mundo), cita os seguintes problemas que vem sendo enfrentados, os mesmos hoje em dia comuns à maioria dos centros urbanos:

- poluição dos recursos naturais (água, solo, ar);
- desequilíbrios ecológicos, inundações, intensificação de processos erosivos, alteração do microclima;

- degradação da paisagem e do patrimônio ambiental natural e artificial (edifícios, conjuntos urbanos, monumentos, áreas verdes e espaços naturais de valor histórico, cultural e paisagístico, artístico, ecológico, arqueológico e turístico);

- poluição sonora;
- falta de saneamento ambiental;
- acidentes e riscos relacionados com estocagem, circulação, e uso de materiais radioativos, explosivos, tóxicos, inflamáveis, etc.

Os estudos geoambientais, bem como outros engajados na compreensão do meio ambiente, que visem o planejamento territorial, seja em escala regional ou local, devem sempre estar atentos ao contexto político em que estão inseridos, e ao modelo de desenvolvimento e política ambiental vigentes. Assim, tais estudos podem representar não somente ferramentas de planejamento, mas ainda auxiliar na busca de estratégias alternativas rumo ao desenvolvimento sustentado.

WESTMAM (1985) apud AGUIAR (1994) considera planejamento como a previsão de situações futuras e ordenamento espacial e temporal de uma série de atividades, baseados em técnicas e metodologias, as quais servem como instrumentos ao planejamento.

É interessante salientar a importância da Cartografia Geoambiental como instrumento de planejamento, seja de enfoque local ou regional. Esta vem de encontro a solicitações ambientais dentro dos processos de planejamento e ordenamento territorial. FRANCÉS (1990) apud SOBREIRA (1995) cita a importância da consideração dos elementos e processos naturais no planejamento ambiental, como auxílio não só à distribuição das atividades humanas, mas também pensando nos possíveis impactos negativos que possam ocorrer. O autor cita ainda objetivos mais específicos de estudos desta natureza:

- “ definição cartográfica de porções do terreno com maior qualidade ambiental que devam ser preservadas “;

- “ propor medidas de atuação encaminhadas a melhorar, recuperar ou reabilitar os elementos e ou processos do meio natural que se encontrem degradados por atividades incompatíveis com sua vocação de uso, entendida esta como a atividade que maior rendimento obtém do meio sem causar deterioração desnecessária de seus parâmetros ambientais “;

- “ delimitar aquelas áreas com elevada produtividade primária, cuja vocação de uso aconselhe sua exclusão do fenômeno urbano, evitando sua consolidação ou deterioração por obras de infra-estrutura, polígonos industriais, etc. “;

-“ estabelecer linhas de atuação para valorização dos recursos naturais que se encontram insuficientemente aproveitados, a fim de aumentar sua rentabilidade econômica-social “;

-e por fim “ colocar nas mãos de organismos de gestão da administração, ferramentas de trabalho realizadas com critérios objetivos, de fácil manejo e que reúnem informações significativas a fim de orientar as possíveis atuações sobre o meio”.

MAGLIO (1991) cita a importância dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), ressaltando que quando usados como ferramenta de planejamento, visam promover o desenvolvimento ecologicamente sustentado. Cita ainda que estes seriam complementados pelo zoneamento ambiental, entendido como “instrumento de análise e ferramenta de política ambiental”, lembrando que tais procedimentos no Brasil encontram-se ainda num estágio bastante inicial.

2.3.2. Relação entre a cartografia geotécnica e o zoneamento geoambiental

Na busca de soluções para os problemas ambientais, a geologia de engenharia vem ampliando sua atuação, firmando-se atualmente como importante contribuinte tanto nas fases de planejamento, como na resolução de problemas ambientais específicos. Sendo assim, como salienta OLIVEIRA et al. (1995), parece existir uma sobreposição nas áreas de atuação desta com a geologia ambiental, geologia urbana, geomorfologia aplicada, etc.

Para ZUQUETTE (1993), os campos da Geologia Ambiental e a Geotecnia Ambiental parecem também se sobrepor, fato verificado na maioria das publicações sobre o tema (após 1980), dificultando assim a definição das etapas de atuação destes dois ramos. No entanto, cita a Geologia Ambiental como mais regional e preventiva, voltada ao diagnóstico, caracterização, avaliação, classificação e extensão dos problemas; já a Geotecnia Ambiental teria atuação mais localizada, específica visando evitar, recuperar ou controlar tais problemas ambientais. A relação entre estes campos do conhecimento pode ser observada na Tabela 2.

AYALA CARCEDO (1988) apud SOBREIRA (1995) refere-se à Geologia Ambiental como aquela que une o conjunto das ciências geológicas à cultura e à história, e decorrente disto às necessidades da sociedade. Com relação à Cartografia Geotécnica, acredita existir uma interação necessária entre esta e os estudos geoambientais, quer na busca de soluções não estruturais preventivas, quer em soluções estruturais, como ilustrado no esquema seguinte:

CENDRERO (1990) cita o enriquecimento, nos últimos anos, da Cartografia Geotécnica tradicional, que passa de uma abordagem essencialmente geotécnica, a uma incorporação de informações sobre riscos naturais, erosão, contaminação de águas subterrânea, além da preocupação com destruições de recursos minerais, etc.

Segundo ALONSO et al. (1990), o uso de mapas geocientíficos de vários tipos, consiste numa base muito útil para a combinação de informações geológico-geotécnicas com outros dados ambientais, permitindo-se obter uma avaliação integrada da capacidade do terreno frente a diversos tipos de atividades.

A geologia de engenharia que teve sua consolidação no campo das obras civis, aos poucos tem ampliado seu campo de atuação e incorporado a preocupação com o uso mais racional do meio físico, podendo-se dizer que hoje em dia, trata-se de “um ramo da geociências à serviço das transformações da natureza” (OLIVEIRA, 1991).

2.3.3. A Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento

Tendo-se em vista a importância da água como recurso mineral essencial à vida e ao desenvolvimento econômico, a pequena quantidade de água doce disponível naturalmente em relação à água salgada, e o atual estágio de degradação dos recursos hídricos, esta vem sendo cada vez mais alvo de preocupações e de estudos. Neste contexto, a abordagem de planejamento e gestão tendo a bacia hidrográfica como unidade de trabalho, tem evoluído bastante (PIRES & SANTOS, 1995), apesar de na prática as medidas estarem revelando maior preocupação com os sintomas que com as causas.

FIGURA 2: Principais usos do solo e possíveis interferências nos recursos hídricos (PIRES & SANTOS, 1995).

No fluxograma apresentado na Figura 2, pode-se perceber a interdependência dos diversos atributos ambientais na área de drenagem. O autor salienta a necessidade de se integrar aspectos sociais, econômicos, político e ambientais, sendo que a importância deste último é grande, pois possui limites que, se ultrapassados, afetarão todos os demais aspectos.

O autor sugere ainda como metodologia para o gerenciamento de bacias, técnicas de análise integrada de recursos (AIR), as quais têm usado métodos cartográficos na representação das características ambientais da área, integração de informações e elaboração de mapas derivados contendo capacidade de uso do solo ou áreas de conflito e restrições de uso; ou ainda técnicas de avaliação de impactos ambientais. Tais procedimentos têm sido facilitados pelo uso de SIG's, envolvendo:

Análise integrada de recursos (AIR) :

1) Diagnóstico

- a) inventário (dados físicos , biológicos);
- b) levantamento de áreas críticas;
- c) análise das informações e classificação das unidades geográficas (capacidade x restrições).

2) Prognóstico ambiental

3) Integração das análises ambiental, econômica, política

ORTOLANO (1984) chama a atenção para a influência do uso do solo na dinâmica dos recursos hídricos, afetando tanto o ritmo quanto a magnitude dos eventos (em princípio naturais). O aumento de porções do terreno impermeáveis, modificações em redes de drenagem naturais, sarjetas, drenos, canos de esgoto, etc., estão afetando características das bacias como: variações da proporção de infiltração e evapotranspiração, características hidráulicas da rede de drenagem, etc. Estas interferências, têm resultado tanto na escassez de recursos hídricos, que obriga a racionamentos, quanto na abundância repentina, gerando cheias, transtornos comuns nos dias atuais (PIRES & SANTOS, 1995).

A Lei Estadual nº 7663/91 adota as bacias hidrográficas como Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH), significando um avanço na incorporação de atributos do meio ambiente natural, dentro do contexto da Política Ambiental do Estado.

2.3.4. Indicadores Ambientais

Segundo ITC (1996), os geoindicadores vêm sendo designados, mais recentemente pela COGEOENVIRONMENT, baseada nas tendências internacionais, para uso em monitoramento ecológico e ambiental, visando relatar o estado do meio ambiente e possibilitar avaliações gerais de sustentabilidade ambiental em escalas local, nacional e internacional.

Voltados a medir magnitudes, frequências, tendências, proporções de mudanças geológicas que vêm ocorrendo na superfície da terra (ou próximo desta) dentro de um período de 100 anos ou menos (tempo de vida do homem), tais geoindicadores descrevem processos e parâmetros ambientais, visando compreender como as ações antrópicas vêm alterando a tendência natural de mudança destes processos e suas consequências.

Eles têm sido usados nas mais diversas situações terrestres: ambiente fluvial, costeiro, desértico, montanhoso, etc., na avaliação e monitoramento de mudanças, tanto de origem natural ou induzidas pela ação antrópica, e ainda usados em estudos paleo-ambientais.

Tais geoindicadores têm como objetivo central os componentes abióticos da paisagem e os processos físicos e químicos associados. Contudo, devido à íntima relação entre os sistemas geológicos e biológicos, estes podem auxiliar em questões como: biodiversidade, manejo de ecossistemas e avaliação de impactos ambientais (eg. SPELLERBERG 1991; WOODLEY et al. 1993 apud ITC, 1996).

ITC (*op.cit*) salienta ainda que alguns geoindicadores já possuem parâmetros padronizados, como é o caso da qualidade das águas superficiais, enquanto outros deveriam ganhar mais espaço na avaliação ambiental.

Na Tabela 3 são apresentados os geoindicadores selecionados, suas tendências naturais, e a influência antrópica nas alterações destes atributos do meio.

TABELA 3: Geoindicadores : Influência natural x humana , e utilidade na reconstrução de paleo- ambientes (ITC, 1996)

GEOINDICADOR	INFLUÊN- CIA NATURAL	INFLUÊN- CIA HUMANA	PALEO - REGISTROS
corais- química e padrões de crescimento	☑	☑	☑
crostas superficiais de deserto e fissuras	☑	*	●
formação e reativação de dunas	☑	*	*
magnitude, duração e frequência de tempestades de poeira	☑	*	*
atividade em terreno congelado	☑	*	☑
flutuações de geleiras	☑	●	☑
qualidade da água subterrânea	*	☑	●
química de água subterrânea em zona insaturada	☑	☑	☑
nível de água subterrânea	*	☑	●
atividade cárstica	☑	*	☑
nível de lagos e salinidade	☑	☑	*
nível relativo do mar	☑	*	☑
sequência sedimentar e composição	☑	☑	☑
Sismicidade	☑	*	●
posição da linha de costa	☑	☑	☑
talude (deslizamentos)	☑	☑	*
erosão de solos e sedimentos	☑	☑	*
qualidade do solo	*	☑	☑
escoamento / fluxo d'água	☑	☑	●
morfologia dos canais	☑	☑	●
transporte e deposição de sedimentos	☑	☑	*
Comportamento de temperatura de subsuperfície	☑	*	☑
Deslocamento superficial	☑	*	*
qualidade da água superficial	☑	☑	●
atividade vulcânica	☑	●	☑
extensão, estrutura e hidrologia de terras alagadas	☑	☑	☑
erosão eólica	☑	*	*
☑ - influenciado fortemente por, ou com importante utilidade para * - pode ser influenciado por, ou tem alguma utilidade para ● - não tem influência substancial sobre ou utilidade para Paleo-registros- relevância para reconstituições paleoambientais OBS. Esta tabela ilustra, de um modo geral , o papel relativo de mudanças naturais e induzidas pelo homem, tanto direta quanto indiretamente, na modificação da paisagem e sistemas geológicos. Contudo, são excluídas das considerações, alterações climáticas com influências antropogênicas.			

2.4. Metodologias empregadas em estudos geoambientais

São diversas as linhas de trabalho e metodologias empregadas no planejamento e ordenamento territorial que vêm sendo focalizadas em diversos países. As principais diferenças entre elas podem ser explicadas pela necessidade de adaptação metodológica à problemática local, resultante das características geológicas, climáticas, do grau de ocupação humana e das atividades predominantes em cada região (CENDRERO, 1990).

Segundo SOBREIRA (1995), o que estas metodologias apresentam em comum é a representação do território através de mapas de vários tipos, os quais deverão servir de base para avaliações e decisões futuras a organismos de planejamento. O autor (op.cit) mostra também os diversos nomes encontrados na literatura para mapas desta natureza: Mapas de Ordenamento do Território, Mapas Geológico-Ambientais, Mapas Geocientíficos, Mapas Geoambientais ou ainda Mapas Geotécnicos ou de Engenharia para Ordenamento.

CERRI (1990) também destaca a diversidade terminológica encontrada para instrumentos de caracterização do meio físico para fins de planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo, observado na Tabela 4.

TABELA 4: Terminologia usualmente empregada para designar instrumentos de caracterização do meio físico para o planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo (CERRI, 1990).

INFORMAÇÕES BÁSICAS	PRODUTO INTERMEDIÁRIO	PRODUTO FINAL
MAPAS TEMÁTICOS	MAPAS DERIVADOS	Cartas geotécnicas
MAPAS ANALÍTICOS	MAPAS INTERPRETATIVOS	Mapas geotécnicos
MAPAS BÁSICOS	MAPAS DE SÍNTESE	Cartas de planejamento regional
		Cartas geoambientais
		Mapas de zoneamento ambiental
		Mapas de zoneamento geotécnico
		Mapas de zoneamento urbano
		Mapas de aptidão
		Mapas de vulnerabilidade
		Cartas de susceptibilidade
		Mapas de potencial natural
		Mapas de 1 ^o , 2 ^o ,
		Cartas de risco
		Zoneamento de risco

OLIVEIRA (1991) salienta que, independente da terminologia empregada, “o que importa são os problemas ambientais e os métodos que a geociências dispõe para resolvê-los”.

Uma grande divisão metodológica observada é citada por FARRIA (1989) apud SOBREIRA (1995), que enquadra as metodologias de ordenamento territorial em dois grandes grupos :

1^o) metodologias que têm a geologia como base para caracterização de outros aspectos e definição das aptidões dos terrenos

2^o) metodologias nas quais os aspectos geológicos são considerados apenas superficialmente.

CENDRERO & DIAZ DE TERÁN (1987) apud CENDRERO (1990) consideram, baseados em tendências internacionais, que os procedimentos metodológicos empregados na elaboração de mapas geoambientais podem ser enquadrados ainda em duas linhas metodológicas gerais: analítica e sintética (Figura 3).

FIGURA 3: Esquema das principais linhas metodológicas para elaboração de mapas geoambientais (CENDRERO & DÍAZ DE TERÁN, 1987 apud CENDRERO, 1990).

Na Figura 4, tem-se como exemplo um mapa obtido a partir da linha metodológica sintética.

FIGURA 4: Exemplo clássico de mapa geoambiental do tipo sintético ou de unidades integradas ("resource capability units" de BROWN et al., 1971; original em 1:25.000).

CENDRERO & DIAZ DE TERÁN apud CENDRERO (1990) citam ainda as diversas possibilidades de escalas e finalidades na confecção destes mapas, observadas na Figura 5.

FIGURA 5: Relação entre escalas dos mapas, níveis e finalidade de planejamento (LÜTTIG, 1987 apud CENDRERO, 1990).

A seguir são apresentadas algumas propostas metodológicas e a descrição de trabalhos de cunho geoambiental e as respectivas metodologias utilizadas. Observou-se entretanto, através da revisão bibliográfica realizada, a falta de metodologias detalhadas ou consagradas para embasar a realização deste trabalho, talvez por serem temas abrangentes ou mesmo bastante recentes.

2.4.1. Metodologia empregada por CENDRERO (1975)

CENDRERO (1975) realiza um trabalho onde as feições geológicas e ambientais da região são comparadas com a capacidade de suporte da unidade, considerando-se o presente uso da terra e da água, gerando um Mapa Geológico Ambiental. Para tal, emprega metodologia e conceitos desenvolvidos pelo departamento de geologia econômica da unidade do Texas (em Austin), com ligeiras modificações.

Na elaboração do Mapa Geológico-Ambiental, foram individualizadas unidades ambientais, definidas de acordo com processos ativos, “landforms”, propriedades físicas dos materiais, grupos biológicos e influência do homem, agrupadas em sistemas ambientais maiores. Usou-se a feição considerada como de significância ambiental de primeira ordem para definir a unidade, sendo as demais usadas para descrevê-las (a caracterização realizada foi qualitativa, devido às informações disponíveis).

O autor salienta que as unidades geológico-ambientais e de uso da terra e da água são frequentemente dinâmicas e sujeitas a mudanças, sendo as informações representativas da situação da data em que foram mapeadas. A capacidade das unidades ambientais (consequência de suas características) é avaliada e mapeada com relação a tipos de atividades humanas (diferentes práticas de uso do solo), através de uma matriz. A Tabela 5 exemplifica as informações levantadas e consideradas na avaliação do suporte das unidades ambientais.

TABELA 5: Etapas realizadas no mapeamento de unidades geológico-ambientais (CENDRERO, 1975).

Cada SISTEMA : ex. Marinho, Estuarino, Terrestre (e suas respectivas UNIDADES) → é representado por SÍMBOLOS	Feições gerais das unidades ambientais Declividade Espessura dos solos Recursos minerais Uso atual
	Propriedades físicas e processos ativos Permeabilidade Estabilidade de talude Facilidade de escavação Potencial de corrosão Processos ativos
	A capacidade é avaliada quanto a: Disposição de resíduos líquidos (subsuperfície) Escavação (incluindo mineração e pedreiras) Uso de herbicidas e pesticidas Disposição de resíduo sólido Disposição de resíduo líquido (superfície)

O autor cita ainda ser importante a distinção entre atividades que são nocivas para o meio ambiente se executadas sobre determinadas unidades; ou se o efeito prejudicial se dá do meio sobre a atividade, diferenciando-as no mapa por simbologia pertinente.

Como exemplo, tem-se respectivamente: deposição de rejeito líquido não tratado sobre uma região cárstica (danos ambientais); ou a construção de locais de recreação sobre

uma planície de inundação ou talude instável (impróprias ou perigosas para o homem). A consideração da capacidade das unidades pode evitar obras de engenharia muito onerosas ou mesmo direcionar a investigação de determinado projeto.

Depois de estabelecidas as características e propriedades físicas das unidades ambientais, o próximo passo é estabelecer a capacidade de receber diferentes tipos de atividades humanas. A estimativa da capacidade depende de bom senso e experiência do profissional. A capacidade é avaliada através de uma matriz (BROWN et al, 1971 apud CENDRERO, 1975), e medida em termos de habilidade para sustentar impactos derivados das atividades. O autor cita ainda que existem diversas aplicações para mapas geológico-ambientais no planejamento, como por exemplo: disposição de resíduos sólidos, parques, preservação, etc.

2.4.2. Metodologia empregada por FRANCÉS et al. (1990)

FRANCÉS, E.; DÍAZ de TERÁN, J.R. & CENDRERO, A. (1990) mostram a aplicação da cartografia geoambiental no diagnóstico de unidades territoriais, usando como exemplo a possibilidade de aplicação da mesma para diferentes problemas de planejamento e gestão territorial, ilustrando os diferentes tipos de produtos que podem derivar de mapas geoambientais de base.

Os autores (*op.cit.*) chamam a atenção para as escalas de trabalho a serem adotadas, sendo que para estudos de reconhecimento territorial a nível regional, utilizam-se escalas 1:50.000 ou menores (LÜTTIG, 1987); já em planos de gestão de setores mais concretos ou atividades muito específicas, as escalas devem ser de detalhe.

Os exemplos apresentados são :

- ♦ Diretrizes de Ordenamento territorial - D.T.O (escala regional);
- ♦ Plano de Gestão e uso dos Espaços Naturais (estabelecimento de parques naturais);
- ♦ Plano de Ordenação Urbana de um município (escala de detalhe).

As fases metodológicas aplicadas nos diferentes casos encontram-se na Tabela 6.

TABELA 6: Resumo das fases metodológicas de aplicação da cartografia geoambiental para diferentes finalidades. Francés et al. (1990).

<i>D.T.O DA CANTRÁBRIA</i>	<i>PARQUE NAC. DE OYAMBRE</i>	<i>PARQUE NACIONAL DE JAIZKIBEL</i>	<i>PLANO DE ORDENAÇÃO URBANA- SUANCES</i>
compilação/informa- ções e identificação de elementos significativos	elaboração de cartografia temática 1: 10.000	compilação da informação prévia existente	Elaboração de cartografia analítica 1: 10.000
cartografia analítica: elaboração de mapas temáticos	cartografia sintética, delimitação das unidades morfodinâmicas	identificação dos elementos significativos para o estabelecimento da atividade	Cartografia e descrição das unidades morfodinâmicas
cartografia sintética de unidades de diagnóstico (E - 1: 50.000)	obtenção do mapa de qualidade para conservação	cartografia de unidades de diagnóstico (1:25.000)	Identificação em cada unidade do fator limitante para seu uso
avaliação de unidades de diagnóstico	obtenção do mapa de categorias de diagnóstico	obtenção do mapa de qualidade para conservação	Elaboração de mapas de categorias de planejamento (1:5.000)
seleção das atividades	análise dos conflitos de uso e de impactos ambientais	recomendação de uso e zoneamento final	Estabelecimento de norma urbanística
avaliação da capacidade de suporte do território	normas e propostas de atuação		
elaboração de diretrizes e normas legais	avaliação econômica das atuações propostas		

2.4.3. Proposta metodológica de ZUQUETTE et al. (1997, modificado de 1993)

Para ZUQUETTE et. al., 1997 (modificado de ZUQUETTE, 1993), a carta de zoneamento geoambiental, como um produto de cartografia geotécnica e no contexto de avaliação global das potencialidades do meio físico, pode ser classificada quanto ao tipo de documento como: Carta de Prognósticos de Risco, de problemas e de limitações. Segundo o autor, esta carta de zoneamento geoambiental deve ser elaborada considerando-se a interação dos constituintes do meio ambiente, sendo resultado da análise de documentos elaborados anteriormente, que são :

- Documentos fundamentais básicos - ex: mapa do substrato rochoso, mapa de qualidade das águas, mapa de “landforms”, mapa de bacias hidrográficas, mapa de documentação, etc;
- Cartas fundamentais de síntese - ex: Mapa das condições geológico-geotécnicas, etc.;
- Cartas derivadas ou interpretativas - ex: carta de potencial ao escoamento superficial; carta de potencial a movimento de massa; carta de zona de recarga de aquífero, carta do potencial agrícola, carta para disposição de rejeitos e resíduos, etc.
- Cartas analíticas básicas : ex. carta de probabilidade da ocorrência de eventos naturais; carta da possibilidade de ocorrer eventos perigosos, etc.

ZUQUETTE (1993) salienta a importância de uma criteriosa seleção dos atributos a serem considerados e suas respectivas classificações, os quais devem atender às finalidades e à escala do trabalho. A obtenção dos atributos de cada componente do meio físico pode ser facilitada e ordenada através da hierarquização destes para cada componente, de forma sequencial para o detalhamento de uma região.

A priorização de um atributo em relação ao outro é tarefa fundamental (porém bastante difícil), a fim de proporcionar maior fidelidade à caracterização dos problemas de uma região específica; pode-se ainda optar pela não consideração de alguns dos atributos, quer seja pela sua pouca expressividade na área estudada, pela impossibilidade de obtenção dos dados ou ainda pela pouca confiabilidade dos mesmos.

Assim, os atributos listados na Tabela 7, foram considerados como essenciais em estudos geoambientais pelo autor (*op.cit.*), obtidos no decorrer da produção e / ou análise dos documentos citados, sendo apresentados juntamente com os métodos e procedimentos para obtenção de cada um deles.

TABELA 7: Atributos x Formas de Obtenção Fundamentais ao Zoneamento Geoambiental (ZUQUETTE et al., 1997 modificado de 1993).

COMPONENTE	TIPO	ATRIBUTO	FORMA DE OBTENÇÃO
Águas	Superficiais	escoamento superficial	M. Cook / Es
		áreas de acúmulo d'água (temporário / permanente)	FI
		bacias hidrográficas desde primeira ordem	FI
		canais com fluxo permanente	Tc; FAb; Im
	Subterrânea	presença de lentes salgadas	Tc
		aquíferos(livres/confinados)	FI; TC
		áreas de recarga	FI
		fontes naturais	Tc (GPS)
		escoamento básico	AR
		áreas de descarga	TC; FI
Geomorfologia	Morfometria	declividade	TC; TE; FI
	Morfologia	landforms	FI
Geologia	Substrato Rochoso	litologia	TC
		distribuição (área/profundidade)	FI; TC
	Evidência de Processos	deposição (indício de assoreamento)	TC
		sismicidade	Re
		subsistência(áreas calcáreas abandonadas)	TC; FI
		erosivos (concentrados/laminares)	TC; FI
		alterações naturais de canais de drenagem	FI; TC
		movimento de massa	FI; TC
	Materiais Inconsolidados	Gerais origem (residual/retrabalhado)	FI; TC; L
		textura	TC; L
		variação em profundidade (perfil de alteração)	TC
		distribuição (em área)	FI; TC
		potencial à salinidade	L
		Específicos potencial quanto a fertilidade	L; Es
Feições do Tecnógeno		áreas de aterro e entulho	TC;FI
		áreas exploradas para exploração de material para construção civil	TC; FI

TABELA 7 : Atributos x Formas de Obtenção Fundamentais ao Zoneamento Geoambiental- (Zuquette et al. 1997, modificado de 1993)- continuação.

		depósitos relacionados à exploração mineral	TC; FI
		explorações minerais	TC; FI
		antigos depósitos de rejeitos e resíduos	TC; FI
		depósitos devido a alterações antrópicas junto a canais de drenagem	TC; FI
Biológico	Corpos d'água	tipos de corpos d'água	TC; FI
	Animais	tipos	
		inventários	
		anomalias	
		distribuições/ tendências	
	Vegetação	Natural	
		tipos	
		distribuições/tendências	
		classificação quanto à taxa de massa verde	
		profundidade das raízes	
		capacidade de retenção de água na superfície	
		Antrópica	
		tipos/ ciclos	
Climático		pluviosidade	Li
		temperatura	Li
		evapotranspiração	Li
		intensidade pluviométrica	LI
		distribuição temporal das chuvas	Li
Processos Recentes (antrópicos)		cordões de nível	
		canais construídos para drenagem	
		barragens	
		áreas com irrigação	
		obras que interferem no fluxo das águas superficiais	
FORMA DE OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS			
TC - trabalho de campo FI - fotointerpretação L - ensaios laboratório	E S - estimativas Im - imagens de satélite AR - análise relativa	M. Cook- método de Cook FAB - fotos aéreas baixas GPS TE - trabalho de escritório Re - registros Li - literatura	

2.4.4. Metodologia empregada por SOBREIRA (1995)

SOBREIRA (1995) realiza um estudo geoambiental do Conselho de Sesimbra (Portugal), considerando os aspectos geológicos mais profundamente, e elaborando uma cartografia de caráter sintético, buscando quantificar algumas propriedades dos terrenos e características de processos geodinâmicos existentes.

