

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

“Avaliação da Degradação do Meio Físico  
por Áreas de Empréstimo Utilizando Geoindicadores e  
Sistema de Informações Geográficas  
-Área de Expansão Urbana de Ilha Solteira (SP)”

**ALINE BOTINI TAVARES**

**Orientador:** Prof. Dr. José Augusto de Lollo

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Ilha Solteira – SP  
2008

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP – Ilha Solteira.

- T231a Tavares, Aline Botini.  
Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo utilizando geoindicadores e sistema de informações geográficas - área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP) / Aline Botini Tavares. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2008.  
192 f. : il.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2008
- Orientador: José Augusto de Lollo  
Bibliografia: p. 161-171
1. Solos - Degradação. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Meio ambiente. 4. Indicadores ambientais.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO MEIO FÍSICO POR ÁREAS DE EMPRÉSTIMO UTILIZANDO GEOINDICADORES E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE ILHA SOLTEIRA (SP)

**AUTORA:** ALINE BOTINI TAVARES

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO

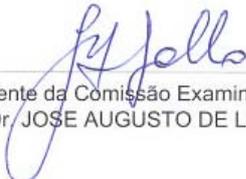
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ADRIANO SOUZA  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. OSWALDO AUGUSTO FILHO  
Departamento de Geotecnia / Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Data da realização: 04 de setembro de 2008.

  
Presidente da Comissão Examinadora  
Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO

## DEDICATÓRIA

*“À minha querida mãe (em memória),  
ao meu pai e aos meus irmãos,  
que me apoiaram nas horas difíceis  
e sempre me orientaram quanto ao melhor caminho a seguir.”*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por tudo de bom que me oferece a cada dia. Realmente não tenho idéia do que seria de mim se não fosse Ele com sua presença constante e seu infinito amor que me torna cada vez mais forte para enfrentar as dificuldades da vida!

Ao meu orientador Prof. Dr. José Augusto de Lollo por seus ensinamentos, pela sua atenção e dedicação na orientação deste trabalho e também pela sua amizade, compreensão e paciência.

À minha querida mãe Maria da Graça Botini Tavares, exemplo de bondade e caridade, que mesmo não estando mais entre nós com certeza colaborou para que eu chegasse até aqui. Sinto que ela está ao meu lado sempre e essa presença me fortifica.

Ao meu pai José de Assis Tavares, por me dar oportunidade de estudo, conforto e infra-estrutura necessária nesses anos em que morei em Ilha Solteira. e aos meus irmãos Marcelo Botini Tavares e Elter Botini Tavares por todo o apoio, e também pela companhia.

Aos meus familiares, principalmente à minha avó Neide, aos meus tios Cláudio e Carlos e às minhas tias Luisa e Janete por todo amor, carinho, e por todos os conselhos e palavras de otimismo.

Ao meu namorado Fernando Barducci Berthequini por todo apoio, amor, companheirismo e alegria que tem me proporcionado a cada dia. Essa pessoa está sendo muito importante em minha vida!

Aos queridos Raquel, Rossana, Nino, Marcos e Dani que se tornaram minha família também e me tratam sempre com carinho, atenção e respeito.

Aos meus amigos: Ana Flávia da Silva, Ana Paula Fugii, Bárbara Logullo, Danielle Cristina, Eliane Leonora, Leandro Santos, Luis Filipe, Marcela Jodas, Maíra de Carvalho, Maria Lidiane, Mauro Tashima, Netúlio Fioratti, Pâmela Macedo, Pedro Sérgio Rodrigues, Victor Marcuz de Moraes, e Leonardo de Souza, pela amizade, companheirismo e apoio em todos os momentos.

Aos meus amigos: Adir Júnior, Aline Takiy, Amanda Castro, Ângela Marques, Aubrey Fernando, Bruna Giroto, Cássia Costa, Carina Baraldi, Clarice Silva,

Cristiane Ramos, Daniella Bertucci, Elaine Silva, Evelyn Hara, Fabiana Bonfietti, Isabella Saab, Janaína, Kátia, Márcia Martinelli, Neri Piratelli, Odília Orlandino, Paola Maiolino, Paula Martinelli, Roberta Minussi, Rosa Saab, Satiko Piratelli, Silvana Ramos, Teresa Costa, Vitor Fabre e Zil que de uma forma ou outra se interessaram por meu trabalho e me ajudaram principalmente me incentivando.

À minha grande amiga Sueila Pereira pela sua sincera amizade, pelo companheirismo e pela sua inestimável ajuda e colaboração na realização deste trabalho. Agradeço profundamente a essa grande amiga que me fez acreditar ainda mais que sou capaz de realizar o que quero!

Ao bolsista de Treinamento Técnico da FAPESP, Elson Correia Junior, pelo constante auxílio, companheirismo, por toda a colaboração para o desenvolvimento deste trabalho, e pela amizade.

A todos que nos auxiliaram com seus serviços de Sondagem elétrica vertical (Sigeo – Soluções Integradas em Geotecnologias), Sondagem SPT (OESTE Engenharia Ltda.) e Sondagem a Trado (senhor Edvaldo). Aos alunos Adilson Bahia e Elson Correia pela realização dos ensaios de Caracterização de amostras de solos e ao Prof. Dr. José Augusto de Lollo pelos ensaios de Microscopia Eletrônica. Às alunas de Iniciação Científica Lílian Campos e Gabriele Silva pela ajuda nos trabalhos de campo.

Aos técnicos do Laboratório de Mecânica dos Solos da FEIS/Unesp, Mário Roberto Correa Ferreira e Gilson Campos Correa, pelo auxílio no preparo e realização dos ensaios.

Ao José Carlos e à Sandra pelos serviços prestados na secretaria e à dona Cícera pelos cuidados com a limpeza do departamento e também pelos cafezinhos de todos os dias. Agradeço também a todo o pessoal da Biblioteca pelos serviços prestados, principalmente ao senhor João Josué.

A todos os meus colegas de trabalho da HE – Consultoria de Engenharia que me receberam com muito respeito, amizade e companheirismo aqui em Belo Horizonte. Em especial agradeço à Mara Pulino e à Mônica Torres pela amizade e por serem tão prestativas me ajudando em tudo.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

**"O que nós somos é o presente de Deus a nós.  
O que nos tornamos é nosso presente a Deus."**

( Eleanor Powell)

TAVARES, Aline Botini. Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo utilizando geoindicadores e sistema de informações geográficas - área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP). 2008. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

## RESUMO

Projetos civis que usualmente dependem de terraplenagem para sua construção necessitam sempre de solo como matéria-prima, o qual geralmente é obtido de áreas de empréstimo próximas ao local da obra e com as características técnicas de interesse. A remoção de solo em tais áreas pode gerar impactos que dificultam o aproveitamento futuro da área. Estudos de degradação devem incluir a avaliação das condições atuais bem como avaliar propostas futuras de aproveitamento das áreas, devendo ser realizados de forma rápida e tecnicamente confiável. O uso de geoindicadores para avaliação da degradação do solo é uma proposta inovadora que identifica um conjunto de atributos que descrevem em curto prazo a dinâmica ambiental, e representam os parâmetros dos quais os processos dependem. Com a finalidade de propor e testar procedimentos de análise de impactos que satisfaçam os requisitos citados foi desenvolvido o presente trabalho no município de Ilha Solteira considerando parcelas do terreno que foram utilizadas como área de empréstimo em função da construção da Usina Hidrelétrica e de obras auxiliares. O levantamento de dados foi feito a partir de geoindicadores propostos com o intuito de representar os impactos ambientais nas áreas. Foi desenvolvida uma sistemática de avaliação de impactos em áreas de empréstimo cuja modelagem em SIG (Spring 4.3.2) e a metodologia de valoração dos impactos podem vir a ser úteis tanto em situações similares, como em outras situações nas quais se faça necessária a avaliação de degradação no meio físico decorrente do uso de recursos naturais. Além disso, foi elaborada uma classificação das áreas avaliadas de forma a permitir a proposição de alternativas de uso das áreas impactadas e prioridades de intervenção das mesmas, colaborando assim para o planejamento ambiental. Os resultados mostraram que o uso de geoindicadores permitiu uma definição confiável do nível de degradação nas áreas de empréstimo estudadas, possibilitando sua classificação em termos de maior ou menor degradação, definindo assim, as prioridades de intervenção para as áreas.

**PALAVRAS-CHAVE:** geoindicadores, SIG, gestão ambiental, degradação do solo, construção civil.

TAVARES, Aline Botini. **Evaluation of the environment degradation for loan areas using geoindicators and geographic information system - urban expansion area of Ilha Solteira (SP)**. 2008. 192 f. Dissertation (Master's degree in Civil Engineering, Hydric Resources and Environmental Technologies Concentration Area) – University of Engineering, from São Paulo State University, Ilha Solteira, 2008.