As etapas do trabalho encontram-se resumidas na Tabela 8, a seguir:

TABELA 8: Etapas realizadas no mapeamento do Conselho de Sesimbra por SOBREIRA (1995).

<u>Primeira Etapa</u>	<u>Segunda Etapa</u>	<u>Terceira Etapa</u>
<ul style="list-style-type: none"> ♦ carta litológica (cartografias já existentes e intenso trabalho de campo) ♦ caracterização geomorfológica :rede de drenagem; declives e demais aspectos morfológicos - compartimentação em unidades morfológicas 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Recursos de ocupação do espaço: -carta de aptidão à construção - carta geotécnica ♦ Recursos hídricos ♦ Recursos minerais ♦ Recursos de interesse científico, cultural e paisagístico 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Caracterização dos perigos e susceptibilidades ♦ Por exemplo : ♦ Movimentos em vertentes. ♦ Erosão hídrica ♦ Sismos

Uma carta geoambiental de caráter sintético foi elaborada a partir dos estudos realizados. As unidades geoambientais individualizadas nesta carta foram confrontadas com atividades já instaladas e as possíveis, na forma de uma matriz. Assim, pode-se avaliar a capacidade de cada unidade, tanto em termos de adequabilidade quanto a possíveis impactos provocados.

2.4.5. Metodologia empregada por ALONSO et al. (1990)

ALONSO et al. (1990) realizam mapeamento e avaliação de unidades ambientais nas Montanhas Cantábricas (Espanha), para duas regiões ambientalmente bastante distintas (montanhosa / costeira), exigindo adaptações metodológicas no que se refere às escalas adotadas, baseando-se nas seguintes etapas :

1º) As unidades foram divididas considerando-se feições fisiográficas, climáticas e morfológicas e litoestruturais. Primeiramente a compartimentação baseou-se em aspectos climáticos e fisiográficos produzindo as chamadas “morphodynamic environments”- MDE (CHRISTIAN, 1957; CENDRERO e DIAZ DE TERÁN, 1987 apud ALONSO et al, 1990). Posteriormente estas foram compartimentadas com base nas litoestruturas e na geomorfologia, “morphodynamics systems” - MDS, e avaliadas considerando-se atividades genéricas de uso da terra, utilizando-se um índice oportuno;

2º) Definição de unidades mais detalhadas baseando-se em: rocha, regolito, “landforms”, solos e vegetação.

Estas unidades são descritas então, com relação às suas feições geológico-geotécnicas, eventos perigosos naturais e ecológicos, e usadas como base para confecção de outros mapas de interesse para o planejamento tais como:

- Eventos perigosos naturais;
- Qualidade para preservação;
- Solos e capacidade do solo;
- Vegetação potencial ou recomendações e limitações do uso da terra;

É destacado pelo autor, a possibilidade de avaliações rápidas e significativas através deste método, além de planejamento em diferentes escalas e níveis de detalhe.

Na Figura 6 pode-se observar um produto obtido a partir dos procedimentos citados anteriormente.

FIGURA 6: Mapa de recomendações e limitações do uso do solo da parte inferior do Vale Nansa. 1: conservação, primeira prioridade/ 2: conservação, segunda prioridade/ 3: agricultura intensiva/ 4: dairy farming/ 5: reflorestamento protetor/ 6: reflorestamento produtivo. A : vulnerabilidade de aquífero; B: vulnerabilidade do solo; C: inundação (hazard) e D: instabilidade de talude (hazard) .

2.4.6. Metodologia empregada por RIVAS,V.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A. (1992)

Vários são os exemplos de mapas Geoambientais com propósito específico, podendo auxiliar em :

- Restauração de áreas degradadas;
- Diversas situações de risco;
- Previsão e prevenção de impactos ambientais;
- Diagnóstico e proteção dos recursos hídricos;
- Delimitação de áreas de conservação.

Neste contexto, a metodologia proposta por RIVAS,V.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A. (1992) visando a recuperação de áreas degradadas, é um exemplo do emprego da cartografia geoambiental para situações mais específicas.

Encontram-se no fluxograma da Figura 7 as etapas juntamente com os componentes considerados no trabalho realizado.

FIGURA 7: Unidades morfodinâmicas homogêneas (CENDRERO & DIAZ DE TERÁN, 1987 apud RIVAS et al. 1992).

Como observa-se no fluxograma (Figura 7), os mapas elaborados consistem na divisão do terreno em uma série de unidades homogêneas, compartimentadas com base em: “landforms”, materiais superficiais; processos ativos e uso presente (mapeadas na escala 1: 5.000).

Posteriormente, tais unidades foram caracterizadas, considerando-se também fatores como: solos, vegetação ou grau de poluição. Nos casos de porções do terreno bem preservadas, realizou-se um inventário detalhado da vegetação.

As unidades foram diagnosticadas quanto a :

- qualidade ambiental: onde foram considerados fatores como proximidade do clímax de comunidades bióticas, alguns indicadores ambientais (por ex. presença ou abundância de taxons importantes como *Gallim arenarium*, *Medicago marina*, *Carex riparia*, etc., ou ainda a existência de comunidades de plantas autóctones bem preservadas, e como se tratava de uma região costeira, a persistência da dinâmica estuarina natural;

- potencial para recuperação: considerou-se a possibilidade física da eliminação da intervenção humana, e ausência de conflitos do uso da terra (posse da terra, compatibilidade do uso presente com a possível preservação).

Através de atribuição combinada de pesos/valores considerando-se indicadores ambientais e as unidades morfodinâmicas, obteve-se um índice para cada unidade, agrupados em classes, representadas no “Mapa de Potencial para Preservação e Restauração”.

Assim, as unidades homogêneas foram transformadas em unidades de manejo, baseando-se em atributos significativos do ponto de vista de conservação, com propostas de ações de restauração e manejo, ilustradas no mapa apresentado na Figura 8.

FIGURA 8: Mapa de ações de manejo proposta na área do Txingudi. 1: Água; 2: Preservação e restauração de sistemas naturais; 3: Reabilitação da paisagem de áreas da costa; 4: Parques urbanos; 5: Trilhas naturais; 6: Barreiras de árvores; 7: Estacionamento; 8: Marina. Existem usos que são indicados como segue: U: Urbano; S: Esportes; R: Estação de trem; Sch: Escola. (RIVAS,V.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A. ,1992).

2.4.7. Metodologia utilizada por VILLOTA et al. (1996)

VILLOTA et al (1996) adota uma metodologia de análise territorial baseada no estudo da paisagem, esta última entendida como “recurso derivado da valoração estética da percepção do meio ambiente”. Justifica-se este tipo de abordagem para a região em questão, devido ao seu alto valor paisagístico.

O Mapa Unidades de Paisagens (VILLOTA, 1994 apud VILLOTA et al, 1996) é resultado de um sistema de sobreposição cartográfica até se chegar nas “unidades de paisagem”, sendo estas áreas homogêneas em seus componentes paisagísticos e na resposta visual frente a qualquer atuação. Parte-se de unidades homogêneas (unidades base), resultantes da divisão morfológica (fisiografia e composição litológica), qualificadas posteriormente por parâmetros geomorfológicos, vegetação e atividades antrópicas. Tem-se então as “unidades ambientais”, definidas por CENDRERO (1973) apud VILLOTA et al (1996) como síntese das análises feitas em função dos parâmetros naturais e antrópicos.

As unidades têm sido descritas com base em fotografias aéreas verticais e oblíquas, trabalhos de campo e análise de fotos e slides realizados em pontos selecionados, com base em: acessibilidade, proximidade a estradas e povoados e singularidade do ponto, zona ou área estudada. São integrados ainda parâmetros descritivos de qualidade visual e singularidade, e os de potencialidade, fragilidade e absorção de impactos ambientais.

As características da região em termos de geologia e geomorfologia, são descritas com base na resposta visual que tais propriedades resultam à paisagem, vegetação, uso, etc. Como exemplo, mudanças de vegetação e cultivos dentro de uma unidade ou sub-unidade podem resultar em tipos diferentes de paisagem.

A análise da paisagem envolve :

- Forma descritiva - através da consideração de características intrínsecas, como parâmetros de qualidade visual/percepção: gradientes ou grau de luminosidade, cor, textura, tamanho;
- singularidade - locais de valor absoluto e estático, isto é, raro, singular, único, pouco habitual. Vale ressaltar que este conceito é relativo e dinâmico, dependente das condições de entorno, da surpresa produzida pela percepção de uma área em relação a outras observadas anteriormente;
- Potencialidade - relativa à aptidão para determinadas funções, ou ainda, capacidade de uso ou fragilidade frente a possíveis impactos.

Os parâmetros do meio ambiente considerados são:

- Litologia e solos;
- Vegetação (árvore/ arbusto);
- Características antrópicas (cultivos e construções);
- Processos atuais e riscos associados.

A metodologia usada na avaliação dos parâmetros visuais, emprega métodos diretos de subjetividade aceita, os quais exigem um profundo conhecimento da área de estudo, com observações diretas e apoio cartográfico, realizando uma valoração sintética ainda que subjetiva das diferentes unidades, atribuindo-lhes categorias em escalas semiquantitativas de fácil compreensão.

2.4.8. Metodologias que consideram Estudos de Impacto Ambiental nos processos de Planejamento

MCDONALD & BROWN (1995) defendem a incorporação de Estudos de Impacto nos processos de planejamento, por considerarem-nos como importante ferramenta de manejo ambiental, indo além de suas funções em projetos isolados. Porém, citam alguns princípios do planejamento ambiental ainda não abordados em EIAs tradicionais, os quais deveriam ser considerados. São eles :

- necessidade de focar impactos cumulativos;
- necessidade de estimular a responsabilidade da comunidade para manejo ambiental
- necessidade de unir política, planejamento e avaliação.

RIVAS et al. (1994) discutem e apresentam metodologia buscando integrar Estudos de Impacto Ambiental nos processos de planejamento, mostrando ser o EIA uma importante ferramenta nos planos de uso do solo, e ainda, que podem ser o caminho mais efetivo na prevenção de impactos indesejáveis e na redução do custo de medidas de restauração. WOOD (1988) apud RIVAS et al.(1994) aponta como o futuro dos EIAs a sua realização durante a preparação de projetos, em contrapartida à elaboração dos EIAs posteriormente, sendo este último o procedimento mais utilizado até então.

Na Figura 9 encontram-se duas maneiras básicas de avaliação de impacto ambiental.

FIGURA 9: Modelos para avaliação de impactos (a) Convergente e (b) Divergente (GONZÁLEZ et al., 1993 apud RIVAS et al., 1994).

2.4.8.1. Metodologia empregada por RIVAS et al. (1994)

O primeiro passo para um EIA de um plano diretor (“master plans”), é o mapeamento, descrição e diagnósticos das unidades de terreno, sendo que o mapeamento das características deste pode ser realizado tanto de forma sintética quanto analítica (como descrito anteriormente). Neste trabalho em específico, baseou-se no uso de mapas temáticos

separados (metodologia analítica), e o modelo divergente na avaliação dos impactos, isto é, o impacto de cada atividade sobre cada uma das feições ambientais.

Os passos referentes à metodologia empregada, encontra-se no fluxograma da Figura 10.

FIGURA 10: Fluxograma da metodologia para EIA de planos diretores (modificado de CENDRERO & DÍAZ DE TERÁN, 1987 apud RIVAS et al., 1994).

O impacto sobre um ponto, célula ou unidade ambiental de uma certa atividade foi obtido pelo método de ponderação para avaliação do impacto total sobre cada elemento considerado, através da seguinte fórmula:

$$I_a = \sum_{i=1}^m W_{ia} * V_{ia} \quad , \text{ onde:}$$

I_a - impacto da atividade a sobre aquele ponto

W_{ia} - peso do elemento i para o impacto global da atividade a (contribuição do impacto sobre aquele elemento para o impacto total)

V_{ia} - valor do tipo (unidade) do elemento i presente no ponto, num rank de impactos a serem gerados pela atividade A (numa escala de 5 termos)

m - número de elementos (mapas temáticos) considerados

Os pesos são expressos em porcentagem, podendo ser convertidos para 'classes' através de métodos estatísticos (tal procedimento pode ser facilmente realizado por um SIG).

Realizada a confecção dos mapas de impacto para todas as atividades, pode-se determinar o impacto de um plano, através da expressão:

$$I_p = \frac{\sum I_{aj}}{n}$$

I_p - impacto do projeto p

I_{aj} - impacto da atividade a sobre a unidade j (proposta no projeto p)

n - número de unidades

A aptidão de cada unidade foi obtida pela combinação de sua capacidade com os impactos a serem produzidos pelas atividades consideradas (CENDRERO & DÍAZ DE TERÁN, 1987 apud RIVAS et al, 1994).

As unidades ambientais foram descritas através de :

Indicadores Quantitativos ou Semi-quantitativos:

- Área ocupada por diferentes tipos de unidades (especialmente aquelas dignas de preservação);

- Volume e valor de recursos minerais sujeitos a comercialização (areia, cascalho, água) em cada unidade;
- Produtividade agrícola dos solos em cada unidade;
- Risco natural (expresso em perdas dentro de um espaço de tempo considerado);
- Qualidade das águas;
- Taxa de erosão;
- Número de espécies ameaçadas na unidade;
- Diversidade biológica da unidade;
- Densidade de ocupação humana ;
- Valor da terra.

Indicadores Qualitativos:

- Capacidade do solo;
- Valor das diferentes unidades para conservação;
- Vulnerabilidade das águas superficiais ou subterrâneas;
- Qualidade / fragilidade da paisagem;
- Capacidade para desenvolvimento;
- Produtividade potencial das unidades.

Os valores destes indicadores podem ser usados para comparar planos alternativos do ponto de vista de impacto.

Possíveis indicadores de impactos

- áreas de solos com diferentes produtividades afetadas pela construção ou alguma outra transformação;
- número de locais afetados (ou áreas das unidades) com diferentes graus de valor para conservação;
- volume de recursos não exploráveis com valor econômico;
- áreas que experimentam aumento de erodibilidade;
- área de alta vulnerabilidade das águas que foi afetada;
- aumento esperado de runoff;
- magnitude e extensão dos impactos visuais;

- hazard / riscos naturais induzidos;
- redução esperada no número de espécies ameaçadas.

Recorreu-se ao uso da técnica Delphy na atribuição de pesos para avaliação da capacidade e impactos das várias atividades consideradas, sendo esta técnica segundo TOMMASI (1994) uma discussão entre especialistas sobre uma determinada questão, buscando-se chegar a um consenso. A aplicação deu-se por via direta, com grupos pequenos de especialistas, sendo também considerada a opinião pública.

Apesar da dificuldade de incorporação destes estudos no planejamento do uso do solo, os EIAs são citados como bons indicadores na comparação de planos alternativos.

2.4.9. Metodologias que vêm buscando realizar valoração territorial

Várias são as metodologias encontradas na literatura que vêm buscando um método de valoração do território através da consideração tanto de parâmetros intrínsecos quanto extrínsecos ao meio.

Há que se considerar as inúmeras críticas a esse tipo de prática, principalmente pela subjetividade de tais valorações.

Abaixo encontram-se dois exemplos buscando ilustrar alguns dos métodos empregados, embora vários sejam os enfoques existentes na abordagem do tema em questão.

2.4.9.1. Metodologia de avaliação da qualidade da paisagem: RECATALÁ & SANCHEZ (1996)

A metodologia empregada é do tipo indireta, procurando ser o mínimo subjetiva possível. Segundo Recatalá & Sanchez (1996), método semelhante foi empregado por Cendrero et al. (1986) na realização do Mapa Geocientífico da província de Valença e por AMA (1989, 1991).

Voltada à planificação do território e avaliação de impacto ambiental, visa realizar valorações de impactos e áreas a proteger. Segundo RECATALÁ (1995, apud RECATALÁ & SANCHEZ, 1996), esta metodologia vem sendo aplicada (no âmbito do mediterrâneo valenciano) em escalas de 1:25.000 a 1:200.000, e parte das seguintes propriedades:

qualidade visual intrínseca, fragilidade visual intrínseca, qualidade visual extrínseca e fragilidade visual extrínseca.

- qualidade visual intrínseca - resulta tanto de características biogeofísicas, quanto antrópicas. Definida como o grau de excelência (mérito) de uma paisagem a ponto que esta mereça ser preservada. Resulta da consideração dos seguintes componentes e seus tipos: relevo / encosta, altitude, desnível, litologia, presença de águas, uso do solo, vegetação e construções humanas.

- fragilidade visual intrínseca - Vulnerabilidade visual de uma paisagem quando submetida a um determinado uso; grau de deterioração em que esta se encontra (capacidade de resposta da paisagem a mudanças), dependem do tipo de atividade a ser desenvolvida. Considera-se os parâmetros anteriores (avaliados para qualidade), juntamente com: acessibilidade e presença potencial de observadores.

- qualidade e fragilidade visual extrínsecas - influência exercida pelas paisagens circundantes visíveis. Trata-se do conceito de intervisibilidade ou grau de visibilidade recíproca entre as unidades, definindo-se como vale visual, a área vista a partir de cada unidade. Porém estes conceitos são referidos como viáveis apenas em escalas locais.

2.4.9.2. Metodologia de Valoração Territorial - ALONSO HERRERO & CENDRERO (1988)

ALONSO HERRERO & CENDRERO (1988) apresentam metodologia de valoração territorial de unidades frente a diferentes atividades, através da confecção de vários mapas temáticos na escala 1: 20.000 e, a partir destes, a obtenção de parâmetros bióticos e abióticos, utilizados no procedimento de valoração de vocação de uso. Metodologia semelhante foi usada por ALONSO HERRERO et al. (1993)

Os elementos significativos selecionados dentre os cartografados são valorados separadamente e posteriormente integrados aos valores correspondentes a cada elemento. Os parâmetros considerados são: altitude, inclinação das vertentes, exposição, litologia, depósitos superficiais e vegetação com seus respectivos atributos, neste caso são considerados 22 tipos.

Para realização da valoração, elaboram-se matrizes de relação entre elementos do meio e as atividades selecionadas. Trata-se de um modelo do tipo convergente (CENDRERO, A. 1980; CENDRERO, A.; DIAZ DE TERÁN, J.R. & GONZALES

LASTRA, J.R., 1980 apud HERRERO & CENDRERO, 1988), obtendo-se a capacidade de suporte do território para determinada atividade.

Na determinação das vocações de uso das diferentes áreas, de acordo com a metodologia utilizada, pretende-se definir de uma maneira genérica os grupos de atividades que sejam mais apropriados para cada unidade, definindo-se a disposição concreta dos usos específicos.

Isto significa que se uma determinada atividade pode ser especialmente aconselhável em uma área e prioritária para a mesma, não se exclui a possibilidade de que outras atividades possam ser realizadas, desde que condições adequadas de capacidade de suporte e impacto sejam respeitadas.

A distribuição de usos pode ser estabelecida com bastante confiabilidade, partindo do estudo de unidades homogêneas territoriais, como os sistemas e unidades morfodinâmicas atualmente bastante utilizadas por vários autores.

Na Figura 11 estão representados produtos cartográficos onde são mostradas as duas situações: a) a vocação de uso para uma atividade específica, e b) o uso ótimo para cada unidade.

FIGURA 11: Figura mostrando, na primeira situação, a vocação de uso para uma atividade específica, e na segunda, o uso ótimo para cada unidade (ALONSO HERRERO & CENDRERO, 1988).

2.4.10. Alguns exemplos de metodologias de caráter geoambiental no Brasil

No Brasil, vários são os trabalhos de caracterização do território visando seu uso e ocupação, tendo a cartografia geotécnica, tanto de caráter geral como específico, prestado grande contribuição.

Instituições como CPRM, IG, IPT e também várias universidades têm realizado diversos projetos voltados à caracterização do meio físico e ao planejamento, sendo que os enfoques destes trabalhos têm se tornado bastante abrangentes, abordando diversos aspectos não só da geologia, como da geografia, agronomia, etc., na busca de soluções e mitigações de problemas ambientais.

A CPRM tem desenvolvido, em diversos estados, um programa de Informações para Gestão Territorial (GATE), buscando levantar informações básicas sobre o meio físico como subsídio ao planejamento territorial através da compartimentação do território em unidades morfolitoestruturais, sendo tais informações traduzidas quanto a adequabilidades e fragilidades dos terrenos.

As unidades homogêneas, depois de caracterizadas, são confrontadas com alguns tipos de usos e seu comportamento avaliado, como exemplificado na Figura 12.

FIGURA 12: Fragilidades do meio físico frente ao uso e ocupação do solo na área de definição do domínio 2 (CPRM, 1994).

O Instituto Geológico também vem realizando estudos voltados ao planejamento e gestão dos recursos naturais, como por exemplo o trabalho realizado para a porção média da

bacia do rio Piracicaba, sintetizado pelo fluxograma da Figura 13, ou ainda, apesar do caráter mais geológico-geotécnico, o Programa de Cartas Geológicas e Geotécnicas para Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas (INSTITUTO GEOLÓGICO- IG, 1993).

FIGURA 13: Fluxograma da sequência metodológica utilizada pelo IG no projeto: Planejamento e Gestão de Recursos Naturais na porção média da bacia do rio Piracicaba, SP (IG, 1993).

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) apresenta-se já há algum tempo envolvido com a problemática ambiental, tanto relacionado a problemas localizados, quanto realizando projetos a nível regional.

Pode-se citar ainda alguns trabalhos individuais como o de OHARA (1994), que realiza o zoneamento geoambiental da região do alto-médio Paraíba do Sul (SP), integrando técnicas de sensoriamento remoto orbital, informações morfoestruturais e índices pedogeoquímicos de alteração intempérica. Para desenvolvimento do trabalho, o autor baseou-se no fluxograma apresentado na Figura 14 .

FIGURA 14: Diagrama de fluxo de trabalho (DFT) para o zoneamento geoambiental da região do médio-alto Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto (OHARA, 1994).

NAVA et al. (1991), busca subsidiar resolução de problemas ambientais como escorregamentos, enchentes, etc., num contexto de degradação generalizada da paisagem, bem como a queda na qualidade de vida, propõe :

- Levantamento histórico de ocorrências geotécnicas;
- Levantamento de dados geológicos;
- Elaboração da carta de declividade;

- Mapeamento geotécnico;
- Uso de perfis de sondagens já existentes;
- Obtenção de dados pluviométricos ;
- Construção de um quadro de correlações dos dados levantados nas etapas anteriores, resultando num diagnóstico das características ambientais, de vulnerabilidades, uso atual e sustentabilidade das unidades. Apresenta ainda uma série de recomendações quanto a preservação, conservação, realização de estudos e/ou obras geotécnicas.

2.5. UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO EM ESTUDOS AMBIENTAIS

2.5.1 Geoprocessamento : aspectos gerais

CÂMARA & SIMÕES (1996) descrevem o termo *Geoprocessamento* como ramo do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais no tratamento de informações geográficas, sendo suas ferramentas computacionais denominadas de SIG (*Sistema de Informação Geográfica*).

Segundo JIMENEZ (1997), um SIG (ou GIS, termo em inglês) pode ser definido como um agrupamento de equipamentos e programas de computador os quais permitem: entrada e edição, armazenamento, questionamento e acesso de informações, transformação, análise, demonstração e impressão de informações espaciais. Todas as informações são geo-referenciadas, ou seja, localizadas por meio de coordenadas geográficas em relação a algum sistema de referência. Tal fato distingue os SIG's dos programas gráficos ou de desenho/projeto auxiliados por computador, devido à sua capacidade de tratar as relações espaciais entre os objetos geográficos (CÂMARA & SIMÕES,1996). Segundo os autores (*op.cit*), em geoprocessamento os dados possuem atributos descritivos, com possibilidade de consulta, atualização e manuseio de bancos de dados espaciais.

Tendo-se em vista que estudos relacionados ao meio ambiente exigem a manipulação de um grande número de informações, é progressiva a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas neste tipo de cartografia, visto que permitem grande flexibilidade à medida que possibilitam a combinação e superposição de diversos tipos de

informações tais como: mapas topográficos, temáticos, fotografias aéreas, imagem de satélites, etc., como constatado por CENDRERO (1990).

CÂMARA (1993) salienta a capacidade dos sistemas de geoprocessamento para armazenar, recuperar e analisar mapas via computador. Ressalta a possibilidade de integração (em base única de dados) de informações espaciais de: dados cartográficos; dados de censo/ cadastro urbano/ rural, imagens de satélite, MNT (Modelos Numéricos de Terreno), etc.

O autor apresenta na Tabela 9, um conjunto básico de funções para a grande área do geoprocessamento.

Tabela 9: Conjunto básico de funções para a grande área do geoprocessamento (CÂMARA, 1993).

ANÁLISE GEOGRÁFICA: superposição, ponderação medidas (área/perímetro, consulta a banco de dados, mapas de distância ("buffer generation"), tabulação cruzada, etc.
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS : realce por modificação de histograma, filtragem espacial, classificação, rotação espectral (componentes principais) transformação IHS-RGB, registro, etc.
MODELO MUNÉRICO DE TERRENO: determinação do modelo (grade retangular ou triangular) a partir de pontos esparsos ou linhas, geração de mapas de contorno (isolinhas), mapas de declividade e de aspecto visualização 3D (com imagens e temas), cálculo de volumes, análise de perfis, etc.
MODELAGEM DE REDES: cálculo do caminho ótimo / crítico, etc. (obs: a ligação com banco de dados é fundamental).
GEODÉSIA E FOTOGRAMETRIA: interface com restituidores fotogramétricos, geração de ortofotos e ortoimagens, GPS, etc.
ENTRADA DE DADOS DE TOPOGRAFIA DE CAMPO
PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA: geralmente permite definição interativa de uma área de plotagem, colocar legendas, textos explicativos, etc.

CÂMARA & MEDEIROS (1996) também abordam os vários tipos de dados usados em SIG's e suas formas de representação computacionais (Tabela 10). Os principais tipos são: mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, imagens de sensoriamento remoto (imagens de satélite, fotografias aéreas) e modelos numéricos de terrenos (MNT).

TABELA 10- Aplicações típicas de geoprocessamento (CÂMARA & MEDEIROS, 1996).

<i>Aplicações</i>	<i>Escala típicas</i>	<i>Tipos de dados</i>	<i>Representações gráficas</i>	<i>Operações</i>
FLORESTA	1: 10.000 a 1: 500.000	cadastro rural (talhões)	matricial, vetorial	classif. Imagens, consulta espacial
AGRICULTURA	1: 25.000 a 1: 250.000	dados temáticos, S. Remoto, MNT	matricial, vetorial, grades, TIN	análise espacial, declividade
GEOLOGIA	1: 100.000 a 1: 2.500.000	MNT, imagens, dados temáticos	matricial, grades	transf. HIS, visualiz. 3D
REDES	1:1.000 a 1:10.000	redes lineares (topologia)	vetorial	consulta espacial, cálculos dedicados
ESTUDOS URBANOS	1: 1.000 a 1: 25.000	redes, cadastro urbano	vetorial	consulta espacial

2.5.2. Sensoriamento remoto

2.5.2.1. Processamento de imagens digitais

É crescente o uso de imagens de sensoriamento remoto como fonte de dados em estudos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográfico, etc. Estas vem se tornando ferramentas cada vez mais viáveis pela rapidez, eficiência, periodicidade e abrangência de suas informações, revelando-se ferramentas estratégicas para o futuro, pois possibilitam monitoramento das mudanças globais na superfície da Terra (CROSTA, 1992).

As técnicas de processamento digital das imagens de sensoriamento remoto são utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar informações necessárias para cada fim específico, visando traduzir estas informações ao intérprete, isto é, tornando-as mais visíveis aos olhos humanos (CROSTA, 1992).

Várias são as técnicas de processamento digital utilizadas, as quais visam, na maioria das vezes, melhorar ou realçar as características visuais da imagem a ser analisada, sendo que a opção pela técnica a ser empregada, segundo MENESES et al. (1995), depende das condições fisiográficas da área a ser estudada, dos objetivos específicos do trabalho e ainda da habilidade da pessoa responsável pela interpretação da imagem.

A seguir será enfocada apenas a técnica de classificação de imagens, de interesse direto neste trabalho.

2.5.2.1.1. Classificação digital de imagens de sensoriamento remoto

A automatização de atividades de cartografia da cobertura da terra vem sendo gradativamente ampliada, através de métodos digitais de classificação de dados multiespectrais (MANSELLI et al., 1992 apud SHIMABUKURO 1996). Segundo QUINTANILHA (1990), o crescente desenvolvimento nesta área de processamento digital de imagens, é resultante de uma grande disponibilidade de tecnologias computacionais e ainda devido à própria multidisciplinaridade do assunto.

A classificação digital de uma imagem orbital consiste numa categorização automática em classes de cobertura terrestre, comparando-se cada pixel da imagem às assinaturas espectrais dos objetos de interesse (MATHER, 1987 apud SHIMABUKURO 1996). A distinção e identificação de diferentes materiais superficiais é possível, pelo fato destes possuírem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético (CROSTA, 1992).

Assim, associa-se cada pixel da imagem a um “rótulo” relativo a um objeto real (solo, vegetação, água, etc.), sendo que cada pixel é definido pela reflectância dos materiais que o compõe, e está associado a um valor numérico. A operação é feita para todos os pixels de uma determinada área, obtendo-se a distribuição geográfica do objeto previamente definido (CROSTA op.cit), sendo que o produto resultante é referido pelo autor, como mapa digital temático.

Uma classificação tem como base, segundo MENESES et al (1995), o fato de os elementos de uma cena serem considerados como pertencentes a uma outra classe, familiar ao usuário, como por exemplo: solo exposto, água, rochas, etc., e eventualmente uma classe “de rejeição” para elementos não identificados. O autor (op. cit.) cita ainda que as classificações são ferramentas essencialmente estatísticas, dotadas de uma certa probabilidade de erro, sendo que os métodos de classificação são divididos em dois grandes grupos: classificação supervisionada e não supervisionada, baseada em conhecimentos prévios sobre os materiais superficiais de determinada área ou não, respectivamente.

A Classificação Supervisionada consiste preliminarmente, na definição do número de padrões distintos na imagem (categorias presentes), seguida do isolamento de parcelas da cena que pertençam a uma mesma categoria, as chamadas amostras de treinamento. As amostras de treinamento exigem uma interação entre o analista e os dados da imagem, sendo normalmente definidas por trabalhos de campo, fotografias aéreas, mapas, etc., e traçadas diretamente sobre a imagem. O tamanho e representatividade das amostras definem a validade das estimativas estatísticas (SHIMABUKURO, 1996).

É recomendável que estas amostras contenham um número mínimo de pontos para que sejam representativas da classe de interesse (MENEZES et.al. 1995). Os autores salientam ainda a importância de que esta etapa seja bastante criteriosa, pois tem reflexo direto no resultado da classificação. Para isso, usam-se ferramentas estatísticas como: histogramas mono ou bi-dimensionais, estudo das médias e matriz de co-variância, etc. na análise das amostras.

Cabe ao computador, através de algoritmos de classificação (classificadores) e baseado nas assinaturas espectrais das amostras de treinamento, localizar os demais pixels pertencentes a cada classe.

Um classificador ou regra de decisão, é empregado a depender do resultado pretendido e da natureza dos dados brutos disponíveis (FRIEDMAN, 1980 apud SHIMABUKURO, 1996). Os algoritmos de classificação referidos como mais comuns são: Paralelepípedo, Distância mínima (euclidiana ou de Mahalanobis), Máxima verossimilhança (MaxVer - “maximum likelihood”), sendo que a autora (op. cit.) salienta que a escolha de um classificador adequado é um dos fatores reponsáveis por uma classificação confiável e proveitosa.

A classificação era baseada, até recentemente, apenas em informações espectrais. Entretanto, nas duas últimas décadas, vem ocorrendo a incorporação de informações sobre textura nos classificadores (SHIMABUKURO 1996). Porém, WOODCOK & STRAHLER

(1987, apud SHIMABUKURO 1996) observam que em ambientes agrícolas, os classificadores tradicionais têm se mostrado mais adequados, devido à homogeneidade destas áreas. O mesmo não acontece com áreas florestais, urbanas, conurbações, etc., onde classificadores da textura, da mistura, e do contexto são indicados.

A classificação não supervisionada é utilizada, quando assume-se não haver informações preliminares sobre números ou características dos padrões presentes na imagem (SHIMABUKURO, 1996).

2.5.3. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de Informação Geográfica destinam-se ao tratamento de dados georreferenciados, permitindo recuperar e combinar informações e os mais diversos tipos de análises espaciais, além da manipulação de dados de diversas fontes como: mapas, imagens de satélite, cadastros, etc. (ALVES, 1990).

Este autor salienta que as operações em SIGs necessitam de técnicas especiais de manipulação de dados, principalmente relacionados à definição de propriedades de natureza espacial (como: posição, altura, vizinhança e outras), pois estes sistemas trabalham com informações para as quais as relações espaciais são extremamente importantes.

Segundo TEIXEIRA et al. (1991), todo SIG deve conter funções específicas para tratamento de informações georreferenciadas com base em operações aritméticas e lógicas. As operações básicas mais comuns presentes em SIG's são: medida da distância sobre linhas retas e curvas, cálculo da maior distância entre pontos, cálculo de áreas, zonas de influência, operações aritméticas de soma, subtração, multiplicação, divisão, etc., operações com mapas binários, operações com polígonos como superposição, tratamento de dados altimétricos, transformação de coordenadas, traçados de redes, tratamento de imagens orbitais, vizinhança, etc. Entretanto os autores salientam que apesar de tais operações serem consideradas fundamentais, estas não são contempladas na totalidade pelos SIG's existentes.

FERREIRA (1996) chama a atenção para a importância do modelo cartográfico empregado para a obtenção de mapas de susceptibilidades, aptidão, capacidade de uso, probabilidades, etc., em sistemas de informação geográfica, salientando que apesar do uso de SIG's em análise ambiental ter crescido nos últimos 5 anos, as discussões com relação a esse assunto se caracterizam mais por um aprimoramento técnico que por uma discussão metodológica mais ampla.

A modelagem cartográfica é desenvolvida por uma sequência lógica de funções de análise espacial, que deve ser definida por uma estratégia anterior ao uso do sistema, e somente depois que os passos para se atingir os objetivos da pesquisa estiverem definidos, estes devem ser finalmente transformados em comandos dentro do SIG (FERREIRA, 1996).

A modelagem envolve um modelo de decisão, sendo que estes modelos foram adaptados à estrutura de SIG's, como por exemplo a análise multicriterial hierárquica adaptada ao IDRISI por EASTMAN, por meio de uma combinação linear ponderada, onde os fatores são associados através de uma atribuição de pesos a cada um deles (FERREIRA, 1996).

Na Tabela 11 pode-se observar os elementos básicos de análise multicriterial em SIG's, sintetizado por FERREIRA (1997).

TABELA 11: FERREIRA (1997) apresenta um resumo da Avaliação Multicriterial, opção disponível em alguns sistemas de informações geográficas

AValiação Multicriterial como suporte à decisão espacial	
MCE - modelo que envolve a combinação quantitativa de múltiplos mapas, através de atribuição de <u>escores ou ranking</u> em função da importância relativa das variáveis espaciais em relação aos objetivos.	
DECISÃO - escolha entre alternativas	
CRITÉRIO - base quantitativa para tomada de decisão	
FATOR - um critério no formato de mapa que realça ou impossibilita uma alternativa. Medido em escala contínua	
RESTRIÇÃO - restringem o alcance das alternativas em questão. Podem ser por ex. áreas excluídas na combinação entre mapas, atuando como máscaras (reservas florestais, lagos, etc.)	
REGRA DE DECISÃO: procedimento através do qual os critérios são combinados Por exemplo a avaliação multicriterial (MCE).	
⇓	
Combinação linear entre fatores utilizada para geração de mapas de susceptibilidade (S)	
$S = \sum w_i * x_i$	
onde : S – susceptibilidade W _i – peso do fator i X _i – escore do critério i (hierarquia da legenda do mapa)	
ESCORES DOS CRITÉRIOS: os critérios são medidos em diferentes escalas Os fatores devem ser padronizados de tal forma que os mapas de fatores devem ser mais relacionados à susceptibilidade (escala de 0 - 255 através de STRETCH linear)	
Exemplo: Fator: declividade Critério: > 35% Escore : 0,1,.....255	
CUIDADOS COM A MCE: a) definição adequada e correta do problema b) conhecimento do grau de erro dos dados originais c) avaliação da independência dos dados d) eficiência e robustez do método	

Muitos são os exemplos de utilização de Sistemas de Informação Geográfica, sendo também bastante variadas as metodologias e objetivos. Por exemplo:

FERREIRA (1996) utiliza a avaliação multicriterial em SIG (IDRISI) no mapeamento da susceptibilidade à ocorrência de fogo no Parque Nacional da Serra da Canastra, MG.

ASSAD (1993) apresenta exemplo de utilização de SIG no estabelecimento das classes de aptidão agrícola das terras, pelo sistema FAO / Brasileiro, para a Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília.

ROSENBAUM & NOWBUTH (1997) discutem a avaliação da vulnerabilidade de aquífero através de um Sistema de Informação Geográfica, baseando-se em álgebra de mapas e na comparação paritária entre fatores (mapas), resultando na atribuição de pesos que definem a importância relativa de cada fator.

CARRARA (1995) realiza a avaliação de riscos decorrentes de movimentos gravitacionais de massa através de um sistema de informação geográfica.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA

3.1. Aspectos Gerais

A área estudada situa-se na Bacia do Rio Piracicaba, que juntamente com a Bacia do Rio Capivari ocupam uma área de 14.400 Km² (cerca de 5% do Estado de São Paulo). Tais bacias correspondem ao mais importante núcleo industrial do Estado depois da grande São Paulo, sendo estimado que 7 % do Produto Interno Bruto seja proveniente desta região. Este desenvolvimento econômico tem gerado um elevado grau de poluição, além de um aumento da demanda pelos recursos hídricos.

As bacias referidas acima abrangem, total ou parcialmente 51 municípios paulistas e 4 municípios mineiros. Destes municípios, a área de estudo abrange Piracicaba e seus distritos Tanquinho e Tupi, Iracemápolis, além de Paraisolândia, Recreio, Santa Luzia (distritos de Charqueada).

A região de Piracicaba vem sendo alvo de inúmeros trabalhos relacionados à problemática ambiental, devido ao contexto de urbanização intensa em que se insere, tendo a qualidade e quantidade das águas como preocupações constantes. São diversos os temas e ainda as áreas enfocadas dentro da Bacia do Piracicaba, por exemplo: CENA (1992), SALATI (1996), PROCHNOW (1990), PEJON (1992), SEPE (1990), COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL/CETESB (1996), IG (1993), etc.

3. 2. Localização da área

A área estudada localiza-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas $22^{\circ}30'$ e $22^{\circ}45'$ de latitude Sul e $47^{\circ}30'$ e $47^{\circ}45'$ de longitude oeste, correspondendo à folha topográfica IBGE 1:50.000.

Ocupa uma área de aproximadamente 708 Km^2 , contém os municípios de Iracemápolis e Piracicaba (parcialmente), e é cortada por duas drenagens de importância regional: o rio Piracicaba e o rio Corumbataí.

A localização da área de estudo pode ser observada na Figura 15.

Figura 15: Localização da área de estudo

3.3. Clima

Segundo a classificação de Koeppen o clima da área corresponde ao Cwa, o qual representa climas quente e úmidos com invernos secos (precipitações inferiores a 30 mm no mês mais seco). As temperaturas médias do mês mais quente são superiores a 22^o C e do mês mais frio inferiores a 18^o C, sendo classificado como Sub-Tropical segundo SETZER (1966, apud PEJON, 1992).

Dados do DAEE (1981) indicam que a pluviosidade anual mais elevada está em torno de 1200 mm.

3.4. Vegetação

Segundo INSTITUTO FLORESTAL-IF (1993), o Estado de São Paulo tem um processo histórico marcado por uma intensa ocupação de seu território, a qual resultou em uma considerável redução de áreas com vegetação natural .

Segundo VIANA et al. (1992), na região de Piracicaba (SP) a vegetação natural é dominada por florestas mesófilas semi-decíduas e manchas de cerrado, porém atualmente esta é representada por pequenos fragmentos, preservados principalmente em locais de difícil cultivo. O autor ressalta ainda que a fragmentação é uma das graves consequências da expansão agrícola no Brasil. Vastas massas de vegetação resultaram em um mosaico de pequenas ilhas sujeitas a perturbações, onde a maior consequência é a perda da biodiversidade.

VIADANA, 1985 (apud SALATI, 1996) revela serem as matas ciliares e reservas florestais da região, de formação secundária, subsequente à ação antrópica.

VIANA et al. (1994), em estudo realizado na região de Piracicaba (SP) num fragmento típico de floresta mesófila semidecídua (geralmente de pequeno tamanho), mostra que a situação para conservação destes é crítica, mencionando até o comprometimento futuro destes fragmentos, e consequentemente diminuição da biodiversidade.

TABANEZ (1997) cita que o baixo número de espécies, grande número de espécies raras e presença marcante de cipós são sugestivos da não sustentabilidade destes fragmentos os quais necessitam não só de proteção como de manejo adequado.

A maior parte destes pequenos fragmentos (geralmente < que 10 ha), por não serem protegidos por lei, e se encontrarem em propriedades particulares, estão geralmente abandonados e em franco processo de degradação (VIANA et al., 1992).

Segundo Ballester (informação verbal) a região da bacia do Corumbataí e região de Atibaia apresentam o maior número de fragmentos florestais dentro da bacia do Piracicaba

3.5. Aspéctos Geológicos

Á área estudada está geologicamente incluída na Bacia Sedimentar do Paraná, unidade geotectônica estabelecida sobre a Plataforma Sul - Americana a partir do Devoniano inferior (IPT, 1981 a) compreendendo as seguintes unidades: Subgrupo Itararé, Fm. Tatuí e Aquidauna (Grupo Tubarão); Fm. Irati e Corumbataí (Grupo Passa Dois); Intrusivas Básicas da Fm. Serra Geral, Fm. Pirambóia (Grupo São Bento) localizadamente, além de sedimentos cenozóicos da Fm. Rio Claro e aluviões restritos às drenagens maiores. A coluna estratigráfica adotada (IPT, 1981a.), apresentada na Figura 16, ilustra as diversas idades das formações aflorantes na área, bem como a descrição sucinta dos principais tipos litológicos.

FIGURA 16: Coluna Litoestratigráfica da Bacia do Paraná (IPT, 1981a).

Quanto aos aspectos estruturais, segundo SOARES (1972) apud SEPE (1990), identifica-se regionalmente sistemas lineares de falhas; falhas isoladas; “horsts e grabens”; domos e flexuras estruturais, tais como o Domo de Pitanga, o sistema “Horst- Graben” Pau D’Alho e o sistema linear de falhas Rio das Pedras - Piracicaba - Ipeúna. Ocorrem ainda estruturas de pequeno porte como: falhas normais e reversas (associadas a intrusivas básicas) e dois sistemas de fraturas principais (Souza Filho, 1983 apud SEPE, 1990).

No presente trabalho, devido à existência de dados de mapeamentos geológicos em escala compatível com a realização deste, e pelo fato de não ser objetivo direto desta pesquisa, não foi realizado um novo mapa geológico para a área, sendo que os dados utilizados foram os produzidos por PEJON (1992), Figura 17, além de observações de campo e análise de informações geológicas apresentadas por SEPE (1990) e IPT (1981a).

FIGURA 17: Mapa do substrato rochoso (PEJON, 1992).

O mapa apresentado na Figura 17, é referido pelo autor como mapa do substrato rochoso, pelo fato de não estarem incluídos os aluviões, nem os sedimentos cenozóicos.

As principais características das unidades litoestratigráficas aflorantes na área são descritas a seguir, com base em IPT (1981a), e PEJON (1992), além de constatações de campo.

GRUPO TUBARÃO

♦ *Subgrupo Itararé (PCi)*

Compreende principalmente arenitos (granulação variada), imaturos, siltitos, diamictitos, conglomerados, tilitos, folhelhos; ocorrendo raras camadas de carvão. Os depósitos são de origem glaciais continentais, glacio-marinhos, fluviais, deltáicos, lacustres e marinhos (IPT, 1981b).

Pejon (1992), na elaboração do mapa apresentado na Figura 7, subdivide o Subgrupo Itararé em três associações litológicas, considerando as litologias predominantes, das quais, duas ocorrem na área de estudo, ou seja:

Associação litológica II (PCi-II): predominam siltitos e argilitos, de coloração acinzentada, e subordinadamente ocorrem corpos de arenitos finos intercalados.

Associação litológica III (PCi-III): correspondem a siltitos arenosos, arenitos, diamictitos e argilitos,

♦ *Formação Tatuí (Pt)*

Representado por siltitos arenosos, e arenitos finos (em parte concrecionados) com coloração amarelada, amarela-esverdeada na porção superior e marrom-arroxeados na porção inferior. Correspondem a depósitos marinhos, com estratificações plano-paralelas

GRUPO PASSA DOIS

♦ *Formação Irati (Pi)*

Subdividida em dois membros: o membro Assistência (superior), constituído por folhelhos pirobetuminos e calcários, e o membro Taquaral (inferior) siltitos cinza claro a escuros.

♦ *Formação Corumbataí (Pc)*

Constitui-se de argilitos, siltitos e folhelhos, cinza-escuros, avermelhados e arroxeados, com intercalações de bancos carbonáticos, sillexíticos, e camadas de arenitos finos. São depósitos possivelmente marinhos de planície de maré.

GRUPO SÃO BENTO

♦ *Formação Pirambóia (TJp)*

Arenitos finos a médios, cores avermelhadas, siltico-argilosos, com estratificações cruzadas de pequeno a médio porte, níveis de folhelhos e arenitos argilosos, de cores variadas. Os depósitos são considerados de origem fluvial e de planície de inundação.

♦ *Formação Serra Geral (TJsg) / Suítes Básicas*

Ocorrem como derrames basálticos toleíticos de coloração cinza a preta, textura afanítica, ocorrendo ainda intercalações de arenitos intertrapeanos.

3.6. Aspectos geomorfológicos

A reação estudada enquadra-se dentro da divisão proposta por Almeida (1964) como Província da Depressão Periférica, na Zona do Médio Tietê.

Segundo Almeida (*op. cit*) predominam relevos de colinas baixas, de perfis convexos, com formas suavizadas, sendo os vales jovens, sem planícies aluvionares importantes.

O mapeamento geomorfológico realizado pelo IPT (1981b), descreve para a área, um relevo colinoso, predominantemente suave, compreendendo as unidades: Colinas amplas (212); Colinas médias (213); Morrotes e espigões (234), as quais podem ser observadas no mapa apresentado na Figura 18.

FIGURA 18: Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981b)

3.7. Pedologia

A região de Piracicaba é caracterizada pedologicamente, por três grandes grupos de solos predominantes: Latossolos, Podzólicos e os Litólicos, e subordinadamente por Cambissolos, Terra Roxa Estruturada e Brunizens. É palco de uma considerável diversidade pedológica, visto os diversos tipos presentes dentro de cada um dos grupos citados.

A região encontra-se mapeada pedologicamente na escala 1:100.000 (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS-IAC, 1989), e a disposição espacial dos tipos de solos pode ser observada no mapa apresentado na Figura 19.

FIGURA 19: Carta pedológica da folha Piracicaba (IAC, 1989)

onde :

LR - Latossolos Roxos, eutróficos/distróficos, textura argilosa ou muito argilosa

LE - Latossolos Vermelho Escuros, álicos, textura argilosa ou muito argilosa

LV - Latossolos Vermelho Amarelos, álicos, textura média

Li - Solos Litólicos (agrupado para substrato de várias Formações)

TE - Terra Roxa, também ocorre associado a litólico - Formação Serra Geral (TE + Li6)

PV - Podzólicos Vermelho Amarelos, geralmente distróficos, abrupáticos, text. arenosa / média

G - Solos Gleizados

C1 + A - Cambissolos associados a solos aluviais

PE - Podzólicos Vermelho Escuros, textura argilosa / muito argilosa

A.U - área urbana

Na tabela 12, pode-se observar ainda, a área (em Km²) ocupada pelos grandes grupos de solos da região.

TABELA 12 : Distribuição dos principais grupos de solos presentes na área de estudo

CLASSES	ÁREA Km ²	% TOTAL
<i>LATOSSOLOS</i>	277,77 Km ²	39,30 %
<i>PODZÓLICOS</i>	207,05 Km ²	29,29 %
<i>LITÓLICOS</i>	94,21 Km ²	13,33 %
<i>SOLOS HIDROMÓRFICOS</i>	21,33 Km ²	3,01 %
<i>ASSOCIAÇÃO (LI+PV)</i>	55,20 Km ²	7,81 %
<i>DEMAIS CLASSES (área urbana + outras associações menos expressivas)</i>	52,00 Km ²	7,35 %

3.8. Hidrologia

3.8.1. Águas superficiais

A área estudada situa-se na bacia do Rio Piracicaba, sendo cortada por duas drenagens principais, o rio Piracicaba e o Corumbataí, seu principal afluente. Abrange parte de duas sub-bacias de importância regional, a sub-bacia do rio Piracicaba, e parte da sub-bacia do rio Corumbataí. Desta última sub-bacia, a área de estudo compreende a porção referente ao baixo curso (SALATI, 1996), indo de Assistência até sua foz no Rio Piracicaba, totalizando 45 Km, com uma declividade média de 0,9 m/Km. Compreende ainda várias sub-bacias destes dois rios.

A área de estudo insere-se num contexto de acelerada industrialização e urbanização, sendo tais processos responsáveis pela geração de diversos impactos ambientais, os quais tem sido responsáveis pela escassez e deterioração dos recursos hídricos entre outros bens naturais.

Segundo BARTH (1987, apud SALATI, 1996) a bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, dentre todas do Estado de São Paulo, é a que tem apresentado os maiores problemas com relação ao aproveitamento e controle dos recursos hídricos.

A sub-bacia do Rio Corumbataí, dentro do contexto da bacia do Rio Piracicaba devido à qualidade de suas águas tem assumido importante papel como alternativa ao

abastecimento de vários municípios, entretando a situação com relação ao balanço demanda/disponibilidade já tem se revelado bastante crítico (SALATI, 1996).

Na Tabela 13, pode-se observar o panorama geral quanto aos usos da água nas bacias dos Rios Piracicaba e Capivari.

TABELA 13 - Panorama geral dos usos das águas nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari (1995).

USOS	Captada nos rios - m ³ /s	Devolvida como efluente/esgoto m ³ /s	Tratamento %
Industrial	16,6	13,8	76
Agrícola	6,8	0	-
Urbano	14	11,2	3
Reversão p/ RMSP*	31	0	-
Total	68,4	25	-

* O Sistema Cantareira, operado pela SABESP, transfere 31 m³/s da Bacia do Rio Piracicaba para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), atendendo a 57% da população desta região. Esta água não retorna à bacia.

Sobre os dados apresentados na Tabela 13, vale ressaltar que o Projeto Piracena (CENA, 1996), tem concluído que a vazão do rio Piracicaba vem diminuindo em função do Sistema Cantareira, reduzindo também a quantidade de água disponível para consumo, além de reduzir o poder de depuração dos rios, implicando na deterioração de qualidade da água.

Existem vários pontos de amostragem da CETESB dentro da bacia do rio Piracicaba, a partir dos quais a qualidade das águas é avaliada. Destes pontos, os situados dentro da área podem ser observados na Figura 19. As sub-bacias hidrográficas delimitadas ilustram os corpos receptores de esgotos, para os municípios e bairros da região (Figura 20).

Figura 20: Pontos de amostragem - CESTESB

Os resultados obtidos pela CETESB (1996) para o rio Corumbataí, monitorado através do ponto CR2500, foi de desconformidade com os padrões definidos para a classe II, referente às concentrações de coliformes fecais e total e fósforo total em todas as amostras (para algumas amostras as concentrações de manganês apresentaram-se acima dos limites).

O rio Piracicaba apresentou coliformes fecais e total, fósforo acima dos limites para a classe 2, além de OD, DBO, manganês, nitrogênio amoniacal. O relatório cita ainda que as concentrações de fósforo total evidenciam o lançamento de esgotos domésticos e/ou atividades agrícolas que usam fertilizantes fosfatados (contribuindo para a eutrofização do corpo d'água).

Os pontos localizados dentro da área, e os IQAs (quando existentes) são apresentados na Tabela 14, obtidos junto à CETESB. A situação dos mananciais e as perspectivas futuras para os municípios, bairros e distritos da região na Tabela 15.

TABELA 14: Extraído de CETESB (1997).

<u>RIO PIRACICABA</u>	<i>Variação do IAQ - classe II</i>
PI2192-	aceitável a ruim
PI2160-	aceitável a ruim
PI6- Ponte do Caixão	
PI5- Captação Piracicaba	
<u>RIO CORUMBATAÍ</u>	
CR2- Ponte estrada Assistência/Paraisolândia	
CR3- Captação Piracicaba	
CR4-Foz	
CR2500 - ao lado da Usina Tamandupá - em Recreio *	Boa a aceitável
<u>RIBEIRÃO PIRACICAMIRIM</u>	
PIM1- Foz	
PI2215 - Margem direita, aproximadamente 1200m a jusante da foz do Rib. Piracicamirim	aceitável/ruim

* O Ponto CR2500, no distrito de Recreio, tem mostrado nos últimos 18 anos uma diminuição de oxigênio dissolvido (OD) e um aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Na Tabela 16, pode-se observar a situação dos sistemas de esgotos de municípios, bairros e distritos localizados dentro da área de estudos.

TABELA 16: Sistema de Esgoto Doméstico (SÃO PAULO, 1994)

Compartimento/ Município/ Comunidade	Situação atual dos sistemas	Planos existentes e contratados/ obras em andamento e previstas	CORPO RECEPTOR
Iracemápolis	possui rede coletora e ligações domiciliares	sistema de tratamento em construção- lagoa de estabilização	Rib. Cachoeirinha
Piracicaba - Sede	possui rede coletora, ligações domiciliares, interceptores, elevatória, emissário, sem tratamento		Rio Piracicaba ribeirões : do Enxofre e Piracica-Mirim
Santa Terezinha	-----	-----	Rio Corumbataí e córrego da onças
Tanquinho	possui rede coletora e ligações domiciliares	-----	Rib. Guamium
Tupi	possui rede coletora e ligações domiciliares	-----	Rib. Tijuco Preto
Fonte: Cadastro de usuários das Sub-Bacias de Piracicaba - DAEE Relatório final de Plano Diretor da Bacia do Médio Tietê - CNEC / DAEE (1991)			

3.8.2. Águas subterrâneas

Segundo SEPE (1990), a região de Piracicaba tem como alternativas à captação de águas subterrâneas, os aquíferos do Subgrupo Itararé (particularmente as porções superiores desta unidade), e secundariamente aquíferos em diabásio fraturados. Entretanto o autor ressalta que a pesquisa e exploração de águas subterrâneas em aquíferos do Subgrupo Itararé (Grupo Tubarão) são difíceis, devido ao caráter errático e à grande complexidade litológica desta unidade.

A cidade de Piracicaba tem praticamente 100% de suas águas, para as diversas finalidades, captadas de águas superficiais, exceto nos bairros e distritos mais distantes, como Tanquinho, Tupi, Saltinho e Paraisolândia, Recreio (distritos de Charqueada), os quais são totalmente dependentes das águas subterrâneas (SEPE, 1990).

Ainda segundo a autora, o principal aquífero explorado é o topo do Subgrupo Itararé, encontrando-se em geral a profundidades superiores a 90 metros, e confinado a semi-confinado por camadas silto-argilosas das formações Corumbataí, Irati e Tatui. Cita ainda, o fato de a locação dos poços ser geralmente realizada sem planejamento, não considerando o problema de interferência entre os mesmo, como é o caso do Distrito Industrial de Piracicaba.

As águas são, em geral, de boa qualidade, com exceção do alto teor em flúor e sólidos totais dissolvidos, como acontece nos distritos de Charqueada (Recreio, Paraisolândia, Santa Luzia) onde estas águas apresentam elevado teor em flúor, dificultando o abastecimento destas localidades.

Foram ainda catalogadas pela autora, cinco tipos prováveis fontes de poluição para a região: atividade industrial, aterros / lixões, cemitérios, poços tubulares profundos mal construídos e/ ou preservados, minerações de calcário a céu aberto.

Dentre as atividades industriais, a sulcoalcoleira tem provocado preocupações, devido a utilização do solo como receptor seus efluentes, após ter seu lançamento nas águas superficiais proibido, tendo como consequência em algumas regiões, a poluição das águas subterrâneas. A fertirrigação seria totalmente viável ser respeitadas doses adequadas.

SEPE (1990) sugere que as maiores preocupações com relação à fertirrigação, deveriam ser quanto ao aquífero livre, formado por materiais de cobertura com elevada permeabilidade e porosidade, sendo que a contaminação destas águas poderia comprometer as do aquífero Itararé, uma vez que estes podem se comunicar hidraulicamente.

CAPÍTULO 4

Obtenção, tratamento e análise das informações

4.1. Aspectos Metodológicos

Baseado na análise das metodologias apresentadas, pode-se constatar que em linhas gerais estas compreendem a definição e mapeamento de unidades homogêneas, através de critérios como: material superficial, rochas, landforms, processos, uso, etc. Então são realizadas avaliação e diagnóstico com base em conflitos de uso, características específicas, restrições, aptidões, etc, a partir dos quais pode-se fazer propostas e ações de manejo.

Observa-se que os estudos geoambientais adotam tanto procedimentos sintéticos quanto analíticos (CENDRERO & DIÁZ DE TERÁN , 1987 APUD CENDRERO, 1990), pois baseiam-se na cartografia de unidades homogêneas juntamente com análise em mapas temáticos. Observou-se ainda a ausência de uma proposta metodológica mais detalhada, onde procedimentos e cartas intermediárias estivessem descritos.

O presente trabalho baseou-se em linhas gerais nas etapas e finalidades da cartografia geoambiental, entretanto os documentos foram produzidos seguindo-se procedimentos utilizados na cartografia geotécnica, segundo ZUQUETTE (1993) e ZUQUETTE et al.. (1997). Também buscou-se a utilização de recursos presentes no SIG (IDRISI), na obtenção de algumas cartas, de forma a explorar seu potencial em cruzamentos automatizados.

O trabalho envolveu a realização de fotointerpretação e trabalhos de campo, atividades básicas e fundamentais em qualquer trabalho desta natureza, além do uso de técnicas de processamento digital de imagens de satélite e de um sistema de informações geográficas, com o intuito de agilizar as análises espaciais com um grande número de

variáveis. A área possibilitou o uso de tais ferramentas, pelo fato de já possuir informações com qualidade e escala compatíveis com a realização deste trabalho.

A região estudada, devido a sua localização geográfica dentro de uma importante bacia hidrográfica (a Bacia do Rio Piracicaba) e dos crescentes problemas ambientais que vem enfrentando, principalmente quanto aos recursos hídricos, tem sido alvo de diversos estudos enfocando meio ambiente, relacionados aos recursos hídricos, à geologia, pedologia, geomorfologia, hidrogeologia, geotecnia, etc. Esses dados porém, encontram-se bastante dispersos, dificultando sua utilização direta.

O trabalho em questão teve como base o mapeamento geotécnico da folha Piracicaba 1:100.000 realizado por PEJON (1992), buscando a utilização dos documentos produzidos, além de dados pedológicos levantados pelo Instituto Agrônomo de Campinas (1989), dados conseguidos junto a órgãos como DAEE e CETESB e dados bibliográficos, buscando uma abordagem abrangente do meio físico quanto a suas principais potencialidades e limitações.

Desde 1992 vem sendo realizado o projeto Piracena, o qual tem-se encarregado de recuperar e utilizar as informações existentes para toda a Bacia do Rio Piracicaba, visando um diagnóstico hidrológico e ambiental da bacia, além de tornar as informações disponíveis ao público. O projeto encontra-se ainda em execução, mas alguns dados foram obtidos, como por exemplo a carta topográfica digital, a qual foi de significativa importância no presente trabalho, visto o grande tempo necessário para sua confecção.

Paralelamente à recuperação do material existente, a área foi preliminarmente compartimentada quanto aos seus principais aspectos geomorfológicos (Mapa de Landforms). Estas unidades homogêneas representam uma avaliação integrada da área, por refletirem uma síntese das características geológicas, pedológicas e dos processos associados.

Alguns documentos intermediários foram produzidos buscando-se avaliar situações favoráveis e restritivas quanto a: susceptibilidade à erosão, potencial agrícola, vulnerabilidade das águas de sub-superfície, além da adequabilidade para disposição de resíduos (carta já existente). O mapa de landforms serviu como base à elaboração da carta geoambiental, sendo confrontado com cada um dos documentos intermediários produzidos, e suas unidades caracterizadas sob diversos aspectos, definindo-se unidades geoambientais, as quais reúnem características mais e menos favoráveis, para diversas finalidades, além de apresentarem-se homogêneas quanto às características do meio físico. Os procedimentos e

resultados obtidos para a cartografia geoambiental encontram-se discutidos com maior detalhe em tópico pertinente.

As unidades geoambientais foram também confrontadas com o mapa de uso e ocupação do solo, elaborado através da classificação digital de imagem de satélite, e os principais conflitos puderam ser avaliados.

A elaboração da Carta Geoambiental final, teve contribuição direta de um Sistema de Informações Geográficas (IDRISI), pela possibilidade de combinação de um grande número de mapas na simulação das principais restrições e potencialidades da área sob aspectos diversos.

A seguir cada um destes documentos encontram-se descritos, considerando-se os aspectos metodológicos e os resultados obtidos.

4.2. Procedimentos empregados na elaboração dos documentos

Os documentos utilizados neste trabalho podem ser enquadrados quanto ao tipo de documento, segundo Zuquette (1993) em:

Documentos fundamentais básicos	<ul style="list-style-type: none"> - mapa do substrato rochoso; - mapa de materiais inconsolidados - mapa pedológico - mapa de landforms
Cartas interpretativas ou derivadas	<ul style="list-style-type: none"> - carta de potencial ao escoamento superficial - carta de zoneamento geotécnico geral - carta de susceptibilidade à contaminação de aquífero - carta do potencial agrícola - carta de susceptibilidade à erosão
Cartas analíticas básicas	
Cartas de prognóstico de risco, de problemas e de limitações	<ul style="list-style-type: none"> - carta geoambiental

A seguir encontram-se descritos os procedimentos utilizados na confecção destes documentos intermediários, a partir dos quais elaborou-se a carta de zoneamento geoambiental.

4.2.1. Rede de drenagem e sub-bacias hidrográficas

A obtenção da rede de drenagem, traçada em foto 1: 60.000 (1965), consistiu em etapa preliminar deste trabalho, como subsídio às diversas atividades de caracterização do meio como: compartimentação e caracterização dos lanforms, cálculo da densidade de drenagem, etc.

A área de estudo foi também compartimentada em sub-bacias hidrográficas, com objetivo de servir de base para o cálculo das áreas das sub-bacias. Estas áreas, juntamente com o número de canais de primeira ordem, foram utilizados na confecção do mapa de densidade hidrográfica.

A área é cortada por duas drenagens principais, o rio Piracicaba e Corumbataí (um de seus afluentes), as quais nortearam a subdivisão de bacias que drenam diretamente para estes dois rios. A ordem dos canais de drenagem foi atribuída segundo STHALER (1952, apud CHRISTOFOLETTI, 1974).

4.2.2. Mapa de Landforms

O estudo das formas de terreno (“Landforms”) trata-se de uma importante técnica no levantamento das condições naturais, na etapa de compartimentação e caracterização preliminar das unidades homogêneas.

Busca dar subsídios à compartimentação e compreensão das unidades morfodinâmicas (unidades homogêneas), do ponto de vista do meio físico, produzindo informações de forma bastante integrada. Segundo LOLLO (1995), uma visão da geomorfologia como um conjunto de informações da dinâmica evolutiva das formas e dos materiais a elas associados, faz com que esta supra uma necessidade atual obtenção de informações do meio físico a serem integrados em estudos ambientais.

Consiste numa técnica de zoneamento preliminar do meio físico, baseada na homogeneidade de feições do relevo (“Landforms”), onde a área é dividida em unidades cada vez menores, em função da escala de trabalho e do finalidade do mapeamento. Utiliza-se preferivelmente fotografias aéreas, além de trabalhos de campo.

Segundo LOLLO (1995), o terreno pode ser avaliado de duas maneiras: pelo Enfoque Fisiográfico ou da Paisagem (“Landscape Approach”), onde a delimitação de diferentes feições de relevo é feita com base num conjunto de observações fotointerpretativas e de campo, ou pelo enfoque Paramétrico (“Parametric Approach”) que

tem o mesmo objetivo (delimitação de áreas diferentes do ponto de vista fisiográfico) entretanto busca-se medir parâmetros representativos da geometria dos landforms tais como declividades, amplitudes, extensões, parâmetros da rede de drenagem, etc.

Em ambos os enfoques são utilizados três níveis hierárquicos, os quais dependem da escala adotada, grau de detalhamento pretendido e do tamanho dos “Landforms” mapeados. São eles:

Sistema de Terreno (land system)

São associações de feições do relevo, apresentando condições similares de processos evolutivos e materiais rochosos associados

Unidade de Terreno (land unit)

Trata-se de uma feição individual do relevo, distinguida por apresentar determinado subconjunto de processos, diferentes dos demais. A delimitação é feita com base em características morfológicas, tais como: inclinação da vertente; amplitude de relevo; forma topográfica e característica de estruturação da drenagem. Pode-se fazer interpretações quanto à relação entre o Landform, seu estágio evolutivo e o estágio evolutivo do perfil de alteração.

Elemento de Terreno (land element)

Correspondem às menores subdivisões do terreno, com base na inclinação ou forma da vertente, posição ou forma topográfica.

As compartimentações relativas aos três níveis hierárquicos podem ser observadas na Figura 21:

FIGURA 21: Aplicação da técnica de avaliação do terreno, LOLLO (1995), modificado de COOKE & DOORKAMP (1990)

4.2.2.2. Procedimento utilizado na confecção do Mapa de Landforms

Baseado na metodologia sintetizada por LOLLO (1995) o mapa apresentado no ANEXO I, foi elaborado através de fotointerpretação na escala 1: 60.000 (1965), compartimentado preliminarmente em 14 sistemas de terreno, os quais quando possível, devido à escala e tamanho das formas, foram compartimentados em unidades e elementos de terreno. Realizou-se uma etapa de campo para checagem do resultado quando às formas e

composições (solos e rochas), entretanto devido ao tempo reduzido e finalidade do trabalho, grande parte das caracterizações foram feitas através de dados geológicos e pedológicos já mapeados, compatíveis com a escala deste trabalho.

As informações referentes a cada sistema e suas respectivas unidades, foram sistematizados na forma de tabelas (ANEXO I) contendo informações quanto a: características gerais (formas, amplitudes, vales, topos, etc.), tipo(s) litológico(s), tipos pedológico(s), classe(s) de declividade(s), etc. Os tipos de relevo foram descritos segundo Pires Neto, 1992 (Tabela 17).

TABELA 17 : Classificação de tipos de terreno adotada por PIRES NETO, 1992 (modificada de PONÇANO et al, 1981).

AMPLITUDES LOCAIS		DECLIVIDADES PREDOMINANTES	TIPOS DE RELEVO		
< 100 m		< 5 % 5 - 15 % > 15%	Rampas Colinas Morrotes		
100 a 300 m		5 - 15 % > 15 %	Morros com encostas suavizadas Morros		
> 300 m			Montanhas		
Expressão em área da forma	Muito Pequenas < 0,3 Km ²	Pequenas 0,3 a 1,0 Km ²	Médias 1,0 a 4,0 Km ²	Amplas > 4 Km ²	

A Tabela 18, ilustra as informações levantadas nesta etapa, utilizando-se como exemplo o sistema 1 (Figura 22). Pode-se ainda observar na Figura 23 uma vista geral deste sistema, bastante homogêneo e extenso.

Figura 22: Mapa de Unidades de Terreno (Landforms)

Tabela 18- Principais características do sistema de terreno nº 1

SISTEMA 1	Amplitudes: < 100 metros					
	Topos: arredondados a aplainados					
	Vales: três tipos predominantes : aberto de fundo plano (associados a solo gley); em 'U' com planícies aluvionares retritas; e vales mais encaixados associados a maiores declividades.					
	Formas: colinas amplas e rampas, com expressão em área > 4km ²					
	Litologias associadas: Formações Tatuí, Corumbataí, Serra Geral e com menos representatividade Irati.					
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/tipo de rocha(s)	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Frequência dos canais de drenagem	Area em Km ²
1/1	formas muito suaves (rampas), separadas das colinas por apresentar declividades inferiores a 5%	predomínio Fm. Serra Geral (basaltos)	declividades inferiores a 5%	Latossolos Vermelho- Escuros (LE2+LE3)	baixa	88,79 Km ²
1/2	relevo suavemente ondulado, representado por colinas amplas, apresentando vertentes com perfis predominantemente convexos	Predomínio da Fm. Tatuí (Irati e Serra Geral	declividades entre 5 e 15%	Predominam Lato ssolos Roxos (LR1/LR3)	baixa	168,24 Km ²
1/3	vale de fundo plano, apresentado planícies aluvionares mais desenvolvidas		declividades muito baixas - 0-2%	Gley (G1)	-	14,04 Km ²

Tabela 18- continuação

1/4	vale relativamente encaixado, com planície aluvionar restrita, apresentando declividades elevadas na porção inferior da encosta	Fm. Tatuí	classe predominante 5-15% localmente >30%	Litólico + Podzólico (Li2 + Li3 + PE)	-	8,10 Km ²
1/5	vale em 'U', associado a formas relativamente menores (transição colinas médias/amplas), apresentando vertentes ravinadas.	Fm. Tatuí	Encostas 5-15% vale/planície <5%	Podzólico vermelho - amarelo (PV9)	-	3,32 Km ²

PERFIL A - B

Figura 23 - Vista geral do Sistema de Terreno 1

4.2.3. Mapa de uso e ocupação do solo

A maior parte da área encontra-se hoje ocupada pela monocultura da cana-de-açúcar, responsável pelo abastecimento das indústrias de açúcar e álcool. Apesar da monotonia aparente da área, as informações relativas ao uso e ocupação são de grande valia em diagnósticos de problemas ambientais.

Buscou-se auxílio de técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, para confecção do mapa de uso e ocupação do solo, pela rapidez, precisão e facilidade de futura integração a outros dados em um Sistema de Informações Geográficas.

Utilizou-se imagem Landsat TM em CD-ROM com nível de correção 6, passagem de 24/08/96, processada através do programa ENVI (The Environment for Visualizing Images) versão 2.6.

A imagem foi corrigida geometricamente com base em folhas topográficas do IBGE 1:50.000, e associada a coordenadas UTM. Pontos de controle (GCP's) comuns ao mapa e à imagem foram selecionados, buscando-se principalmente pontos que não tivessem variação temporal, garantindo menor erro no ajuste.

Inicialmente buscou-se a avaliação dos diferentes alvos presentes na imagem, seguida de uma etapa de campo, a fim de caracterizar estes alvos e definir o número de classes representativas para a área.

Definido o número de classes, partiu-se para a amostragem de regiões de interesse, traçadas diretamente sobre a imagem, procurando-se sempre obter amostras representativas e espectralmente homogêneas. Utilizou-se composição colorida falsa cor nas bandas 4,5,3, na separação visual das unidades, auxiliado pelo espaço de atributos bi-dimensional em diversas combinações de bandas, o qual permitiu que a separabilidade de cada classe fosse avaliada, durante o processo de amostragem. Esta etapa teve também o auxílio de fotografias aéreas nas escalas 1:25.000 (1995) e 1: 60.000 (1965) quando necessário, porém utilizou-se principalmente os dados de campo na definição das regiões de interesse.

A fim de se distinguir e identificar os diferentes materiais e padrões, a imagem foi submetida a uma classificação supervisionada, atribuindo-se cada píxel da imagem a uma classe, dentre várias previamente definidas através de pontos de controle de campo.

Para processamento utilizou-se o método da Máxima Verossimilhança, o qual foi utilizado baseado em referências bibliográficas principalmente, além de testes com outros classificadores. O resultado obtido representa um mapa temático digital (CROSTA, 1992), de classes de uso do solo.

O resultado da classificação foi posteriormente checado, através de pontos distribuídos pela área, diferentes daqueles selecionados como input. Algumas situações específicas exigiram outros procedimentos, como é o caso das áreas urbanas que não foram incluídas como regiões de amostragem. Estas áreas, devido à diversidade de materiais que as compõem, não apresentam um comportamento espectral homogêneo, como salienta Novo (1989), apresentando uma variância interna muito grande. Assim, estas áreas foram separadas pela textura, sendo traçadas na fase de edição do resultado, através de recursos oferecidos pelo software utilizado.

A área encontra-se ocupada predominantemente por cana de açúcar, entretanto este tipo de uso, devido aos diversos estágios de crescimento em que se encontra, resulta em uma grande diversidade de respostas espectrais. Assim, preliminarmente estes diferentes padrões foram separados, para uma maior precisão do resultado, sendo posteriormente agrupadas por representarem a mesma forma de uso do solo.

4.2.3.1. Resultados obtidos

Na Figura 24 pode-se observar o mapa de uso e ocupação do solo obtido para a região, correspondendo à situação de agosto de 1996. Este mapa encontra-se também em Anexo (ANEXO II).

Os tipos de usos presentes na área foram enquadrados dentro das categorias de uso e ocupação das terras apresentado em IPT (1997), que por sua vez foram originalmente extraídas de SERRA FILHO ET AL. (1974) E CHIARINI ET AL (1976).

Figura 24- Mapa de uso e ocupação do solo, região de Piracicaba (SP).

As categorias presentes na área de estudo, bem como a área ocupada por cada uma delas, encontram-se representadas nas Tabelas 19 e 20, respectivamente.

Tabela 19: Categorias de uso e ocupação do solo para a área estudada

GRUPO DE CATEGORIAS	CATEGORIAS DE USO E OCUPAÇÃO
Vegetação de porte alto a médio	<i>Vegetação secundária / Reflorestamento</i>
Vegetação de porte médio a baixo	<i>Cana - de - açúcar</i>
Vegetação de porte baixo a rasteiro	<i>Pastagens e Várzeas</i>
Outros usos: Naturais e Antrópicos	<i>Espelho d'água</i> <i>Área Urbana</i> <i>Área em processo de expansão urbana</i>

Tabela 20: Área ocupada pelas categorias de uso e ocupação do solo.

CATEGORIAS DE USO E OCUPAÇÃO	ÁREA OCUPADA EM %	ÁREA OCUPADA EM Km ²
Cana - de - açúcar	73,45	525,85
Pastagens e Várzeas	9,65	69,09
Vegetação secundária / Reflorestamento	5,86	41,97
Área Urbana	5,15	36,90
Área em processo de expansão urbana	4,15	29,73
Solo exposto	0,84	6,05
Pólo Agroindustrial	0,37	2,70
Espelho d'água	0,29	2,07
Áreas não classificadas	0,21	1,51

CANA - DE - AÇÚCAR

A área estudada possui como característica marcante a monocultura da cana-de-açúcar, com suas plantações ocupando cerca de 73 % da área de estudo. Este tipo de uso está disposto sobre diversas unidades geoambientais, mais e menos aptas ao uso agrícola, em alguns casos apresentando sérias restrições.

É considerada cultura semi-perene, tendo ciclo médio de 4 anos (do plantio até renovação dos talhões), IPT (1997).

A monocultura de cana de açúcar exerce grande influência na economia regional, entretanto podem-se constituir grandes colaboradoras na geração de impactos ambientais negativos.

O Núcleo de Meio Ambiente da EMBRAPA - NMA (1997) tem realizado alguns estudos envolvendo a avaliação do impacto ambiental do cultivo da cana-de-açúcar, salientando que com exceção deste estudos, poucos são os trabalhos sobre o assunto, sendo as consequências das transformações sobre o meio ambiente natural e sócio-econômico praticamente desconhecidas.

O Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar é separado em três sub-sistemas: o Agrícola (cultivo da cana), o Industrial (transformação em açúcar e álcool) e o de Transportes.

Ressaltam ainda que as interações dentro do subsistema-cultivo da cana-de-açúcar, variam no tempo, relacionado com novas tecnologias (reaproveitamento do vinhoto, controle biológico da broca da cana, colheita mecanizada da cana crua, etc.) e no espaço, de acordo com: solos, relevo, clima, uso das terras.

Da mesma forma, os impactos ambientais dependem destas interações, entretanto, ainda não foram realizadas avaliações do impacto ambiental do sistema de produção da cana-de-açúcar de forma completa, em nenhum lugar no estado de São Paulo, ou mesmo no Brasil (EMBRAPA - NMA, *op. cit.*).

Como exemplo dos impactos que estão sendo avaliados pelo EMBRAPA - NMA (*op. cit.*) tem-se: impactos ambientais dos insumos agrícolas (nitrogênio, herbicidas); impacto ambiental sobre os recursos naturais e sobre sistemas bióticos/abióticos (solos, águas de superfície, ar, vegetação natural, fauna selvagem), os quais contribuem para o Impacto Total da Agricultura.

VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA / REFLORESTAMENTO

A vegetação remanescente na área é pouco expressiva, representada por fragmentos isolados, predominantemente alterados pela ação atropica, além de alguns reflorestamentos e hortos florestais mapeados conjuntamente devido a escala de trabalho.

As drenagens também encontram-se quase sempre desprovidas de vegetação ciliar. Grande parte deste tipo de cobertura encontra-se hoje ocupando áreas de declividades acentuadas.

PASTAGENS E VÁRZEAS

Vegetação de porte baixo a rasteiro, abrangem pastagens artificiais e pastagens de vegetação espontânea que sucedem os desmatamentos, ou ainda pastagens abandonadas (“pastos sujos”). A vegetação de várzea está incluída nesta categoria.

Constituem categorias pouco expressivas dentro da área de estudo.

ESPELHO D'ÁGUA

Classe representada por pequenas represas e lagos, sendo que as drenagens não ficaram registradas devido à resolução do sensor.

ÁREA URBANA / ÁREA EM PROCESSO DE EXPANSÃO URBANA

Esta classe representa a área urbana já consolidada, sendo que as áreas representadas por bairros isolados, ou com uma densidade de ocupação ainda baixa, foram consideradas como áreas em processo de expansão urbana.

POLO AGROINDUSTRIAL

Corresponde, dentro da área de estudo, às usinas Costa Pinto (em Piracicaba) e Iracema (em Iracemápolis), que devido às dimensões de suas instalações, e ao significado que podem ter em termos ambientais e econômicos, foram separadas como um tipo de ocupação específica.

SOLO EXPOSTO

Correspondem a áreas de solos desprovidos de vegetação ou qualquer outro tipo de ocupação (solo nú). Inicialmente áreas de solo exposto correspondentes a talhões de cana-de-açúcar foram incluídas como áreas de solo exposto, entretanto por também corresponderem ao uso cana-de-açúcar, foram posteriormente incluídas nesta classe.

4.3. USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

A opção pelo uso de um sistema de informações geográficas concretizou-se pela necessidade de análise, cruzamento e armazenamento de um grande número de variáveis, visando rapidez e precisão na realização de análises espaciais.

A incorporação desta ferramenta dentro do contexto metodológico de mapeamento geotécnico consiste em prática relativamente recente, mas que vem sendo alvo de um grande número de trabalhos buscando adaptar as metodologias manuais às possibilidades dos sistemas.

Assim, buscou-se a modelagem cartográfica em ambiente de sistemas de informação geográfica, que segundo FERREIRA (1996) consiste no uso de modelos ou representações, expressos na forma de combinação de mapas, estruturados em uma sequência de regras de transformação espacial de dados geográficos mapeados. Vários planos de informação (ou layers) são integrados, constituindo a base de dados espaciais em que atuarão as funções de processamento espacial de um SIG (FERREIRA, *op.cit*).

O software utilizado foi o IDRISI *for Windows* (Versão 2.0), adquirido pelo departamento de Geotecnia (EESC\USP) na ocasião da realização desta pesquisa.

4.3.1 Digitalização e preparo do material para utilização via sistema de informações geográficas

Utilizou-se a folha topográfica do IBGE 1:50.000 (drenagens principais / estradas), como base sobre a qual todos demais mapas foram digitalizados.

O programa utilizado para digitalização e fechamento dos polígonos foi o Autocad R12. Os mapas foram então exportados em DXF, importados para o IDRISI, e rasterizados utilizando-se uma resolução de 30 x 30 metros para que fosse compatível com a imagem de satélite.

Os mapas temáticos foram também padronizados em uma escala comum, para a normalização dos intervalos de medidas dos mapas originais, em um intervalo único na escala byte (0-255), utilizando-se a função STRECHT. Tal procedimento é citado por FERREIRA (1996) com base em procedimentos semelhantes empregados por Voogd e adaptado posteriormente para SIG por EASTMAN.

A partir deste ponto, já com os mapas dentro do ambiente do SIG, tem-se a possibilidade de realizar diversas análises, de maneira bastante rápida. Entretanto a etapa de digitalização e fechamento dos polígonos constitui a fase mais demorada e trabalhosa, tendo representando cerca de 70% do tempo gasto no trabalho em SIG.

As informações utilizadas nas análises via SIG, encontram-se sistematizadas na Tabela 21.

TABELA 21 : Cartas e mapas digitalizados para uso em SIG

MATERIAL DIGITALIZADO	
MAPAS JÁ DISPONÍVEIS (adotados)	MAPAS PRODUZIDOS (nesta etapa)
-Mapa geológico -Mapa de materiais inconsolidados -Mapa de zoneamento geotécnico geral -Carta do potencial ao escoamento superficial (Pejon,1992) -Carta pedológica (IAC, 1989)	-Mapa de sistemas e unidades de terreno (fotointerpretação + campo) -Mapa de sub-bacias hidrográficas (fotointerpretação) -Mapa de uso e ocupação do solo (classificação digital de imagem de satélite)
-Mapa topográfico (disponível na forma digital / projeto Piracena)	

4.3.2. Mapas produzidos via Sistema de Informação Geográfica

Os mapas preparados na etapa anterior, estavam então disponíveis no SIG, o qual permite sobreposições, cruzamentos, reclassificações de forma bastante rápida, facilitando desde uma simples visualização, até a obtenção de análises espaciais mais complexas, envolvendo mais que uma variável. Possibilita também, que várias soluções possam ser testadas, na busca de um resultado que melhor represente a área de estudo. Entretanto, como já salientado, a metodologia utilizada, a qualidade dos dados, e um controle do resultado obtido tanto pelo conhecimento a priori, como pela checagem a posteriori são essenciais na obtenção de produtos confiáveis.

As informações disponíveis na forma de mapas, quando necessário, foram reclassificadas de acordo com o objetivo da carta a ser produzida. Vários mapas intermediários foram então produzidos pela combinação dos mapas disponíveis, servindo de base para o zoneamento geoambiental da região.

O mapas apresentados a seguir representam avaliações da área sob diversos aspectos, consistindo em produtos intermediários fundamentais para uma caracterização abrangente da área estudada, sendo que muitos deles foram considerados diretamente na definição das unidades geoambientais, ou seja:

CRUZAMENTO E RECLASSIFICAÇÕES DAS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS	MAPAS BINÁRIOS (RESTRIÇÕES BASEADAS EM ASPECTOS LEGAIS)
Mapa de densidade hidrográfica Carta de declividade Carta de susceptibilidade à erosão Carta de aptidão agrícola Carta de vulnerabilidade do aquífero	Faixa marginal dos rios Piracicaba (100 m) e Corumbataí (50 m) Áreas de várzea Declividades superiores a 30% Áreas com vegetação

4.3.2.1. Mapa de densidade hidrográfica

A densidade hidrográfica, obtida na forma de mapa para a região, é definida por STHAHLER, 1952 (apud CRISTOFOLETTI, 1974), como:

$$Dh = \frac{N}{A}, \text{ onde:}$$

Dh - densidade hidrográfica

N- número total de rios ou cursos d'água (sendo que para a ordenação de Stralher, o número de canais corresponde ao número de canais de primeira ordem)

A - área da bacia considerada

Trata-se de uma análise relativa para a área, sendo os intervalos baixo, média, alta, muito alta, foram definidos em função das informações locais.

Este mapa foi utilizado, tanto como parâmetro de caracterização das unidades homogêneas, quanto como atributo na forma de mapa utilizado em alguns cruzamentos como: carta de susceptibilidade à erosão.

Assim, o mapa contendo as sub-bacias hidrográficas foi vetorizado, rasterizado, e dentro do SIG efetuado o cálculo da área de cada uma das sub-bacias (Mapa A). Através da contagem do números de canais de primeira ordem, estes foram atribuídos a cada sub-bacia gerando-se um mapa com o número de canais (Mapa B). Assim através de uma simples operação de divisão do mapa B pelo mapa A, e posterior reclassificação em 4 intervalos julgados pertinentes, obteve-se uma mapa com a distribuição da densidade hidrográfica para a área, como pode ser observado na Figura 25 .

FIGURA 25 : Mapa de densidade hidrográfica

Através do mapa da Figura 25, obteve-se que 55% da área apresenta uma baixa densidade hidrográfica, ou seja, menos que 2 canais por Km².

4.3.2.2. Carta de declividade

A base topográfica (Folha 1:50.000 IBGE), já no formato digital fornecida pelo Projeto Piracena, foi interpolada através do programa SURFER, importada para o IDRISI. Através de função específica (SLOPE), obteve-se a carta de declividade em porcentagem, reclassificada em quadro classes de interesse (Figura 26).

Figura 26- Carta de declividade

As classes de declividade foram divididas em quatro intervalos : 0-5%, 5-15%, 15-30% e > 30%, de maneira a permitir a caracterização do relevo segundo os intervalos propostos PIRES NETO (1991).

Uma das grande vantagens da carta confeccionada automaticamente, é a versatilidade de variação nos intervalos de interesse, além da disponibilidade para combinação com outros mapas.

O DTM, modelo numérico do terreno, permite ainda muitas outras aplicações não exploradas neste trabalho.

4.3.2.3 Carta de susceptibilidade à erosão: Considerações Gerais

O Estado de São Paulo é marcado por um histórico de desmatamentos, seguidos pelo cultivo das terras e intensa expansão urbana, quase sempre de modo desordenado, sendo tais fatores decisivos na aceleração de processos erosivos.

O fenômeno da erosão consiste no destacamento e transporte de materiais superficiais, resultante da ação combinada de diversos fatores, sendo que em países tropicais a água de chuva é o principal agente de transporte dos materiais inconsolidados, dentre outros como rios, ventos, mares, ventos (PEJON, 1992). A erosão depende ainda de fatores naturais como: clima, geomorfologia, a natureza do terreno (substrato rochoso e material inconsolidado) e a cobertura vegetal, acrescidos da interferência antrópica, que vem intensificando e deflagrando processos erosivos.

SALOMÃO & IWASA (1995) dividem os processos erosivos em duas abordagens distintas. São elas:

- erosão natural ou “geológica” - processos que ocorrem em condições de equilíbrio com a formação dos solos, ao longo de centenas de anos
- erosão acelerada ou “antrópica” - processos rápidos, em geral com velocidade superior à formação dos solos (resultando na degradação destes, por não permitir sua recuperação natural).

Os processos erosivos também podem ser diferenciados em:

Erosão Laminar (DAEE/ IPT, 1990) - acontece quando os filetes de água ao escorrerem encosta abaixo não formam canais definidos, como se uma lâmina d’água lavasse o terreno por inteiro. Este tipo de erosão é responsável pela degradação de horizontes superficiais de solos, atingindo extensas áreas, tendo interesse mais direto para área agrícola.

Erosão por escoamento concentrado acontece, quando os filetes de água se juntam, até formarem enxurradas com elevada capacidade de arrancar e transportar material. Formam sulcos e ravinas, podendo formar boçorocas à medida que se aprofundam no terreno (DAEE/ IPT *op. cit.*). Sulcos e ravinas: segundo U.S. SOIL CONSERVATION, 1966 (apud SALOMÃO, 1994) a diferença entre estes dois termos está na profundidade da erosão linear, sendo que se trata de uma ravina “quando o canal formado não pode ser obliterado por operações normais de preparo do solo”.

Segundo IPT / 1986 (apud SALOMÃO *op.cit.*) como ravinamentos são entendidas as erosões causadas simplesmente pela concentração do escoamento superficial, os quais na maioria das vezes vem a acentuar a degradação do solo já iniciada pela erosão laminar.

Boçorocas resultam de diversos fenômenos como: erosão superficial/ erosão interna/ solapamentos e descalçamentos/ desabamentos e escorregamentos, que conjugados adquirem elevado poder destrutivo. Segundo SALOMÃO (1994) as boçorocas resultam do

aprofundamento de sulcos, atingindo grandes dimensões, interceptando o lençol freático, e observando-se processos erosivos resultantes da ação conjugada de águas superficiais e sub-superficiais.

A tabela 22 apresenta uma síntese dos fatores, tanto naturais quanto antrópicos, envolvidos no processos erosivo.

Tabela 22: Fatores naturais e antrópicos envolvidos nos processos erosivos (extraído de DAEE/IPT, 1990)

FATORES NATURAIS DA EROSÃO	OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO (FATOR DECISIVO)
<p>FATORES EXTRÍNSECOS <u>a chuva</u> (aceleração maior ou menor) a depender de sua distribuição/ intensidade, etc. <u>a cobertura vegetal</u> (e também cobertura agrícola) - proteção (↓ escoamento superficial) <u>Topografia (declividade + comprimento das encostas)</u> <u>a topografia</u> - determina a velocidade dos processos erosivos / a declividade tem mais importância quanto maior o <u>comprimento das encostas</u></p> <p>FATORES INTRÍNSECOS <u>tipos de solos</u> - tratado como fator intrínseco pois além de comandar a erosão e afetado por ela. Os tipos de solos determinam a <i>erodibilidade</i> dos terrenos, ou seja sua susceptibilidade. Características dos solos que condicionam a erosão: textura, espessura, composição, espessura, relação textural entre os horizontes Ao mesmo tempo os solos apresentam íntima relação com fatores extrínsecos da erosão como: clima, relevo, vegetação e substrato geológico.</p>	<p>Desmatamento e fatores que propiciam concentração das águas como: - cercas - caminhos - ruas - drenagens - galerias - e até mesmo esgotos quando somados às águas pluviais/ águas servidas despejadas nas periferias das cidades.</p>

4.3.2.3.2. Metodologia utilizada na elaboração da carta

Pensando-se que é possível prevenir, pois pode-se prever o desencadeamento de processos erosivos, como salienta DAEE/IPT (1990), bastando o conhecimento das terras e suas diferentes aptidões (a diferentes usos) e diferentes susceptibilidades à erosão, buscou-se uma análise dos terrenos da área de estudo quanto às susceptibilidades naturais ao processo

erosivo por escoamento concentrado. Considerou-se diversos atributos via SIG, ressaltando que os fatores analisados também podem ser indicativos de erosão laminar, entretanto esta apresenta abordagens metodológicas mais específicas, como é o caso da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), não sendo aqui diretamente considerada.

A confecção da carta de susceptibilidade à erosão busca dar subsídio ao planejamento do uso do solo, diagnosticando áreas mais e menos susceptíveis, as quais quando manejadas inadequadamente podem apresentar problemas.

Fatores considerados

Partiu-se da reclassificação de informações pedológicas, geológicas, de declividade e densidade hidrográfica, definindo-se grupos considerados de comportamento semelhante frente ao processo erosivo, para cada parâmetro analisado.

As legendas foram hierarquizadas da menos para a mais susceptível, como apresentado na Tabela 23.

TABELA 23: Hierarquização das informações consideradas na elaboração da carta de susceptibilidade à erosão.

	Susceptibilidade Baixa	Susceptibilidade Moderada	Susceptibilidade Alta / Muito Alta
Informações Pedológicas	LVE, LR, TE, C+A, PE, PE+PV2	LV7, LV2, TEP, PV10, PV11+Li2, Li3+PV9, Li3+PV10+PV9, PV2, PV2+Li2, LV2+LE1	PV9, PV1, PV7 + PV5, PV4, PV7, PV8, PV11
Informações geológicas	Fm. Corumbataí	Fm. Tatuí e Irati	SGr.Itararé e Fm. Pirambóia
Declividade	5 - 15%	15 - 30 %	> 30 %
Densidade hidrográfica	2 - 4 canais/Km ²	4 - 7 canais/Km ²	> 7 canais/ Km ²
<u>SIMBOLOGIA :</u>			
Li - solos litólicos e G - solos gleizados			
LVE - latossolos vermelho-escuros (argilosos/muito argilosos)			
LR - latossolos roxos			
TE - terra roxa estruturada argilosa/muito argilosa			
PE - podzólicos vermelho-escuros (argiloso/muito argiloso)			
LV7 - latossolos vermelho- amarelos (textura média)			
PV - podzólicos vermelho-amarelos (predominantemente abrupticos)			
C + A - cambissolos + solos aluviais			

As áreas de solos litólicos e áreas de várzea (vales abertos com declividades < 2%), foram excluídas da análise por se constituírem áreas não susceptíveis à erosão. Entraram na avaliação multicriterial como restrição, juntamente com as áreas urbanas.

Os fatores (mapas) acima foram combinados através da função de avaliação multicriterial (MCE) no IDRISI, que baseia-se na atribuição prévia de pesos aos fatores, por meio da técnica de ordenação hierárquica adaptada a SIG por Eastman (Ferreira, 1996). Os pesos (Tabela 26) são obtidos após a construção de uma matriz (Tabela 25) de comparação da importância relativa entre os parâmetros, baseado na escala contínua de comparação paritária entre os fatores (Tabela 24).

Tabela 24: Escala contínua de 9 pontos de comparação paritária entre fatores (Eastman, 1997)

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremamente	moderadamente		igualmente	moderadamente		extremamente		
menos importante					mais importante			

Tabela 25: Matriz de ponderação relativa entre fatores

	<i>Declividade</i>	<i>Pedologia</i>	<i>Geologia</i>	<i>Densidade hidrográfica</i>
<i>Declividade</i>	1			
<i>Pedologia</i>	1	1		
<i>Geologia</i>	1/5	1/5	1	
<i>Densidade hidrográfica</i>	1/3	1/3	3	1

Tabela 26: Valores dos pesos atribuídos aos fatores e a taxa de consistência da ponderação

FATOR	PESO
<i>Declividade</i>	0.3899
<i>Pedologia</i>	0.3899
<i>Geologia</i>	0.0679
<i>Densidade hidrográfica</i>	0.1524
Taxa de consistência : 0,02	

A valoração de um parâmetro em relação ao outro baseou-se tanto em aspectos teóricos, quando em um conhecimento prévio da área. Entretanto o ideal seria que vários profissionais de área afins pudessem ser consultados, buscando-se reduzir a subjetividade inerente a este tipo de análise.

4.3.2.3.3. Resultado obtido

A carta de susceptibilidade encontra-se apresentada em escala reduzida na Figura 27, e também como ANEXO III, compreendendo quatro classes de susceptibilidade.

Figura 27: Carta de susceptibilidade à erosão por escoamento concentrado, obtida para a região estudada

A classe não susceptível é representada pelos solos litólicos e as regiões de várzea, os quais foram a priori consideradas como não susceptíveis. Ocorrem predominantemente na porção oeste da área, além de “escarpas” na porção centro/sudoeste, ocupando cerca de 15%.

As classes Baixa e Moderada ocupam juntas 60% da área. As porções de baixa susceptibilidade correspondem predominantemente aos latossolos (roxo e vermelho-escuro) de textura argilosa/muito argilosa, relativamente espessos. As regiões obtidas como moderada são representadas pelos materiais de textura média, e/ ou às regiões com declividades maiores dentro de domínios de baixa susceptibilidades.

As regiões classificadas como tendo alta susceptibilidade, correspondem predominantemente às áreas de ocorrências de podzólicos vermelho-amarelos, abrupcos, arenosos, em terrenos com declividades entre 5 - 15 %, e > 20 %. Representa cerca de 15 % da área total.

A avaliação da susceptibilidade à erosão consiste em informações fundamentais na definição e caracterização das unidades geoambientais, sendo também um exemplo das potencialidades do uso do SIG na obtenção de cartas derivadas ou interpretativas de maneira rápida e eficiente. Outros atributos podem ainda ser incluídos de maneira a obter uma carta mais detalhada.

4.3.2.5. Carta do Potencial Agrícola

A avaliação da aptidão agrícola das terras, de maneira geral busca prolongar ou até mesmo aumentar a capacidade produtiva, ao mesmo tempo que evitar que graves danos ocorram aos solos (ASSUMPÇÃO et al., 1990).

Tais avaliações são resultantes da integração de uma série de dados para cada tipo de solo como: declividade, erodibilidade, profundidade efetiva, fertilidade, etc, sendo que segundo ASSUMPÇÃO (*op.cit.*), as várias metodologias de avaliação da aptidão agrícola consideram, de uma maneira geral: os níveis de manejo, os fatores limitantes, juntamente com o grau de limitação de cada fator para obtenção das diferentes classes de aptidão.

Esta carta foi elaborada a partir dos atributos propostos por ZUQUETTE et al. (1993), apresentados na Tabela 27, com a finalidade de obter uma avaliação geral das potencialidades e limitações da região quanto aos aspectos agrícolas. Não se pretende entretanto, avançar neste assunto, tanto pela falta de aptidão técnica, por se tratar de ramo específico da agromomia, quanto por tornar-se inviável dentro dos objetivos deste trabalho.

TABELA 27 : Relação dos atributos e seus níveis, para definição das classes para elaboração da carta de potencial agrícola (ZUQUETTE et al., 1993).

CLASSES \ ATRIBUTOS		FAVORÁVEL	MODERADA	SEVERA	RESTRITIVA	
Substrato Rochoso	Profundidade (m)	> 1,5	>0,7	> 0,5	> 0,2	
Material Inconsolidado	Textura	média, argilosa, argilo-arenosa	areia (<30%)	arenosa (< 90%)	arenosa e ou argilas expansivas	
	Estruturas	moderada ou sem			maciça, estrutura grosseira	
	Consistência	friável		dura	muito dura	
	Níveis de umidade	boa retenção			baixa retenção	
	C.T.C (meq/100g T.F.S.A)	> 20 meq/100g (superficial) > 10 meq/ 100g (subsuperficial)	10 meq/100g (superficial) 5 meq/100g (subsuperficial)	> 2 meq/100g (superficial e subsuperficial)	< 2 meq/100g (superficial e subsuperficial)	
	Δ pH	negativa			positiva	
	pH	5,5 - 7,5			<4 - > 8	
	Nutrientes	altos níveis			baixos níveis	
	Pedregosidade	sem ocorrência (< 0,1%)	pequena ocorrência (0,1 - 1 %)	média (> 2%)	alta ocorrência (> 3%)	
	Salinidade	Ece* (ms/cm)	> 2	2 - 8	8 - 15	> 15
	Sódio trocável	Meq/100g	< 0.2	0,2 - 1	> 1	> 2
		Na/CTC (%)	> 2	2 - 10	> 10	> 15
	Capacidade de campo ou ponto de murchamento	alto	médio	baixo	baixo	
	Porcentagem de matéria orgânica (%)	> 4 %	2 %	1%	< 0,1%	
	Saturação em bases	> 60	20 - 60	< 20	< 10	
Água	Drenabilidade	boa	média	má	má	
	Profundidade	> 2	1 - 2	< 1	< 0,5	
Relevo	Declividade (%)	< 8	8 - 12	> 12	> 20	
Riscos	Erosão	baixa	média	alta	alta ou muito alta	
	Contaminação das águas subterrâneas	nula a baixa	baixa	média	alta	
Condições para irrigação	Meio físico	adequado	médi / adequado	média/ média	inadequado em um dos fatores	
	Água	adequado	adequada/ média			

Dados de ensaios para cada uma das unidades pedológicas (IAC,1989), apresentados no Apêndice II, além de dados obtidos por Pejon (1992) para os materiais inconsolidados, foram comparados com os limites propostos por ZUQUETTE et al. (1993), buscando enquadrar cada uma das unidades pedológicas em uma classe de aptidão. A partir desta análise, montou-se a Tabela 28, obtendo-se a aptidão de cada classe de solo, para cada um dos fatores considerados.

TABELA 29: Classificação dos tipos pedológicos quanto ao seu potencial agrícola

Latossolos Roxos (LR)	Profundidade	Textura	CTC	Δ pH	pH	% C	S	Drenabilidade	% AL
LR1	F	F	M	F	F	S	F	F	F
LR3	F	F	M	F	M	S	M	F	M
Latossolos Vermelho-Escuros (LVE)									
LE2+ LE3	F	F	M	F	M	M	M	F	R
Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA)									
LV1	F								
LV2	F	F	M/S	F	M	S	M/S	F	R
LV5	F								
LV7	F	F	M	F	F/M	M/S	M/S	F	R
Podzólicos Vermelho-Amarelos (PVA)									
PV1	F	M					M/S	M	R
PV2		F					M		R
PV4	F	S	S	F	M	S	M	R	S/R
PV5	M	M/S	M	F	M	S/M	M/F	M	S
PV6		M/S	M	F	M	S	M	M	S/M
PV7	F	M/S	M/S	F	M	S	M	M/F	R/S
PV8	M	M/S	M/S	F	M	S	M	M	
PV9		M/S	M	F	F	S/M	M/F	M	M/S
PV10	M	F		F			M/F		
PV11 Cascalhento	M	M/S	M	F	M	S/M	M	M	M
Litólicos (Li)									
Li1	R	R							
Li2	R	M	M	F	F/M	M	M/F	R	M
Li3	R	F	M/F	F	M	M	F	R	M/F
Li6	R								
Podzólico Vermelho-Escuro (PE)									
PE	F	F	M	F	F	M	M/F	S/M	M
Terra Roxa Estruturada (TE)									
TE	F/M	F	M	F	F	S	F	F	F
F – favorável M – moderado S – severa R – restritiva					CTC - capacidade de troca de cátions % C - porcentagem de carbono S - saturação em bases % Al - saturação em alumínio Δ pH = pH ₂₀ - pH _{KCl}				

As informações do mapa pedológico foram então reclassificadas (Tabela 29) enquadrando-se os tipos pedológicos por predomínio de condições favoráveis, moderadas, severas e restritivas, com base nos fatores apresentados na Tabela 28

TABELA 29: Reclassificação dos tipos pedológicos

FAVORÁVEL	MODERADA	SEVERA	RESTRITIVA
LR3	LE2 + LE3	LV2	Li2
TE	PV5	LV7	Li3
TE + TEP	PV6	PV1	Li3 + Li2
TE + TEL	PV8	PV2	Li1
PE	PV9	PV4	G1
	PV10	PV7	G3
	PV2 + PE	PV11	C1 + A
	TE + Li6	Li2 + PV5	Li6
		Li3 + PV9	Li1 + Li2 + PV11
		LV2 + LE1	BV2 + Li3
		PV2+Li2	
		PV10+Li3+PV9	

Acrescentou-se a saturação em alumínio, pois este não é nutriente para a planta, podendo apresentar problemas de toxidez quando presente em altos níveis (Prado, 1991).

Esses dados foram então convertidos na forma de mapa, pela reclassificação do mapa pedológico, e então ponderados juntamente com aos atributos declividade e erosão, através do módulo de avaliação multicriterial do IDRISI, por meio da seguinte atribuição de pesos, constantes na Tabela 30.

Tabela 30: Importância relativa dos fatores e os pesos resultantes

	Mapa pedológico reclassificado	Susceptibilidade à erosão	Declividade
Mapa Pedológico reclassificado	1		
Susceptibilidade à erosão	1/5	1	
Declividade	1/3	3	1
FATOR		PESO	
Mapa pedológico reclassificado		0,6370	
Declividade		0,2583	
Susceptibilidade à erosão		0,1047	
Taxa de consistência : 0,03			

5.3.2.5.1. Resultados Obtidos

A Carta do Potencial Agrícola pode ser observado em escala reduzida na Figura 27, encontrando-se também em anexo (ANEXO IV).

Figura 28: Carta do Potencial Agrícola

O mapa produzido foi compartimentado nas classes propostas por ZUQUETTE et al. (1993), que são: favorável, moderada, severa e restritiva.

A classe favorável, juntamente com a moderada, representam cerca de 50% da área. As favoráveis compreendem os latossolos roxos, predominantemente, além de áreas de ocorrência de podzólicos vermelho-escuros e terra roxa estruturada. Representam unidades que reúnem o maior número de condições favoráveis quanto ao seu aproveitamento agrícola, não apresentando restrições significativas. As declividades são inferiores a 8% e os solos relativamente espessos.

As moderadas, são representadas pelos latossolos vermelho-escuros e algumas áreas de podzólicos vermelho-amarelos. Possuem como principais restrições a saturação em alumínio (caráter álico) e algumas vezes a textura, no caso dos podzólicos.

A porção que apresentou-se como severa quanto aos potenciais agrícolas, ocupa aproximadamente 25% da área, caracterizando-se pelos podzólicos vermelho-amarelos, predominantemente, e subordinadamente por associações de litólicos e podzólicos. São áreas com alta/moderada susceptibilidade à erosão, solos geralmente pouco espessos, de textura

arenosa, abrupcos. Correspondem a áreas com alta vulnerabilidade à contaminação das águas sub-superficiais.

Quanto às áreas restritivas, compreendem as áreas de litólico, apresentando como principais restrições o impedimento à mecanização devido às reduzidas espessuras de solo, e ainda áreas com altas declividades e vales com áreas sujeitas a inundação. Abrangem cerca de 18% da área de estudo.

4.3.2.6. Carta de vulnerabilidade do aquífero

A contaminação das águas sub-superficiais (aquífero livre) é um dos problemas enfrentados quando da ocupação de uma determinada região. Esta contaminação pode advir tanto do lançamento inadequado de rejeitos líquidos ou sólidos, quanto do uso indiscriminado de insumos ou defensivos agrícolas.

A análise realizada neste trabalho, não procura estabelecer zonas mais ou menos favoráveis ou susceptíveis a determinados tipos de contaminantes, mas sim, a partir de características do meio físico, estabelecer as áreas onde existe maior fragilidade. Assim, por exemplo, áreas com solos muito permeáveis, com espessuras reduzidas e declividades baixas, constituem-se regiões muito favoráveis a infiltração e por consequência mais vulneráveis a contaminação das águas sub-superficiais.

No caso da carta elaborada neste trabalho, considerou-se os seguintes atributos do meio físico: permeabilidade e espessura dos materiais inconsolidados, declividade, densidade hidrográfica e substrato rochoso. Para cada um destes atributos, em função de sua variação na área, estabeleceu-se uma hierarquização da condição de menor para maior vulnerabilidade. Sendo assim, por exemplo, os materiais quanto mais arenosos, receberam maior pontuação.

Análise dos atributos considerados

Permeabilidade

A permeabilidade foi estimada através da relação apresentada por Honorato e Makenna (1975), onde considera-se o parâmetro D50 obtido a partir da curva granulométrica, e massa específica de campo (ρ_{dc}). Os autores apresentam várias relações

entre parâmetros para se chegar à permeabilidade, sendo que a fórmula utilizada, é a que apresenta um maior coeficiente de correlação:

$$K = 14.266 D_{50}^{2.19735} \sqrt{\rho_{dc}} 8.50784, \text{ onde:}$$

K - permeabilidade (cm / seg)

D₅₀ - diâmetro das partículas correspondente a : % que passa = 50%

ρ_{dc} - massa específica de campo

Os dados de ensaios granulométricos analisados para estimativa do K, foram os obtidos por Pejon (1992). A partir da estimativa dos valores de K, pode-se reclassificar as informações do Mapa Zoneamento Geotécnico Geral - ZGG (PEJON, *op.cit*) em três classes:

Valores iguais ou superiores a 10^{-6} : solos argilosos, correspondentes à Fm. Corumbataí e Irati
Valores em torno de 10^{-5} : obtidos para latossolos roxos, Fm. Serra Geral
Valores iguais ou inferiores a 10^{-3} : estes resultados foram obtidos para materiais arenosos, correspondentes às formações Itararé (predominantemente) e Pirambóia

Espessura dos materiais inconsolidados

Considerando-se o atributo espessura isoladamente, pode-se afirmar que, quanto mais espesso for o material sobrejacente ao lençol freático, menor a vulnerabilidade à contaminação do aquífero.

Embora não existam informações detalhadas sobre a profundidade do nível d'água na região, as observações de campo, bem como de trabalhos prévios realizados na área (PEJON, 1992) indicam que ocorre uma coincidência entre as áreas de solos espessos e a existência de zonas não-saturadas também espessas. Assim sendo, pôde-se a partir da Carta de Zoneamento Geotécnico Geral (PEJON, *op. cit*), considerar as seguintes classes de espessuras.

Classe 1 - > 5,0 m (menor vulnerabilidade)

Classe 2 - 3,0 a 5,0 metros

Classe 3 - < 3,0 m (maior vulnerabilidade)

Substrato Rochoso:

O substrato foi considerado buscando obter-se possíveis zonas de recarga de aquíferos, dentro da área, mesmo que pouco significativas a nível regional. Desta maneira, as informações relativas ao substrato rochoso foram agrupadas em três classes em função da vulnerabilidade que as diversas formações geológicas apresentam. O mapa do substrato rochoso foi reclassificado nas seguintes classes:

CLASSE 1 - Formações Corumbataí / Irati

CLASSE 2 - Formações Tatuí / Serra Geral

CLASSE 3 - Formações Itararé / Pirambóia

Declividade / Densidade hidrográfica - Tais fatores foram considerados pela influência direta no escoamento superficial e consequentemente na infiltração, sendo que declividades e densidade hidrográfica maiores implicam numa menor infiltração, e vice-versa. As classes consideradas, foram os mesmos das cartas elaboradas para esses atributos, apresentadas nas Figuras 25 e 26.

As informações foram analisadas quanto a sua influência na vulnerabilidade das águas sub-superficiais através de uma atribuição de pesos (Tabela 31), e combinados através do módulo MCE (IDRISI).

TABELA 31: Impotância relativa entre os fatores (porção superior da tabela) e os pesos resultantes

	Pemeabilida- de	Espessura	Geologia	Declividade	Densidade hidrográfica
Pemeabilidad e	1				
Espessura	1	1			
Geologia	1	1	1		
Declividade	1	1	1	1	
Densidade hidrográfica	1/2	1/2	1/2	1/2	1
FATOR			PESO		
Permeabilidade			0,2222		
Espessura			0,2222		
Geologia			0,2222		
Declividade			0,2222		
Densidade Hidrográfica			0,1111		
Taxa de consistência: 0,00 (aceitável)					

O mapa produzido, pode ser observado na Figura 29, em escala reduzida, e também no ANEXO V.

Figura 29 : Carta de Vulnerabilidade do aquífero

5.3.2.6.1. Resultado obtido.

O resultado foi agrupado em quatro classes de vulnerabilidade, sendo que as áreas de vulnerabilidade baixa compreendem solos latossólicos, espessos, argilosos/muito argilosos, com permeabilidades em torno de 10^{-6} cm/seg, além das áreas contituídas por solos litólicos sobre sedimentos da Formação Corumbataí. Também representadas dentro desta classe, encontram-se as áreas com declividades altas ($> 20\%$), favorecendo o escoamento superficial. As áreas de vulnerabilidade moderada compreendem também latossolos argilosos, entretanto apresentam permeabilidades da ordem de 10^{-5} , além de áreas de solos pouco espessos sobre substrato considerado pouco vulnerável. Juntas, estas duas classes abrangem mais de 60% da área.

Já as áreas de vulnerabilidade alta / muito alta são constituídas por solos predominantemente arenosos, pouco espessos, com permeabilidades obtidas da ordem de 10^{-3} cm/s, sobrejacente às formações Itararé e Pirambóia (subordinadamente). As áreas de vulnerabilidade muito alta, além das características da classe anterior, apresentam

declividades mais baixas, favorecendo a infiltração. Encontram-se representadas nestas áreas, as regiões de várzea, com declividades $< 2\%$ e nível d'água próximo a superfície.

A questão de contaminação de águas subterrâneas é bastante complexa, compreendendo além dos atributos considerados, aspectos relacionados à natureza do contaminante, e ainda requerem um conhecimento hidrogeológico da região mais aprofundado. Entretanto, os aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos exercem grande influência, e ainda em nível regional, podem servir de parâmetro relativo de comparação entre áreas mais e menos vulneráveis. O levantamento detalhado da profundidade do lençol freático permitiria o estabelecimento das zonas de risco real de contaminação das águas sub-superficiais.

5. ELABORAÇÃO DA CARTA GEOAMBIENTAL

A carta geoambiental representa uma síntese das características físicas da área, além de refletir certa homogeneidade quanto a: susceptibilidade à erosão, potencial agrícola, vulnerabilidade do aquífero, etc.

A carta final do Zoneamento Geoambiental, apresentada no ANEXO VI, foi obtida com base no Mapa de Lanforms, sendo que cada uma das unidades foi reavaliada quanto a seus aspectos gerais em relação a:

- ⇒ Potencial Agrícola
- ⇒ Susceptibilidade à erosão
- ⇒ Vulnerabilidade do aquífero
- ⇒ Adequabilidade à disposição de rejeitos
- ⇒ % de vegetação presente
- ⇒ Fator (s) limitante (s)
- ⇒ Uso presente

As informações quanto aos aspectos acima foram tabeladas para facilitar a análise (Apêndice 1). Procurou-se através da análise do Mapa de "Landforms", manter individualizadas, agrupar ou acrescentar unidades, que tivessem algum significado não só em termos de meio físico, mas em termos ambientais. Sendo assim, Landforms que reuniam características relativamente homogêneas, ou mesmo particulares quanto aos atributos citados, foram mantidas separadas, e aquelas que apesar de contituiem unidades de terreno diferentes, quando consideradas homogêneas frente às principais fragilidades e aptidões, foram agrupados.

Buscando-se uma caracterização mais abrangente, além das unidades separadas por critérios fisiográficos, foram agregadas às unidades geoambientais já estabelecidas pelo mapa de Landforms, áreas julgadas de importância geoambiental como:

- ♦ área de exploração mineral (landform antrópico), apresentando características específicas quanto aos aspectos socio-econômico e ambientais (U 15);
- ♦ Área de expansão urbana, ou mesmo limite da área urbana diferenciado pelo mapa de uso e ocupação produzido, como prováveis áreas de conflitos;
- ♦ Faixas marginais às drenagens principais : 100 metros para o rio Piracicaba, e 50 para o Corumbataí . A delimitação destas áreas baseou-se no fato de estas serem áreas de

preservação permanente segundo o Código Florestal (Lei 4771/ 65, de 15/09/65 alterada pela Lei 7.511/86 de 07/07/86). Entretanto encontram-se em condições totalmente desfavoráveis devido à ausência quase total de mata ciliar.

As unidades de terreno ('Landforms') foram agrupadas (Tabela 32) nas classes Favorável, Moderada, Severa, Restritiva, para as diversas situações analisadas, visando subsidiar a elaboração da carta geoambiental.

Obteve-se com a análise realizada, 16 Unidades Geoambientais, das quais algumas encontram-se subdivididas em sub-unidades. Tais sub-unidades foram acrescentadas quando a unidade, apesar de possuir características gerais semelhantes, apresentava certa heterogeneidade quanto a algumas das situações avaliadas. Assim, tem-se a possibilidade de que áreas, mais favoráveis ou mais restritivas em alguns aspectos, fiquem registradas, quanto discordantes das características da unidade, dando a opção de escolha entre áreas, por exemplo a futuros usuários.

Ressalta-se a boa correlação apresentada entre as unidades homogêneas ("Landforms") e homogeneidades quanto a: potencial agrícola, susceptibilidade à erosão, vulnerabilidade aquífero, adequabilidade à disposição de rejeitos. Tem-se ainda a possibilidade de avaliação de outras restrições e adequabilidades do meio, a partir dos dados levantados.

Salienta-se que trabalhos desta natureza, possibilitam um amplo diagnóstico das condições do meio ambiente, entretando, neste caso, devido à escala de trabalho adotada, não devem ser utilizados na substituição de estudos locais, detalhados e mais específicos sobre qualquer um dos temas adotados.

A carta geoambiental encontra-se acompanhada de uma legenda contendo uma síntese das informações analisadas, bem como algumas recomendações.

	FAVORAVEL	↔	MODERADA	↔	SEVERA	↔	RESTRITIVA		
POTENCIAL AGRÍCOLA	1/2;	10/1; 2/4;	1/1; 1/5 (a severo) 2/2; 5/1; 5/2; 12/1; 13/2; 13/3;	10/2; 9/2; 4/3; 4/2; 5/9	2/3;3/3;4/1;5/4;5/ 5;5/8;6 ;7/1; 7/2; 8 ;13/1; 13/4	3/2; 12/2	1/3; 1/4; 3/1; 5/10; 9/1; 9/3; 14;		
SUSCEPTIBILIDADE A EROSÃO	1/1; 1/3; 1/4; 2/2; 14; 3/1; 5/10; 9/1; 9/3;	2/4;	1/2; 1/5 (a severo) 2/3; 4/3; 9/2; 5/7; 5/8; 5/1; 5/2; 7/1;7/2; 10/1; 10/2; 12/2; 13/1	13/2; 13/3; 13/4; 6; 5/5; 5/6	3/3 (predom.); 4/1; 5/3; 4/2; 5/4; 12/1; 5/9; 8;	13/4; 3/2			
VULNERABILIDADE AQUIFERO	2/2; 2/3; 5/7; 13/1; 13/2; 13/3;	9/1; 9/3; 6; 12/1; 10/1; 3/1; 7/1; 2/4; 5/10	1/2; 1/1; 1/4; 10/2; 12/2; 13/4		1/5; 4/1; 3/2; 5/5; 5/6;	5/1; 5/2; 5/9; 5/4; 3/3; 8; 5/8; 4/3; 5/3	1/3; 4/2 (local/e severo); 14		
ADEQUABILIDADE DISPOSIÇÃO REJEITOS	1/2; 1/1; 2/3; 10/1 (em parte)						(1) 1/5; 2/3; 2/4	(2,3) ou (N.A) ; 4/3; 5/3; 5/1 5/2; 10/2; 10/1;	(1,2,3);1/4; 3/1;3/2; 3/3; 4/1 4/2;5/4; 5/5; 6; 5/8; 5/9 5/10; 7/1; 7/2; 8; 9/1;9/2; 9/3; 12/1; 12/2; 14;
% VEGETAÇÃO	Sistema 3 (3/1;3/2)	.	Sistema 5 (5/8; 5/9 e 5/4 - horto de Tupi) 10/1 (reflorestamento) 1/1 - fragmento florestal				sistemas c/ menor % de vegetação 6/ 7/ 8/ e 11 (nada) e 4 muito pouco		

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão realizada, mostra a importância de estudos de natureza geoambiental como colaboradores na busca de soluções aos problemas ambientais que a humanidade vem enfrentando, e ainda a utilidade destes documentos como valiosas ferramentas na previsão e prevenção de impactos indesejados.

No entanto, a utilidade destes documentos está diretamente relacionada a uma postura política mais participativa por parte do profissional das ciências da terra e áreas afins, para que a contribuição de pessoal especializado estenda-se efetivamente às demais fases do planejamento.

Quanto às metodologias analisadas, observa-se a necessidade de adaptações metodológicas às mais diversas condições geológicas, geomorfológicas, políticas, sociais, etc., o que resulta numa problemática ambiental específica para cada área, região ou país a ser considerado. Salienta-se que tais metodologias são abordadas de forma bastante genérica, não detalhando procedimentos intermediários, ao menos pelos trabalhos consultados.

Enfocou-se também metodologias mais específicas de compartimentação e caracterização do terreno, que é o caso da compartimentação preliminar usando-se a técnica de landforms (sugerida em várias das metodologias abordadas). Tais feições geomorfológicas mostram-se diretamente relacionadas ao tipo de material inconsolidado, rochoso e profundidade dos perfis de alteração, e ainda à dinâmica superficial, possibilitando uma análise integrada dos atributos do meio, e conseqüentemente a simulação de situações favoráveis e restritivas para diversos fins.

Empregou-se o processamento digital de imagens de satélite na obtenção de informações sobre o uso e ocupação do solo, as quais apresentaram uma boa correspondência em campo, permitindo ainda que tais informações estivessem facilmente disponíveis em SIG para futuras análises. Entretanto a imagem não foi explorada em todo seu potencial, pelo fato de muitos dados já estarem disponíveis, optando-se por usá-los.

O Sistema de Informações Geográficas, prestou grande contribuição à realização deste trabalho, permitindo que os diversos atributos estudados para a área fossem analisados, comparados, combinados, ou mesmo simplesmente visualizados, de forma bastante rápida e precisa, além do cálculo de áreas, zonas de influência, etc. Mostrou-se de extrema importância quer no armazenamento, recuperação ou análise dessas informações.

A utilização de softwares específicos, implica entretanto, em tempo necessário para a familiarização com o programa, além de tempo excessivo gasto no preparo do material para uso em SIG (digitalização), resultando numa diminuição do tempo disponível para realização de análises, trabalhos de campo, etc.

O zoneamento geoambiental realizado possibilitou a compartimentação da área em 16 unidades geoambientais com características físicas particulares, traduzidas em limitações e potencialidades do meio frente a sua utilização pelo homem.

A área estudada possui como característica marcante, a monocultura de cana-de-açúcar, que cobre cerca de 70% da área, solicitando unidades geoambientais bem distintas quanto aos atributos do meio físico, sendo muitas vezes restritivas quanto ao aproveitamento agrícola, além de outros usos. A monocultura por si só já implica em perda da qualidade ambiental, entretando este assunto foge aos propósitos deste trabalho.

Quanto às faixas marginais ao longo das drenagens principais delimitadas, estas encontram-se em condições totalmente desfavoráveis, no que diz respeito à porcentagem de mata ciliar existente.

A área estudada, do ponto de vista do meio físico não apresenta uma pré-disposição ao desenvolvimento de erosões de grande porte, entretanto apresenta áreas com alta susceptibilidade ao desenvolvimento de ravinas, salientando-se que a problemática costuma ser acentuada pela falta de planejamento do uso e ocupação do solo.

Apesar de várias unidades terem sido obtidas para a área, muitas delas com sérias restrições à ocupação, cerca de 40% da área corresponde ao sistema de terreno 1 ou à unidade geoambiental 1, o qual reúne uma série de condições favoráveis/ moderadas, por

exemplo quanto ao potencial agrícola, declividades, vulnerabilidade do aquífero, com exceção de algumas sub-unidades.

Algumas unidades geoambientais somam várias condições restritivas (como é o caso das unidades 3, 4, ou unidades de várzeas, entre outras), nas quais, a ocupação deveria ser evitada.

Outras, apesar de apresentarem-se restritivas quanto a alguns atributos, podem ser favoráveis quanto a outros aspectos, requerendo a análise para cada situação específica.

A abordagem do tema meio ambiente é bastante complexa, visto o número de variáveis envolvidas, abrangendo diversas áreas do conhecimento. Neste sentido, o ideal seria que zoneamentos desta natureza pudessem ser realizados por equipes multidisciplinares, talvez considerando-se mais efetivamente os aspectos biológicos e sócio-econômicos.

Entretanto, através do estudo realizado, percebe-se a gama de possibilidades de avaliações que podem ser realizadas, ainda que em nível regional, quando parte-se da consideração de atributos do meio físico, através da individualização de unidades homogêneas, e como estas podem ser associadas a outras informações ambientais. Os significados destas características, podem auxiliar direta ou indiretamente o planejamento de uma região.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R.L. (1994). Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental. (Revisão Bibliográfica). DGS/ EESC/ USP.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1964). Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*. São Paulo, v.41, p.169-263.
- ALONSO HERRERO, E. & CENDRERO, A. (1988). Valoracion territorial de unidades valle para diferentes actividades, a partir de parámetros abióticos y biótico, en la Montaña de Riaño (Leon). CONGRESSO DE BIOLOGIA AMBIENTAL/CONGRESSO MUNDIAL VASCO, II. Actas. (I): 235-253.
- ALONSO HERRERO, E.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A. (1990). Environmental- geological mapping and evaluation in Cantabrian Mountains, Spain. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 6., Amsterdan, 1990. *Anais*. Amsterdan, BALKEMA/ROTTERDAM, v.1, p.31-35.
- ALONSO HERRERO, E.; BLANCO, J.R.; PRADO, J.L. de & CENDRERO, A. (1993). Valoracion del medio natural por “unidades valle” en Puebla de Lillo (Leon) para actividades genericas y especificas. *Pirineus*. 142-142. p.19-34.
- ANCONA, A.L. (1993). O plano diretor e a questão ambiental- SEMPLA. In: São Paulo. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente. *A questão ambiental urbana: cidade de São Paulo*. São Paulo. p.411-425.
- ASSAD, M.L.L. (1993). Sistema de informações geográficas na avaliação da aptidão agrícola de terras. In: ASSAD, E.D. & SANO, E.E. *Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Brasília, EMBRAPA/CPAC. Cap.8, p.173-199.
- ASSUNÇÃO, G.V. de; FORMAGGIO, A.R. & ALVES, D.S. (1990). Mapa de aptidão agrícola das terras e uso adequado das terras: uma abordagem usando SGI e imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., Manaus, 1990. *Anais*. Manaus, v.2, p.162-166.
- BERGER, A.R. & JAMS, W.J. (1996). *Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, A.A. Balkema.
- CÂMARA, G. (1993). Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E.D. & SANO, E.E. *Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Brasília, EMBRAPA/CPAC. Cap.1, p.15-37.

- CÂMARA, G. & SIMÕES, J.S. (1996). Geoprocessamento para projetos ambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO. São José dos Campos, INPE.
- CARRARA, A.; CARDINALI, M.; GUZZETTI, F. & REICHENBACH, P. (1995). Gis-based techniques for mapping landslide hazards. In: CARRARA, A. & GUZZETTI, F. Geographical information systems in assessing natural hazards. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. 1995. p.135-176.
- CENDRERO, A. (1975). Environment geology of the Santander by area, northern Spain. *Environmtal Geology*, v. 1, p.97-114.
- CENDRERO, A. (1988): *Planificación ambiental y ordenación de usos del territorio*. Int. Tecn. Geominero de España, Madrid. (Série Engenharia Geoambiental). p.25-33.
- CENDRERO, A. (1990): Desarrollo y Tendencias de La Geologia Ambiental En Europa. In: SEMINARIO ANDINO DE GEOLOGIA AMBIENTAL, 1./ CONFERENCIA COLOMBIANA DE GEOLOGIA AMBIENTAL, 1., Medellín, Memoria.AGID REPORT nº 13. p.65-88.
- CENDRERO, A.(1990): Desarrollo y Tendencias de La Geologia Ambiental En Europa. In: SEMINARIO ANDINO DE GEOLOGIA AMBIENTAL, 1./ CONFERÊNCIA COLOMBIANA DE GEOLOGIA AMBIENTAL, 1., Medellín, *Memoria*.AGID REPORT nº 13. p.65-88.
- CERRI, L. E. S. (1990): Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: CBGE/ IX COBREAE, 6, Salvador, p. 309 - 318.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1974). *Geomorfologia*. São Paulo, Edgard Blücher Ltda.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS - PCJ (1996). *Relatório de situação dos recursos hídricos - 1995*. São Paulo, DAEE.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1993). *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo*. São Paulo, CETESB (Série Documentos).
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1996). *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo*. São Paulo, CETESB.
- CROSTA, A. P. (1992). *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas. UNICAMP/IG.

- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1981). Estudo de águas subterrâneas - Região administrativa 5 - Campinas, 2v. 607p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - DAEE/IPT (1990). *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas*. 2ed. São Paulo.
- ESPINOSA, H.R.M. (1993). Desenvolvimento e meio ambiente sob nova ótica. *Ambiente-Revista CETESB de tecnologia*, v.7, n.1, p.40-44.
- EASTMAN, J. R.. (1997). Idrisi User's Guide, version for Windows. Worcester, Mass: Clark University, Graduate School of Geography.
- FABBRI, A.G. & CENDRERO, A. (1995). Changes and the environment. *ITC Journal*. n.4.
- FERREIRA, M.C. (1996). Modelagem Cartográfica Aplicada a Mapeamentos de Suscetibilidade a Danos Ambientais: Um Ensaio no SIG Idrisi. *Revista Geociências*, v.15, n.2, p.485-502. São Paulo.
- FERREIRA, M.C. (1997). Notas de aula referente ao curso. IGCE/ UNESP- campus Rio Claro.
- FORNASARI FILHO, N. et al. (1992). *Alterações no meio físico decorrente de obras de engenharia*. São Paulo: IPT. 162p. (IPT. Publicação 1972; Boletim 61).
- FRANCÉS, E.; DIAS de TERÁN, J.R. & CENDRERO, A. (1990). La aplicación de la cartografía geoambiental al diagnóstico de unidades territoriales: establecimiento de directrices de ordenación. In: ROMARIZ, C. *Livro de homenagem a Carlos Romariz*. Lisboa. p.377-402.
- HONORATO, S. & MACKENNA, J. (1975). Influencia de la granulometria de un medio poroso en su permeabilidad. In: CONGRESO PANAMERICANO DE MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES, V., Buenos Aires-Argentina, 1975. v.3, p.135-148.
- IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (1989). *Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo*. Folha Piracicaba - SF-23-Y-A-IV. (Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:100.000.
- IF - INSTITUTO FLORESTAL (1993). Inventário florestal do Estado de São Paulo. 199p.

- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981a). *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. IPT (Série Monografias, 6). 2v. Escala 1:500 000.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981b). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. IPT (Série Monografias, 5). 2v. Escala 1:500 000.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1997). *Planejamento de áreas irrigadas e transferência da tecnologia do sistema de controle da irrigação por pivô central, através do uso de tensiômetros de faixas, para os agricultores do município de Casa Branca*. (RELATÓRIO n. 35.432).
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1993). *Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas (SP)*. São Paulo. 2v.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AEROSPACE SURVEY AND EARTH SCIENCES - ITC (1996). Tools for assessing rapid environmental changes – The 1995 geoindicator checklist. Netherlands, Pub. n° 46.
- JIMENEZ, A. (1995). Geographical Information Systems (Part. 2). <http://www.scas.cit.cornell.edu/landval/le> (jan.1997).
- LOLLO, J.A. (1995). *O Uso da Técnica de Avaliação de Terreno no Processo de Elaboração do Mapeamento Geotécnico: Sistematização e Aplicação na Quadricula de Campinas*. São Carlos. 2v. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MÁGLIO, I. C. (1991). A política ambiental e o desenvolvimento. *Ambiente-Revista CETESB de tecnologia*. v. 5, n. 1, p.41-46.
- MCDONALD, G.T. & BROWN, L. (1995). Going beyond environmental impact assessment: environmental input to planning and design. *Environmental Impact Assessment*, 15, p. 483-495.
- MENEZES, P. R.; ASSAD, E. D. & SANO, E.E. (1995). *Introdução ao processamento de imagens digitais de satélite e sensoriamento remoto*. Brasília, Universidade de Brasília. (Coleção textos universitários).
- MULDER, E.F.J. de (1994). Geoscience for planning and management: An international perspective. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 7., Amsterdam, 1994. *Anais*. Amsterdam, BALKEMA/ROTTERDAM, v., p.2337-2341.
- NAVA, D.B.; SILVA Jr., G.C. da & FERREIRA, A.M.M. (1991). Levantamento Geotécnico-Ambiental da Vertente Sul dos Morros do Corcovado e Sumaré, Serra da Carioca, Município do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DA

- GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. *Atas*. São Paulo, SBG/SP-RJ. p.263-270.
- NOVO, E. M. L. M. (1989). *Sensoriamento remoto - princípios e aplicação*. São Paulo, Edgard Blüchu.
- NÚCLEO DE MEIO AMBIENTE DA EMBRAPA - NMA (1997). A detecção e o mapeamento de áreas cultivadas com cana-de-açúcar. <http://www.nma.embrapa.br/projetos/cana/cultiv.html>.
- OHARA, T. (1994). *Zoneamento geoambiental da eigão do Alto-Médio Paraíba do Sul (SP) com sensoreamento remoto*. Rio Claro. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- OLIVEIRA, A. M. dos S. (1991). Geologia Ambiental: “o que importa são os problemas ambientais e os métodos que a geociências dispõe para resolvê-lo”. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. *Atas*. São Paulo, SBG / SP-RJ. p.537-543.
- OLIVEIRA, A. M. dos S.; BITAR, O. Y. & FORNAZARI F^o, N. (1995). *Geologia de engenharia e meio ambiente*. Curso de geologia aplicada ao meio ambiente, coord. O.Y. Bitar. São Paulo, ABGE/ IPT (Série Meio Ambiente). p.7 - 15.
- ORTOLANO, L. (1984). Assessing impacts on water resources. In: JOHN WILEY & SONS, ed. *Environmental planning and decision making*. New York. Cap.16, p.387-421.
- PEJON, O. J. (1992). *Mapeamento Geotécnico Regional da folha de Piracicaba-SP (escala 1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos*. São Carlos. v, 224p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos (1995). Bacias Hidrográficas : integração entre meio ambiente e desenvolvimento. *Ciência Hoje*. v.19, n. 110, p.40-45.
- PIRES NETO, A.G. (1991). *As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica. Uma proposição metodológica para a geomorfologia*. São Paulo, 302p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- PRADO, H. do (1991). *Manejo dos solos: Descrições pedológicas e suas implicações*. Nobel.
- PRANDINI, F. L.; GUIDICINI, G. & GREHS, S.A. (1974). Geologia ambiental ou de planejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. *Anais*. Porto Alegre, CBG. p.273-289.

- PROCHNOW, M.C.R. (1990). *Análise ambiental da sub-bacia do Rio Piracicaba: subsídios ao seu planejamento e manejo*. Rio Claro. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- PROJETO PIRACENA - CENA (1996). CENA decifra a estrutura da Bacia do Rio Piracicaba. <http://www.cena.usp.br/piracena>.
- QUINTANILHA, J. A. (1990). Processamento de imagens digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1., São Paulo, 1990. *Anais*. São Paulo. USP. p.37-52.
- RECATALÁ, L. & SÁNCHEZ, J. (1996). Metodología de Evaluacion de la Calidad Ambiental Del Paisaje para Planificacion de los Usos del Territorio y Evaluacion de Impacto Ambiental en ambito Mediterraneo. In: CONGRESO NACIONAL Y CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 6, Granada, 1996. *Anais*. Granada. v. 1 , p.137-151.
- RIVAS, V.; FRANCÉS, E. & CENDRERO, A. (1992). Uso de mapas geoambientales para el diseño de planes de recuperacion de areas degradadas. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE RIESGO GEOLOGICO-URBANO, 2./ CONFERENCIA COLOMBIANA DE GEOLOGIA AMBIENTAL, 2., Pereira. *Memorias*. Colombia. Sociedad Colombiana de Geologia, V.1 , p.343-355.
- RIVAS, V.; GONZALEZ, A.; FISCHER, D.W. & CENDRERO, A. (1994). An Approach to Environmental Assessment within the Land-use Planning Process: Northern Spanish Experiences. *Journal of Environmental Planning and Management*. v.37, n. 3, p.305-322.
- RODRIGUES, J. M.M. (1996). Notas de aula referente ao curso “ Geoecologia das Paisagens”. IGCE/ UNESP- campus Rio Claro.
- ROMARIZ, C. (1988). Discurso proferido na sessão de abertura do simpósio. *Revista de Geologia Aplicada e do Ambiente*. GEOLIS. v. 2, f. 1, p.6 - 9. /Apresentado ao V Simpósio de Geologia Aplicada e do Meio Ambiente.
- ROSENBAUM, M.S. & NOWBUTH, M.D. (1997). Aquifer vulnerability assessment through the use of GIS technology. In: *Proceedings INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT*. Greece, 1997. Rotterdam. p.1475-1477.
- SALATI, E. (1996). *Diagnóstico ambiental sintético e qualidade da água como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia hidrográfica do rio corumbataí (SP)*. São Carlos, 199p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- SALOMÃO, F.X. de t. (1994). *Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural*. São Paulo. 200p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SALOMÃO, F.X. de T. & IWASA, O.Y. (1995). Erosão e ocupação rural e urbana. In: ABGE/IPT. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo. p.31-57.
- SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (1994). *Estabelecimento de metas ambientais e reenquadramento dos corpos d'água: Bacia do Rio Piracicaba*. São Paulo. A Secretaria. (Série Relatórios, ISSN 0103-4103).
- SEPE, P. M. (1990). *Comportamento do Aquífero Itararé no Município de Piracicaba e Áreas Vizinhas*. Rio Claro. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- SHIMABUKURO, M.T. (1996). *Avaliação de classificadores espectrais de imagens Landsat-TM em áreas rurais densamente ocupadas - o caso da região de Brotas e Torrinha, São Paulo, Brasil*. Campinas. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.
- SOBREIRA, F. G. (1995). *Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra*. Lisboa. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- SOBREIRA, F. G. (1995): *Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra*. Lisboa. 347p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- TABANEZ, A.A.J.; VIANA, V.M. & DIAS, A. da S. (1997). Consequências da fragmentação e do efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um fragmento de floresta de planalto de Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, v.57, n.1, p.:47-60.
- TEIXEIRA, A. et al. (1991). Sistemas de informação geográfica: revisão e comentários. *BOLETIM DE GEOGRAFIA TEORÉTICA*, 21 (41): 135-147.
- TOMMASI, L.R. (1994). *Estudo de impacto ambiental*. São Paulo, CETESB/ TERRAGRAPH Artes e Informática S/C Ltda.
- VIANA, V.M.; TABANEZ, A.J.A. & MARTINEZ, J.L.A. (1992). Restauração e manejo de fragmentos florestais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., *Anais*. p.400-406.

- VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J. & DIAS, A. da S. (1994). Sustentabilidade de um fragmento florestal de Piracicaba, SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, XLV., São Leopoldo, 1994. *Resumos*. São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Sociedade Botânica do Brasil. p.172.
- VILLOTA, I. de ; GOY, J. L. ; ZAZO, C.; PARRERA, I. & PEDRAZA, J. (1996). Analisis de Paisaje por Evaluacion de Cuencas Visuales y Unidades Ambientales : La Vall de Gallinera. Alicante. España. In: CONGRESSO NACIONAL Y CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 6, Granada, 1996..*Anais*. Granada. v.1, p.115-135.
- ZUQUETTE, L. V. (1993). *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração*. São Carlos. 2v. Tese (Livre docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V. et al. (1993). Carta do potencial de risco à contaminação das águas subterrâneas e do potencial agrícola, região de Ribeirão Preto, SP, Brasil. *Revista Geociências*. São Paulo, v.12, n.2, p.531-540.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOLFI, N. & RODRIGUES, J.E. (1997). Mapeamento Geotécnico: Parte I - Atributos e Procedimentos Básicos para Elaboração de Mapas e Cartas. *Revista Geociências*. /no prelo/

ANEXO I

Mapa de Landforms

Mapa de Landforms

- LEGENDA**
- SISTEMA 1**
Unidades: 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5
 - SISTEMA 2**
Unidades: 2/1, 2/2, 2/3, 2/4
 - SISTEMA 3**
Unidades: 3/1, 3/2, 3/3
 - SISTEMA 4**
Unidades: 4/1, 4/2, 4/3
 - SISTEMA 5**
Unidades: 5/1, 5/2, 5/3, 5/4, 5/5
5/6, 5/7, 5/8, 5/9, 5/10
 - SISTEMA 6**
Unidade: 6/0
 - SISTEMA 7**
Unidades: 7/1, 7/2
 - SISTEMA 8**
Unidade: 8/0
 - SISTEMA 9**
Unidades: 9/1, 9/2, 9/3
 - SISTEMA 10**
Unidades: 10/1, 10/2
 - SISTEMA 11**
Unidades: 11/1, 11/2
 - SISTEMA 12**
Unidades: 12/1, 12/2
 - Sistema 13**
Unidades: 13/1, 13/2, 13/3, 13/4
 - SISTEMA 14**
Unidade: 14/0

Meters

5000.00

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

ANEXO II

Mapa de Uso e Ocupação

Class.	TECE
Cutt.	2603
	Anexo II
Tombo	T106/98
Sysno	964753

MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

- Cana-de-açúcar
- Pastagens e várzeas
- Veg. secund/reflorest.
- Área urbana
- Á.em expansão urb.
- Solo exposto
- Pólo agroindustrial
- Espelho d'água
- Não classif.

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

0 Kilometers 5

ANEXO III

Carta de Susceptibilidade à Erosão

Class.	TESE
Cutt.	2603
	Anexo III
Tombo	T106/98
Sysno	964753

Carta de susceptibilidade à erosão por escoamento concentrado

- **Área Urbana**
- **Não suscep.**
- **Baixa**
- **Moderada**
- **Alta**

Meters

5000.00

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

ANEXO IV

Carta do Potencial Agrícola

Class.	TESE
Curr.	2603
	Anexo IV
Tombo	T106/98
Sysno	964753

Carta do Potencial Agrícola

- Área Urbana
- FAVORÁVEL
- MODERADO
- SEVERO
- RESTRITIVO

Meters
5000.00

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

ANEXO V

Carta de Vulnerabilidade do Aquífero

Class.	TESE
Cutt.	2603
	Anexo V
Tombo	T406/98
Sysno	964753

Carta de Vulnerabilidade do Aquífero

Meters

5000.00

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

ANEXO VI

Carta de Zoneamento Geoambiental

Carta de Zoneamento Geoambiental

LEGENDA

- UNIDADE GEOAMBIENTAL 1
- Sub-Unidades: 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 2
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 3
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 4
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 5
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 6
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 7
- Sub-Unidades: 7/1, 7/2, 7/3, 7/4
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 8
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 9
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 10
- Sub-Unidades: 10/1, 10/2
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 11
- Sub-Unidades: 11/1, 11/2
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 12
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 13
- Sub-Unidades: 13/1, 13/2
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 14
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 15
- UNIDADE GEOAMBIENTAL 16

Norte

Meters

5000.00

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANEXO VI - LEGENDA DA CARTA DE ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL - PARTE I					
UNIDADES GEOAMBIENTAIS	CARACTERÍSTICAS GERAIS	SUB-UNIDADES	APTIDÕES	RESTRIÇÕES	CONFLITOS E /OU RECOMENDAÇÕES
Unidade 1 (U 1)	Esta unidade abrange cerca de 40 % da área, sendo constituída por Latossolos (roxos e vermelho-escuros), argilosos/ muito argilosos, relativamente espessos, predominando declividades menores que 8 %. Apresenta vales com características particulares, os quais foram incluídos como sub-unidades. Encontra-se predominantemente ocupada pela cana-de-açúcar.	U 1/1 - caracteriza-se pelas declividades baixas, menores que 5%, e predomínio de Latossolos Vermelho- Escuros, moderados quanto ao potencial agrícola	Apresenta potencial agrícola e vulnerabilidade à contaminação do aquífero MODERADOS . É em geral FAVORÁVEL quanto a susceptibilidade à erosão e APROPRIADA à disposição de rejeitos sépticos.	Não apresenta restrições significativas	
		U1/2 - reúne as melhores características quanto ao potencial agrícola (Latosolos Roxos), entretanto ocorrem declividades > 8% na transição para a unidade 2, contida nesta sub-unidade.	FAVORÁVEL quanto ao potencial agrícola e MODERADO/ FAVORÁVEL quanto a susceptibilidade à erosão. e a vulnerabilidade do aquífero. Em geral é APROPRIADA à disposição de rejeitos sépticos.		Recomenda-se práticas conservacionistas de uso do solos, com manejo adequado, principalmente em declividades maiores.
		U 1/3 - Vales com planícies aluvionares relativamente desenvolvidas, solos hidromórficos. Apenas localmente ocorrem vegetação de várzea e matas associadas. Abrange parte da área de expansão urbana de Piracicaba, além de Itacemápolis, e as instalações da usina Itacema.		Apresentam ALTA vulnerabilidade à contaminação de águas sub-superficiais (N.A. próximo da superfície). São áreas sujeitas a inundação, inadequadas à disposição de rejeitos	Recomenda-se preservação destas áreas e recomposição da vegetação para proteção dos corpos d'água
		U 1/4 - Vale encaixado, constituídos por litólicos, com vertentes apresentando declividades de 5-15 % , até > que 30% localmente. Ocorre pastagem, mais porções com cana-de-açúcar.		Restrições quanto ao potencial agrícola e às altas declividades, além de INADEQUADAS quanto à disposição de rejeitos (atributo-declividade)	
		U 1/5 - Unidade que contempla a Represa de Paramirim, e solos podzólicos argilosos. Totalmente desprovida de mata ciliar, além de indícios de assoreamento na represa	MODERADO potencial agrícola e susceptibilidade à erosão	Área de represa, N. A. próximo, além de restrições legais quanto à ocupação das margens	Manejo agrícola adequado visando evitar erosão. Recomposição de mata próximo à represa
Unidade 2 (U 2)	Trata-se de colinas médias, apresentado entretando diferenciação pedológica e de declividade entre topos e encostas, e consequentemente diferentes aptidões/restrições entre estas posições no relevo. Predomina cana-de-açúcar, subordinadamente pastagens, além de poucos e pequenos fragmentos florestais.		Porção representada em geral por condições MODERADAS a FAVORÁVEIS quanto a: potencial agrícola, vulnerabilidade aquífero, susceptibilidade à erosão. Os topos apresentam-se ADEQUADOS para disposição de rejeitos	Apresentam-se INADEQUADAS nas encostas quanto a disposição de rejeitos	Manejo agrícola adequado visando evitar erosão
Unidade 3 (U 3)	Porção bastante característica, representada por topos aplainados restritos e "escarpas", com declividades maiores que 20 %. Concentra (juntamente com a unidade U 5) boa parte da cobertura vegetal, representada por matas e reflorestamentos, além de pastagens.			Apresentam como principais restrições as altas declividades, reduzidas espessuras de solos (litólicos), resultando num BAIXO potencial agrícola, além de INADEQUADAS para disposição de rejeitos	Esta unidade, devido ao seu caráter predominantemente restritivo, e à cobertura vegetal presente, deve ser descartada como área de ocupação.
Unidade 4 (U 4)	Representa a porção inferior da unidade U3, relevo movimentado, relativamente dissecado, sendo ocupado por pastagens, reflorestamentos, matas e cana de açúcar.			Soma uma série de condições SEVERAS quanto a: vulnerabilidade do aquífero, susceptibilidade à erosão, além de, potencial agrícola SEVERO/ RESTRITIVO e declividades maiores que 30%, constituindo-se área inadequada à disposição de rejeitos.	Semelhante à unidade 3, deveria ser evitada a ocupação desta porção da área.
Unidade 5 (U 5)	Unidade apresentando relevo ondulado, de colinas pequenas, constituída de podzólicos vermelho-amarelos, abrupcos, arenosos. Encontra-se predominantemente ocupada pela cana-de-açúcar.			Representam áreas com ALTA susceptibilidade à erosão e vulnerabilidade do aquífero, além de apresentarem um potencial agrícola SEVERO. Também INADEQUADAS à disposição de rejeitos.	Podem apresentar conflitos quando do uso de agrotóxicos (contaminação águas sub-superficiais), ou mesmo problemas relacionados a erosão dos solos, se não tomadas as devidas precauções.

ANEXO VI - LEGENDA DA CARTA DE ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL - Parte II

UNIDADES GEOAMBIENTAIS	CARACTERÍSTICAS GERAIS	SUB-UNIDADES	APTIDÕES	RESTRICÕES	CONFLITOS E /OU RECOMENDAÇÕES
Unidade 6 (U 6)	Porção representada por formas onduladas, com baixa/moderada densidade hidrográfica. Compreendem várias pequenas sub-bacias hidrográficas que drenam para o rio Corumbataí. Apresenta como uso dominante a cana-de-açúcar.			Apresentam condições SEVERAS quando ao potencial agrícola e susceptibilidade à erosão. Geralmente INADEQUADA à disposição de rejeitos, devido à textura, espessura dos materiais inconsolidados, além da declividade em algumas porções.	Buscar manejo agrícola adequado visando evitar erosão, e atividades potencialmente poluidoras dos recursos hídricos.
Unidade 7 (U 7)	Porção dissecada, constituída por solos podzólicos vermelho-amarelos (arenosos/ médios) e litólicos. Corresponde à porção sudeste da área, contemplando a Vila de Tupi, além do Horto Florestal de Tupi (pinus + eucalípito). A ocupação predominante é a cana de açúcar, apresentando ainda alguns pequenos fragmentos florestais, além de pastagens.	U 7/1: porção de relevo mais suave, próximo ao rio Piracicaba		Vulnerabilidade do aquífero ALTA/ MUITO ALTA. Em geral INADEQUADAS à disposição de rejeitos.	Em geral Deve-se evitar ocupações potencialmente poluidoras, além de práticas que acentuem a ALTA susceptibilidade à erosão desta porção da área. Apesar de apresentarem um potencial agrícola severo/restritivo, encontra-se predominantemente ocupado pela monocultura de cana-de-açúcar
		U 7/2: relevo colinoso dissecado, constituído predominantemente por podzólicos vermelho-amarelos, declividades menores que em 7/3	Condições MODERADAS quanto a: potencial agrícola e susceptibilidade à erosão	INADEQUADA à disposição de Rejeitos, além de uma vulnerabilidade aquífero ALTA / MUITO ALTA	
		U 7/3: Trata-se de um relevo bastante dissecado, com topo aplainado expressivo, diferenciando-se pela associação podzólicos/litólicos		Condições predominantemente SEVERAS quanto a susceptibilidade à erosão, potencial agrícola, e vulnerabilidade do aquífero, além de serem impróprias à disposição de rejeitos. Com exceção do topo aplainado, onde as condições de vulnerabilidade do aquífero são mais favoráveis	
		U 7/4 : encosta constituídas por solos litólicos (podzólicos localmente).		RESTRITIVO quanto ao potencial agrícola, impedimentos quanto a mecanização, além de declividades superiores a 15 %.	
Unidade 8 (U 8)	Consiste numa região com relevo suave, solos relativamente pouco profundos, constituída por materiais predominantemente arenosos. Compreende a porção sudoeste da área, ocupada predominantemente pela cana-de-açúcar.			Reunem situações desfavoráveis SEVERAS quanto ao potencial agrícola, susceptibilidade à erosão e vulnerabilidade do aquífero, além de serem INADEQUADAS à disposição de rejeitos	Apesar de condições desfavoráveis à agricultura, vem sendo ocupada pela cana de açúcar.
Unidade 9 (U 9)	Formas com declividades médias de 5-15%, localmente > 30% Ocupada predominantemente por cana de açúcar, além de abranger parte da área de expansão de Piracicaba. Na porção sul desta unidade, tem-se o aproveitamento de recursos minerais (basalto) .		Condições MODERADAS quanto a susceptibilidade à erosão, e vulnerabilidade do aquífero MODERADA/ FAVORÁVEL.	Potencial agrícola SEVERO.	
Unidade 10 (U 10)		U 10/1- representa a unidade como um todo.	São áreas com uma BAIXA vulnerabilidade das águas sub-superficiais, e POUCO susceptíveis à erosão.	Pequenas espessuras de solos: impedimento à mecanização, BAIXO potencial agrícola, dificuldade de escavação, etc. Em geral, INADEQUADA à disposição de rejeitos.	São áreas com restrições ao seu aproveitamento agrícola, encontrando-se entretanto ocupadas pela cana-de-açúcar.
	Porção da área compreendendo predominantemente solos litólicos. A ocupação predominante é a cana de açúcar, apenas com alguns pequenos fragmentos isolados.	U 10/2: pequena área com alta densidade hidrográfica, solos podzólicos associados aos litólicos, resultando em comportamento diferenciado para esta sub-unidade.		Apresenta MODERADA/ ALTA susceptibilidade à erosão	

ANEXO VI - LEGENDA DA CARTA DE ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL - PARTE III

UNIDADES GEOAMBIENTAIS	CARACTERÍSTICAS GERAIS	SUB-UNIDADES	APTIDÕES	RESTRIÇÕES	CONFLITOS E /OU RECOMENDAÇÕES
Unidade 11 (U 11)		U 11/1 Relevo bastante suave	FAVORÁVEIS predominantemente quanto potencial agrícola, além de condições MODERADAS quanto à vulnerabilidade do aquífero e BAIXA susceptibilidade à erosão. Compreende áreas predominantemente ADEQUADAS à disposição de rejeitos sépticos.		
	Relevo bastante suave, vales abertos, predominantemente ocupada pela cana de açúcar. Em 11/2, tem-se uma % de pastagem um pouco maior.	U 11/2 - As declividades são um pouco maiores que em 11/1, compreendendo predominantemente solos podzólicos. Marcado predominantemente pelo cultivo da cana-de-açúcar, além das instalações da Usina Costa Pinto praticamente nas margens do rio Corumbataí.		Apresenta potencial agrícola MODERADO/RESTRITIVO (localmente). Condições SEVERAS quanto a susceptibilidade à erosão * SEMI-ADEQUADAS para disposição de rejeito.	Manejo agrícola adequado visando evitar erosão.
Unidade 12 (U12)	Porção suavizada, às margens do rio Piracicaba, declividades menores que 5 %. Uso dominante, cana-de-açúcar.		MODERADO quanto ao potencial agrícola	ALTA susceptibilidade à erosão. Vulnerabilidade do aquífero localmente muito alta.	Recomposição de mata ciliar
Unidade 13 (U 13)	Porção mais alta da área, declividades predominantes entre 5-15%	U 13/1 - esta sub-unidade apresenta situações moderadas a severas quanto aos parâmetros: potencial agrícola, vulnerabilidade aquífero e susceptibilidade, além de declividades de até 30 %.	Condições MODERADAS A FAVORÁVEIS quanto ao potencial agrícola, vulnerabilidade aquífero e susceptibilidade à erosão, sendo em parte APROPRIADA à disposição de rejeitos		
		U 13/2- porção pequena dentro desta unidade, trata-se de vales mais dissecados		Potencial agrícola MODERADO a SEVERO	
Unidade 14 (U 14)	Relevo de colinas médias, com baixa densidade hidrográfica. Ocupado predominantemente pela cana-de-açúcar		Potencial Agrícola ALTO e BAIXA vulnerabilidade do aquífero. Susceptibilidade à erosão MODERADA predominantemente.		Manejo agrícola adequado visando evitar erosão.
Unidade 15 (U 15)	Área com relevo alterado por intensa atividade mineral - exploração de calcário (principalmente) e argila				Realização de estudos para recuperação das áreas degradadas
Unidade 16 (U 16)	Áreas de várzeas do rio Corumbataí, relativamente extensas, apresentando uma série de meandros abandonados. Constituídas por solos aluviais associados a cambissolos. Encontram-se praticamente desprovida de vegetação ciliar.			Áreas sujeitas a inundação, apresentando alta vulnerabilidade das águas superficiais e sub-superficiais. INADEQUADAS à disposição de rejeitos.	Ocorrem portos de areia às margens deste rio, sendo que tal prática é geralmente realizada sem planejamento ou mesmo preocupações ambientais. Sugere-se recomposição da vegetação.

APÊNDICE I

SIMBOLOGIA SOBRE DADOS PEDOLÓGICOS (Fonte: IAC, 1989)

Tipos Pedológicos (Grupos)	Simbologia
Latossolos Roxos	LR (LR1, LR2, LR3)
Latossolos Vermelho-Escuros	LE (LE2 + LE3)
Latossolos Vermelho- Amarelos	LV (LV2, LV5, LV7)
Podzólicos Vermelho-Escuros	PE
Podzólicos Vermelho - Amarelos	PV (PV1, PV2, PV3PV11)
Terra Roxa Estruturada	TE
Brunizens Avermelhados	BV
Cambissolos	C - 1
Litólicos	Li - 2 (Substrato Grupo Tubarão) Li -3 / Li4 (Substrato Grupo Passa Dois) Li -5 (Sustrato Fms. Botucatu e Pirambóia) Li -6 (Substrato Diabásio/ Basalto)

AP 1

SISTEMA 1	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
1/1	susceptibilidade erosão (baixa) *Apropriada à deposição de rejeitos	- potencial agrícola - vulnerabilidade aquífero		
1/2	- potencial agrícola * pred. Apropriada à deposição de rejeitos	- vulnerabilidade aquífero - susceptibilidade erosão		
1/3	não susc. à erosão			- potencial agrícola - vulnerabilidade aquífero * Inadequado D.R.S (nível d'água)
1/4	susceptibilidade erosão (baixa)	- vulnerabilidade aquífero		- potencial agrícola *Inadequado DRS (1,2,3)
1/5		- potencial agrícola (moderado a severo – declividades maiores)		Inadequado DRS (1)
		- susceptibilidade erosão	-vulnerabilidade aquífero (alta)	

SISTEMA 2	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
2/2 topos	-susceptibilidade erosão * Adequado D.R. -vulnerab. aquífero (baixa)	-potencial agrícola		
2/3 encostas	- vulnerabilidade aquífero (baixa)	-susceptibilidade erosão	- potencial agrícola	*Inadequado DRS (1)
2/4	-potencial agrícola -vulnerabilidade aquífero -suscep. erosão			* Inadequado DRS (1)

SISTEMA 3	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
3.1	- vulnerabilidade aquífero			
	susceptibilidade erosão (não suscep.)			- potencial agrícola -Decliv. > 30% *Inadequado DRS (1,2,3) - Impedimento mecanização
3.2			- potencial agrícola - susceptibilidade erosão (A/MA)	
			- vulnerabilidade aquífero	Decliv. > 30% presentes *Inadequado DRS (1,2,3)
3.3			- potencial agrícola - susceptibilidade erosão	*Inadequado DRS (1,2,3)
			- vulnerabilidade aquífero	

SISTEMA 4	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
4.1			-potencial agrícola -vulnerabilidade aquífero -suscep. erosão	Inadequado DRS (1,2,3)
4.2		-potencial agrícola		* Inadequado DRS (1,2,3)
			-vulnerabilidade aquífero	
			-suscep. erosão	
4.3		- potencial agrícola -suscep. erosão		* Inadequado DRS (2,3)
			-vulnerabilidade aquífero	

STEMA 5	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
5/1		- suscep. erosão	-potencial agrícola	* Inadequada DRS (1,2)
			-vulnerabilidade aquífero	
5/2		-suscep. erosão -potencial agrícola		* Inadequada DRS (2,3)
			-vulnerabilidade aquífero	
5/3			- suscep. erosão	-potencial agrícola * Inadequada DRS (2,3)
			-vulnerabilidade aquífero	
5/4			-potencial agrícola -suscep. erosão	* Inadequada DRS (2,3)+(1,2,3)
			-vulnerabilidade aquífero	
5/5			-potencial agrícola	* Inadequado DRS (1) + (2,3)
		-suscep. erosão		
			-vulnerabilidade aquífero	
		-suscep. erosão		
5/6			-vulnerabilidade aquífero	* Inadequada DRS (1,2,3)
			-potencial agrícola	
5/7 (elemento)	-baixa vulnerabilidade aquífero	-suscep.erosão (topo)		
5/8		-suscep.erosão	-potencial agrícola	* Inadequada DRS (1,2,3)
			-vulnerabilidade aquífero	
5/9			-suscep. erosão	* Inadequada DRS (1,2,3)
		-potencial agrícola		
			-vulnerabilidade aquífero	
5/10	-predom. não susceptível			-potencial agrícola
	-vulnerabilidade aquífero			* Inadequada DRS (1,2,3)

SISTEMA 6	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
	-vulnerabilidade aquífero		-potencial agrícola →	*Inadequado DRS (1,2,3)+(2,3) + (1,2,3,4)
		-susceptibilidade erosão		

SISTEMA7	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
7/1		-suscep. erosão	-potencial agrícola	*Inadequado (1,2,3)
	-vulnerabilidade aquífero			
7/2	-vulnerabilidade aquífero		-potencial agrícola	*Inadequado DRS (1,2,3) + (1)
		-suscep.erosão		

SISTEMA 8	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
			-potencial agrícola	Inadequado DRS (2,3,4)+(1,2,3,4)
			-vulnerabilidade aquífero	
	-vulnerabilidade aquífero (também ocorre, porém menos expressivo)		-suscep. erosão	

SISTEMA9	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
9.1	- não susceptível			* Inadequado DRS (1,2,3) - potencial agrícola
	-vulnerabilidade aquífero			
9.2		-susceptibilidade erosão		Inadequado DRS (1,2,3) - potencial agrícola
	-vulnerabilidade aquífero			
9.3	- não susceptível (predomina)		* pequenas áreas com suscep. erosão alta/muito alta	* Inadequado DRS (1,2,3) - potencial agrícola
	-vulnerabilidade aquífero			

SISTEMA 10	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
10/1	-em parte Apropriado D.R	-suscep. erosão		-em parte Inadequado DRS (1,2)
	-potencial agrícola - vulnerabilidade aquífero			
10/2		-suscep. erosão -vulnerabilidade aquífero		* declividades >s 30% - Inadequado DRS- (1,2)
		-potencial agrícola		

SISTEMA 11	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
11/1	-potencial agrícola			
	-suscep. erosão			
	Apropriado à disposição R.S			
11/2	-vulnerabilidade aquífero		-suscep. Erosão (localmente pouco suscep.)	- Inadequado DRS (2,3)
		-potencial agrícola		

SISTEMA 12	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
12/1		-potencial agrícola	-suscep. erosão	*Inadequado DRS (1,2,3)
	-vulnerabilidade aquífero			
12/2		-vulnerabilidade aquífero		*Inadequado DRS (1,2,3)
		-suscep. erosão	-potencial agrícola	

SISTEMA 13	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
13/1	vulnerabilidade aquífero	-suscep. erosão		
	-potencial agrícola			
13/2	-suscep. Erosão			
	-potencial agrícola			
	vulnerabilidade aquífero			
13/3	-suscep. Erosão			
	vulnerabilidade aquífero	-potencial agrícola		
13/4		-suscep. erosão		
		-vulnerabilidade do aquífero		
		-potencial agrícola		

SISTEMA 14	FAVORÁVEL	MODERADO	SEVERO	RESTRITIVO
vázeas				-vulnerabilidade aquífero *Inadequado DRS (4)

DEPOSIÇÃO DE REJEITOS SÉPTICOS (D.R.S.)

A apropriada

S.A – semi adequado

I – inadequada pelos seguintes atributos limitantes:

1-Declividade

2- Espessura dos materiais inconsolidados

3- Textura dos materiais inconsolidados

4- Profundidade do nível d'água

<p>SISTEMA 1</p> <p>Amplitudes: < 100 metros</p> <p>Topos: arredondados a aplainados</p> <p>Vales: três tipos predominantes : aberto de fundo plano (associados a solo gley); em 'U' com planícies aluvionares retrizes; e vale mais encaixados associados a litólicos e representado por declividades maiores</p> <p>Formas: colinas amplas e rampas, com expressão em área > 4km²</p> <p>Geologia: Formações Corumbataí, Serra Geral, Tatuí, e subordinadamente Fm. Irati .</p>						
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/ Litologia	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
1/1	formas muito suaves (rampas), separadas das colinas por apresentarem declividades inferiores a 5%	predomínio Fm. Serra Geral	declividades inferiores a 5%	Latossolos Vermelho Escuros (LE2+LE3)	baixa	88,79 Km ²
1/2	relevo suavemente ondulado, representado por colinas amplas, apresentando vertentes com perfis predominantemente convexos	predomínio da Fm. Tatuí (Irati e Serra Geral	declividades entre 5 e 15%	Predominam Latossolos Roxos (LR1/LR3), subor. LVE (LE2+LE3)	baixa	168,24 Km ²
1/3	vales com fundo plano, apresentando planícies aluvionares mais desenvolvidas	-	< 2%	solos gleizados	-	14,04 Km ²

Tabela Sistema 1 - continuação						
1/4	vale relativamente encaixado, com planície aluvionar restrita, apresentando declividades elevadas na porção inferior da encosta	Fm. Tatuí	classe predominante 5- 15 %, localmente > 30%	Litólico + Podzólico Vermelho-escuro (Li2 + Li3 + PE)	-	8,10 Km ²
1/5	vale em 'U', associado a formas relativamente menores (transição colinas médias/amplas), apresentando vertentes ravinadas.	Fm. Tatuí	Encostas (5-15%) vale/planície (< 5%)	Podzólico vermelho - amarelo (PV9)	-	3,32 Km ²

SISTEMA 2 Amplitudes: < 100 metros Formas: colinas médias (expressão em área da forma:aprox. 3 km ² ou entre 1 e 4 km ²) Encostas: convexas / localmente retilíneas Topos: arredondados (< 1km ²) Vales: relativamente encaixados, com vertentes ao longo dos canais principais apresentando suas porções inferiores cortadas por canais de 1º ordem subparalelos Tipo (s) de Solo (s): PE1, PV5 (nas encostas) e LE3 (nos topos) Geologia: predominam rochas das formações Corumbataí e Tatuí (localmente Irati) Predominam as classes de declividade, de 0-5% e 5-15%, subordinadamente 15-30% e localmente maior que 30% Densidade Hidrográfica e padrão dos canais de drenagem: frequência média / canais relat. longos de padrão subparalelo						
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/ Litologia	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área (em Km ²)
2/1	região apresentado cabeceiras de drenagem com alta densidade hidrográfica	Fm. Corumbataí	5-15 % (também locais 0-5%)	podzólicos vermelho escuros + podzólicos vermelho amarelos	alta	6,59 Km ²

Tabela Sistema 2 - Continuação						
2/2	colinas médias, com topos arredondados	Fm. Corumbataí	5-15%	podzólicos vermelho-amarelos	média	23,46 Km ²
2/3 (elemento)	alguns topos representativos, associados a mudanças pedológicas foram individualizados		0-5%	latossolos vermelho-escuros		6,10 Km ²
2/4	forma semelhante 2/2, apresentando entretanto diferenças pedológicas e geológicas	Fms. Corumbataí + Serra Geral	0-5 / 5-15%	PE (topo) PV (encostas), e localmente Li + TE	média/baixa	7,0 Km ²

<p>SISTEMA 3</p> <p>Relevo de transição entre a porção mais alta da área e de relevo mais suave, representada pelo sistema 1, e uma porção mais rebaixada e mais movimentada. Separado por ruptura de declive positiva nítida, dando origem a encostas íngremes, com declividades superiores a 20 %, que passam para um relevo mais suave, de formas pequenas a muito pequenas.</p> <p>Amplitudes: aprox. 100 metros, sendo pouco superior se considerado até rio Corumbataí</p> <p>Topos: restritos</p> <p>Vales: relativamente encaixados</p> <p>Formas: topos aplainados / ‘escarpas’ / colinas pequenas e morrotes</p> <p>Geologia: Formações Tatuí, Irati e Sub-grupo Itararé</p>						
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/ Litologias	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
3/ 1	associação de topos aplainados/ arredondados (restritos) e encostas íngremes (declividades superiores a 30%), bastante dissecadas	predomínio da Fm. Tatuí associada às ‘escarpas’ e Fm. Irati nos topos	declividades superiores a 20% nas encostas	latossolos (LV7) nos topos e Litólicos (Li2+Li3) nas encostas	predominantemente média, sendo alta para algumas sub-bacias e associado a cabeceiras de drenagem	23,7 Km ²

3/2	representam a porção inferior das escarpas marcada por um relevo ondulado mais suave, bastante dissecado	predomínio da SGr. Itararé	declividades entre 5 e 15%	Podzólicos (PV4) e Podzólicos + Litólicos PV11 +Li2	média / alta	17, 94 Km ²
3/3	formas suaves, apresentadas por colinas pequenas a muito pequenas	predomínio SGr. Itararé	declividades entre 5 e 15%	Podzólicos Vermelho-amarelos (PV4)	média	33,10 Km ²

SISTEMA 4 <p>Relevo ondulado, menos dissecado que os sistemas adjacentes</p> <p>Amplitudes: < 100 metros</p> <p>Topos: arredondados</p> <p>Formas: colinas pequenas a médias, individualizadas com base em diferenças na amplitude, declividade e frequência de canais de drenagem</p> <p>Geologia: Predomínio de rochas do Sub-grupo Itararé, além das Formações Serra Geral , Corumbataí</p>						
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/tipo de rocha(s)	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
4 / 1	colina pequena/média, apresentando maior declividade em relação a 4.3	Itararé, Serra Geral , Corumbataí	5-15%	PV4 +TE	média	2,82 Km ²
4 / 2	individualizada por apresentar vertentes mais revinadas	Basicamente SGr. Itararé	0-5%, ocorrendo também 5-15%	PV4	Média, localmente alta	5,41 Km ²
4 / 3	forma suave	Basicamente SGr. Itararé	< 5%	predom. PV9	baixa	3,93 Km ²

SISTEMA 5

Amplitudes: < 100 metros

Formas: colinas pequenas e morrotes, apresentando vertentes ravinadas com perfis retilíneos / convexo

Topos: platôs, formas alongadas com topos achatados, topos agudos

Vales: fechados

Litologias e solos associados: predomínio da SGr. Itararé (localmente as Fms. Tatuí e Irati) e solos podzólicos e podzólicos mais litólicos associados

Densidade Hidrográfica: média, localmente alta a muito alta

UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/tipo de rocha(s)	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km2
5/1	encostas ravinada, apresentando vales pouco encaixados	Itararé	5-15%	PV9	alta	5,95 Km ²
5/2	porção bastante suave		< 5%		média	2,85 Km ²
5/3	formas suaves, pequena amplitude (aprox. 20 m), colinas pequena a muito pequena	Itararé	predom. 0-5%	cambissolo + PV9	média	1,35 Km ²
5/4	colina, topo arredondado (restrito)	Itararé	predom. 0-5%	podzólico (PV1+PV4)	média	2,60 Km ²

Tabela Sistema 5 - Continuação						
5/5	forma semelhante a 5/4, apresenta entretanto com diferenças quanto a declividades e litologias	Itararé e subordin. Serra Geral	0-5% e 5-15%	podzólico (PV1+PV4)	média	4,30 Km ²
5/6	platô com vertentes bastante dissecadas	Platô - Irati Encosta - Tatuí Entornos - Itararé	5-15%, 15-30%, < 5%	Li2+PV5 (encostas) LE3 +PE (topo)	média / em parte alta/muito alta	9,10 Km ²
5/7 (elemento em 5/6)	topo aplainado				-	1,36 Km ²
5/8	forma ondulada suave, alongada	Itararé	< 5% e 5-15%	Li2+PV5	média	2,92 Km ²
5/9	relevo ondulado com topo alongado	predomina Fm. Itararé, localmente topo alongado (restrito) -Fm Tatuí	0-5%, 5-15% 15-30% (localmente)	Predom. PV9	média	4,01 Km ²
5/10	enconsta bastante dissecada	Fm. Tatuí (encosta) Irati - topo Itararé- porção mais baixa	5-15%, 15-30% subordinadamente > 30%	Predom. Li2	média	4,26 Km ²

SISTEMA 6	<p>Amplitudes: < 100 metros</p> <p>Topos: achatados/arredondados, restritos</p> <p>Vales: em “V”, simétricos e assimétricos</p> <p>Formas: colinas muito pequenas ou formas muito pequenas (< 3 Km²), com vertentes convexas (a retilíneas)</p> <p>Geologia: Formações Corumbataí e Pirambóia (topo)</p> <p>Tipo (s) de Solo (s): Podzólicos vermelho-amarelos, associados a litólico - Li3+PV9; PV7+PV8 (no topo)</p> <p>Classe (s) de declividade(s): Predom. 0-5%, também expressiva 5 - 15 %, localmente < 5 % e > 30%</p> <p>Densidade Hidrográfica: média / alta</p> <p>Área em Km²: 19,44 Km²</p>
------------------	---

SISTEMA 7 <p>Amplitudes: em torno de 100 metros</p> <p>Topos: arredondados, restritos</p> <p>Vales: assimétricos, canais curtos</p> <p>Geologia: predomínio da Fm. Corumbataí (subordinadamente Serra Geral)</p>						
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/ Litologias	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
7/1	Formas com topo restrito, amplitude em torno de 100 metros	Fm. Corumbataí	0-5%/ 5-15 15-30% localmente >30%	Associação PV10+Li3 +PV9	média	9,72 Km ²
7/2	Amplitudes menores, e topos mais arredondados	predomínio da Fm. Corumbataí, localmente Fm Serra geral	predomina 5- 15% subord. 15-30 e 0-5% local/e > 30%	Associação PV10+Li3 +PV9	média	3,09 Km ²

SISTEMA 8	<p>Amplitudes: < 100 metros</p> <p>Topos: restritos, agudos</p> <p>Vales: em 'v' (assimétricos)</p> <p>Formas: formas relativamente suaves</p> <p>Densidade hidrográfica: muito alta a alta</p> <p>Padrão dos canais de drenagem: subparalelo (canais relativamente longos)</p> <p>Perfil das vertentes: côncavos</p> <p>Classe(s) de declividade (s) predominante(s) :Predominante 0-5%, também expressiva 5-15%, e subordinadamente > 15%</p> <p>Geologia: Basicamente formação Pirambóia (com Fm. Corumbataí aflorando nos vales)</p> <p>Tipo (s) de Solo (s): predominam podzólicos vermelho-amarelos (PV7+PV8/ LI3+PV9)</p> <p>Área - 12,25 Km²</p>
------------------	---

SISTEMA 9 <p>Porção bastante dissecada</p> <p>Amplitudes: < 100 metros</p> <p>Topos: restritos, agudos / alguns arredondados</p> <p>Vales: em 'v' (assimétricos)</p> <p>Formas: formas relativamente suaves</p> <p>Padrão dos canais de drenagem: subparalelo</p> <p>Classe(s) de declividade (s) predominante(s): 0-5%, 5-15%, 15-30%, localmente > 30%</p> <p>Geologia: Basicamente Fm. Corumbataí , e localmente Fm. Pirambóia</p> <p>Tipo (s) de Solo (s): predomínio de litólicos</p>						
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/tipo de rocha(s)	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
9/1	semelhante a 9/3, apresentando maior densidade drenagem	Fm. Pirambóia / Fm. Corumbataí	predom. 0-5% e 5-15 % (local/e >15%)	Li3 PV7 + Li5	muito alta	20,76 Km ²
9/2	cabeceiras de drenagem com alta densidade hidrográfica	Fm. Pirambóia	predom. 0-5% e 5-15 % (local/e >15%)	Assoc. a PV7 e Li5	alta/muito alta	4,69 Km ²
9/3	colinas pequenas / morrotes	Predomínio da Fm. Corumbataí	predom. 0-5% e 5-15 % (local/e >15%)	litólico (Li3)	alta	42,41 Km ²

SISTEMA 10	<p>Porção mais alta da área</p> <p>Amplitudes:aprox. 120 metros (máxima)</p> <p>Topos: arredondados, apresentando ruptura de declive negativa</p> <p>Vales: em “V”, simétricos e assimétricos</p> <p>Formas: colinas, com vales diferenciados (10/2)</p> <p>Geologia : Fm. Corumbataí / Serra Geral</p>					
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/tipo de rocha(s)	Classe (s) de declividade (s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
10/1	Formas onduladas	Fm. Corumbataí + Serra Geral	5-15%	LR1, TE+Li6	baixa	16,34 Km ²
10/2	Vale mais dissecado, deferente do contexto geral	Fm. Corumbataí + Serra Geral	5-15% e 15-30%, até 30%	Pred. LR1	baixa	5,04 Km ²

SISTEMA11	Amplitudes: < 100 metros					
	Topos: arredondados					
	Vales: abertos					
	Formas: formas suaves					
	Classe(s) de declividade (s) predominante(s):predom. 0-5%, também expressiva de 5-15%, e mais localmente > 15%					
	Geologia: Formações Tatuí , Serra Geral, Corumbataí, Irati					
	Tipo (s) de Solo (s): PV9 + PE (BV2 + LI1)					
	Obs: relevo bastante suave, porém geologica/e e pedologicamente bastante heterogêneo					
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/tipo de rocha(s)	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
11/1	Relevo suave, vales abertos	pred. Fms.Corumbataí + Irati	pred. 0-5% / 5-15%	pred. PE / além de BV2+LI3+LI1	média	12,70 Km ²
11/2	Declividades um pouco maiores	pred. Fms. Serra Geral + Tatui	pred. 0-5% / 5-15%	pred. PV9	média	23,60 Km ²

SISTEMA 12	<p>Amplitudes: pequenas (< 100 metros)</p> <p>Topos: aplainados / arredondados</p> <p>Formas: aplainadas</p> <p>Geologia: predomínio da Fm. Corumbataí</p> <p>Declividades: < 2% próximo ao rio Piracicaba, predominando <5%</p> <p>Densidade hidrográfica : baixa</p>					
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/tipo de rocha(s)	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
12/1	forma bastante suave, com declividades < 5 %	Fm. Corumbataí	pred. 0-5%	PV6/PV9	média/baixa	8,25 Km ²
12/ 2	feição aplainada associada ao rio Piracicaba	Fm. Corumbataí	< 2%	C1+A	média/baixa	6,11 Km ²

SISTEMA 13	<p>Amplitudes: < 100 metros</p> <p>Topos: aplainados / arredondados</p> <p>Formas: colinas pequenas/médias, com porções mais dissecadas</p> <p>Geologia: Formações Irati (predominante), Corumbataí, Tatuí e subordinadamente Sub-grupo Itararé</p> <p>Tipo (s) de solo (s): predomínio de podzólico vermelho-escuro, e subordinadamente podzólicos vermelho-amarelos, além de latossolo vermelho-amarelo</p> <p>Declividades: predomina a classe 5-15%, ocorrendo também declividades maiores que 15%, e menores que 5%</p> <p>Densidade hidrográfica : baixa, com alguns vales apresentando densidades médias</p>					
UNIDADES (Landforms)	Característica predominante	Formação/tipo de rocha(s)	Classe (s) de declividade(s) predominante	Tipo (s) de Solo (s)	Densidade Hidrográfica	Área em Km ²
13/1	Formas pequenas. Apresentam topos restritos/ arredondados	Fm. Irati (predominante) ; localmente Fm. Corumbataí e SGr. Itararé	5-15% Localmente de 15-30% e < 5%	PE+PV2, LV7	baixa	4,20 Km ²
13/2	Colina média	Fms. Irati / Corumbataí/ Itararé/ Tatuí	5-15%, 0-5% Localmente > 15%	Predomínio PE, além de PV4	baixa	6,65 Km ²
13/3	Formas pequenas/muito pequenas, sendo pouco mais dissecada que os demais.	Predomínio da Fm. Irati	5-15%, 0-5% Localmente > 15%	Predomínio PE, além de PV4 e LE	baixa	6,81 Km ²
13/4	Porção apresentando topo aplainado, com ruptura de declive positiva nítida	Predomínio Fm. Tatuí	0-5%, 5-15%	PV4	baixa	2,61 Km ²

SISTEMA 14

Áreas planas associadas às planícies dos rios Corumbataí e Piracicaba / frequentemente ocorre a presença de meandros abandonados

Declividades < 5% (predominando 0-2%)

Tipos pedológicos associados: solos hidromórficos (G1) / aluvião (A)

Área 8,40 Km²

OBS: Cidade não foi analisada devido às modificações impostas pela ocupação e dificuldade na observação (ocorrem desníveis de até 100 m)

APÊNDICE II

<u>LATOSSOLOS</u>	<u>E/D/A</u>	<u>HORIZONTE A</u>	<u>TEXTURA</u>	<u>UNIDADE</u>	<u>SAT. BAS.</u>	<u>SOMA B.</u>	<u>SAT. AL</u>	<u>CTC</u>	<u>CARBONO</u>	<u>pH</u>
<u>ROXOS (LR)</u>										
LR1	EUTRÓFICO	A MODERADO	MUITO ARGILOSA/	RIBEIRÃO PRETO	C.S. 67.09	4.46	0.22	10.28	0.78	6.19
			ARGILOSA							
LR2	DISTRÓFICO	A HÚMICO	MUITO ARGILOSA	UNIDADE NOGUEIRA						
LR3	EUTRÓFICO	A MODERADO	MUITO ARGILOSA OU	BARÃO GERALDO	C.S.S. 27.95	1.64	30.31	6.14	1.11	5.13
			ARGILOSA							

Simbologia :

C.S. - camada superficial

C.S.S. - camada sub-superficial

SAT. BAS. - saturação em bases

SAT. AL - saturação em alumínio

SOMA B. - soma de bases

C.T.C. - capacidade de troca catiônica

E / D / A - eutrófico / distrófico / álico

pH - potencial hidrogeniônico

Apêndice 2

<u>LATOSSOLOS</u>	<u>E/D/A</u>	<u>HORIZONTE A</u>	<u>TEXTURA</u>	<u>UNIDADE</u>	<u>SAT. BAS.</u>	<u>SOMA B.</u>	<u>SAT. AL</u>	<u>CTC</u>	<u>CARBONO</u>	<u>pH</u>
<u>VERMELHO-</u>										
<u>AMARELOS(LVA)</u>										
LV2	ÁLICO	A MODERADO	MÉDIA	LARANJA AZEDA	C.S. 28,02	1.38	44.14	4.6	0.88	5.05
					C.S.S. 22,67	0.95	53.97	3.88	0.46	5.8
LV7	ÁLICO	HÚMICO	MÉDIA OU ARGILOSA	CAMARGUINHO	C.S. 29,99	2.59	28.89	8.2	1.4	5.9
					C.S.S. 13,53	1.24	58.77	7.69	1.03	4.81

<u>LATOSSOLOS</u>	<u>E/D/A</u>	<u>HORIZONTE A</u>	<u>TEXTURA</u>	<u>UNIDADE</u>	<u>SAT. BAS.</u>	<u>SOMA B.</u>	<u>SAT. AL</u>	<u>CTC</u>	<u>CARBONO</u>	<u>pH</u>
<u>VERMELHO</u>										
<u>ESCUROS(LVE)</u>										
LE-1	ÁLICO	A MODERADO	MÉDIA	HORTOLÂNDIA						
LE-2	ÁLICO	A MODERADO	ARGILOSA	LIMEIRA	C.S. 46,95	3.65	13.37	7.77	1.46	5.34
			M. A		C.S.S. 27,17	1.49	35.43	5.73	0.77	4.97
LE-3	ÁLICO	A MODERADO	ARGILOSA OU	SANTO ANTÔNIO						
			M.A							

<u>PODZÓLICOS</u>	<u>E/D/A</u>	<u>HORIZONTE</u>	<u>TEXTURA</u>	<u>UNIDADE</u>	<u>SAT. BAS.</u>	<u>SOMA B.</u>	<u>SAT. AL</u>	<u>CTC</u>	<u>CARBONO</u>	<u>pH</u>
<u>VERMELHO-</u>		<u>A</u>								
<u>ESCUROS(PE)</u>			ARGILOSA	CAMPESTRE	C.S. 55.52	6.2	7.97	10.32	1.51	5.64
			OU ARG/M.A		C.S.S. 54.95	5.85	20.06	9.38	0.66	5.53
			(com ou sem cascalho)							

<u>TERRA</u>										
<u>ROXA</u>	<u>E/D/A</u>	<u>HORIZONTE</u>	<u>TEXTURA</u>	<u>UNIDADE</u>	<u>SAT. BAS.</u>	<u>SOMA B.</u>	<u>SAT. AL</u>	<u>CTC</u>	<u>CARBONO</u>	<u>pH</u>
<u>ESTRUTURADA</u>		<u>A</u>								
(TE)	EUTRÓFICA	A MODERADO	ARGILOSA	ESTRUTURADA	C.S.S. 75.61	7	0.38	9.43	0.73	6.15
			MUITO ARG.							

Depend 2

PODZÓLICOS	E/D/A	HORIZONTE	TEXTURA	UNIDADE	SAT. BAS.	SOMA B.	SAT. AL	CTC	CARBONO	pH
VERMELHO-		A								
AMARELOS(PVA)										
PV1	DISTR.OU ÁL.	A MODERADO	MÉDIA/	USINA						
		(Ta)	ARENOSA/ME.							
PV2	DISTR.OU ÁL.	A MODERADO	ARGILOSA	OLARIA						
		(Tb)								
PV3	PLANOSSÓL.	A MODERADO	MÉDIA/	TIETÊ	C.S. 69,07	8.21	0.24	11.46	1.22	5.66
	EUTRÓFICO	(Ta)	ARGILOSA		C.S.S. 70,36	13.43	14.25	18.45	0.73	5.41
PV4	ABRUPTICO	A MODER/ESP	ARENOSA/MED.	ALVA	C.S. 33,63	1.42	26.56	4.63	0.65	5.28
					C.S.S. 34,54	1.66	44.62	4.63	0.36	5.04
PV5	ABRUPTICO	A MODER/ESP	ARENOSA/MED.	ALVA	C.S. 59,41	4.73	9.37	7.93	1.03	5.45
			(Fase pouco profunda)		C.S.S. 50,12	6.08	35.43	11.38	0.57	5.19
PV6	Tb	A MODER/ESP	ARENOSA/MED.	BAQUARI	C.S. 42,93	1.99	18.86	4.59	0.81	5.22
					C.S.S. 43,54	2.75	32.35	6.19	0.58	5.03
PV7	ABRUPTICO	A MODER/ESP	ARENOSA/MED.	SERRINHA	C.S. 38,27	1.54	25.85	3.84	0.71	5.29
					C.S.S. 33,11	1.81	50.29	4.95	0.36	5.06
PV8	ABRUPTICO	A MODER/ESP	ARENOSA/MED.	SERRINHA						
			(Fase pouco profunda)							
PV9	Tb ABRUPTICO	A MODERADO	ARENOSA/ARGIL.	SANTA CRUZ	C.S. 54,76	3.76	11.02	6.48	0.98	5.66
			MÉDIA/ARGIL.		C.S.S. 46,26	4.48	30.01	9.03	0.55	5.28
PV10	EUTRÓFICOS	A MODERADO	MÉDIA/ARGILOSA							
			(Fase pouco profunda)	MANDUCA						
PV11	C/ CASCALHO				C.S. 45.1	2.84	17.75	6.31	1.01	5.44
	E/OU CASC.				C.S.S. 39.05	2.34	31.34	6.44	0.7	5.09

16
Opuscul 2

<u>CAMBISSOLOS</u>	<u>E/D/A</u>	<u>HORIZONTE</u>	<u>TEXTURA</u>	<u>UNIDADE</u>	<u>SAT. BAS.</u>	<u>SOMA B.</u>	<u>SAT. AL</u>	<u>CTC</u>	<u>CARBONO</u>	<u>pH</u>
(C1)		<u>A</u>								
	ÁLICO	MODERADO	INDISCRIMIN.	SETE LAGOAS	C.S. 47,91	3.81	14.92	7.94	1.11	5.23
	(Tb)	(bem a imperfeitamente drenado)			C.S.S. 38,22	2.33	44.97	6.32	0.35	5.11

<u>SOLO</u>	<u>E/D/A</u>	<u>HORIZONTE</u>	<u>TEXTURA</u>	<u>UNIDADE</u>	<u>SAT. BAS.</u>	<u>SOMA B.</u>	<u>SAT. AL</u>	<u>CTC</u>	<u>CARBONO</u>	<u>pH</u>
<u>ALUVIAL</u>	grupamento				C.S. 38,23	1.54	27.72	4.07	0.57	5.27
	indiscriminado de solos aluviais				C.S.S. 43,75	1.57	26.61	3.39	0.26	5.23
(A)										

<u>LITÓLICOS</u>	<u>E/D/A</u>	<u>HORIZONTE</u>	<u>TEXTURA</u>	<u>UNIDADE</u>	<u>SAT. BASES</u>	<u>SOMA B.</u>	<u>SAT. AL</u>	<u>CTC</u>	<u>CARBONO</u>	<u>pH</u>
(Li)		<u>A</u>								
Li1	SOLOS LITÓLICOS CASCALHENTOS INDISCRIMINADOS									
Li2	EUTR./ DIST.	A MODERADO PROEM.OU CHERNOZÊN.	MÉDIA		C.S. 58.04	6.07	12.8	9.79	1.35	5.57
			(substrato sed. indscr. Gr. Tubarão)							
Li3	EUTR./ DIST.	A MODERADO PROEM.OU CHERNOZÊN.	(substrato sed. Indscr. Gr. Passa Dois)							
					C.S 76.15	13.36	2.48	17.99	1.89	5.65
Li6	EUTRÓFICO	MODERADO	(substrato basalto ou diabásio)							
		OU CHERNOZ.								