### **ABSTRACT**

Civil works projects usually depending on earthwork for its construction always needs of the ground as raw material, which generally is gotten from loan areas next to the place to the workmanship and with the techniques characteristics of interest. Soil digging in such areas besides provoking soil physical degradation becoming difficult its future exploitation. Characterizing degradation must include the evaluation of current conditions as well as for future proposals of exploitation of its areas; it must be carried through of fast and technical trustworthy form. Using geoindicators for soil degradation evaluation is an innovative proposal and results a minimum series of parameters describing in short term the environmental dynamics and represents all the parameters of which the processes depend. Intend to environmental impacts analysis procedures proposal and test whose attend cited requirements, this work was developed in Ilha Solteira focusing land units used as soil loan areas for Hydro-electric Power Station and auxiliary workmanships. Data surveying uses a list of geoindicators proposed with the intention to represent the ambient impacts in the areas to be evaluated. A soil loan areas impacts evaluation proposal was developed and modeled in GIS (Spring 4.3.2) and proposed impacts evaluation method can be useful as such in similar situations, as in other situations in which was developed if it makes necessary the evaluation of the degradation in the due to environment of the natural resources uses. Studied areas were classified in order to establish alternative uses for its and intervention priorities thus collaborating for environmental planning. Results show that proposed geoindicators allowed a reliable definition of degradation level in studied loan areas, making possible its classification in terms of degradation intensity, thus defining priorities interventions.

**KEYWORDS:** geoindicators, GIS, ambient management, soil degradation, civil construction.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ILHA SOLTEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	70
<b>FIGURA 2:</b> MAPA DAS FORMAS DE RELEVO DA ÁREA URBANA E DE EXPANSÃO URBANA DO MUNICÍPIO DE ILHA SOLTEIRA .....	75
<b>FIGURA 3:</b> CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE ILHA SOLTEIRA.....	79
<b>FIGURA 4:</b> LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO 1 E 2 .....	82
<b>FIGURA 5:</b> CARTA TOPOGRÁFICA DA REGIÃO ONDE ESTÃO INSERIDAS AS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO EM ESTUDO.....	84
<b>FIGURA 6:</b> LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE SONDAGEM.....	110
<b>FIGURA 7:</b> IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E RESULTADOS DE ENSAIOS DE ENERGIA DISPERSIVA – AMOSTRAS INTERNAS E EXTERNAS A CAVA DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 – MOTOCROSS.....	119
<b>FIGURA 8:</b> IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E RESULTADOS DE ENSAIOS DE ENERGIA DISPERSIVA – AMOSTRAS INTERNAS E EXTERNAS A CAVA DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 – ROTATÓRIA.....	120
<b>FIGURA 9:</b> HORIZONTES DE SOLOS IDENTIFICADOS NAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO.....	122
<b>FIGURA 10:</b> TEXTURA E ESTRUTURA DOS HORIZONTES DOS SOLOS IDENTIFICADOS.....	123
<b>FIGURA 11:</b> REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO POR ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E POR COMPONENTE AVALIADO .....	144
<b>FIGURA 12:</b> REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA O COMPONENTE SOLO .....	145
<b>FIGURA 13:</b> REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA O COMPONENTE RELEVO.....	146
<b>FIGURA 14:</b> REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO – ACESSOS, USO E OCUPAÇÃO .....	147
<b>FIGURA 15:</b> REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO – GEOMETRIA DA CAVA.....	148
<b>FIGURA 16:</b> REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA O COMPONENTE ROCHA/CASCALHO .....	149
<b>FIGURA 17:</b> REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA VEGETAÇÃO.....	150
<b>FIGURA 18:</b> REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA RECURSOS HÍDRICOS .....	151
<b>FIGURA 19:</b> CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS OBTIDA EM AGRUPAMENTO POR PASSO IGUAL.....	153

## LISTA DE FOTOS

<b>FOTO 1:</b> ÁREAS DE EMPRÉSTIMO 1 – MOTOCROSS E ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 – ROTATÓRIA, DELIMITADAS EM VERMELHO .....	83
<b>FOTO 2:</b> IMAGEM IKONOS DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 – MOTOCROSS .....	85
<b>FOTO 3:</b> VISTA GERAL DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 – MOTOCROSS.....	86
<b>FOTO 4:</b> VISTA GERAL DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 – MOTOCROSS, MOSTRANDO O TALUDE DE CORTE, COM APROXIMADAMENTE 7 m.....	86
<b>FOTO 5:</b> OUTRA VISTA ONDE PODE SER OBSERVADA A PRESENÇA DE CASCALHO .....	87
<b>FOTO 6:</b> ALGUNS DOS TESTEMUNHOS PRESENTES NA ÁREA .....	87
<b>FOTO 7:</b> IMAGEM IKONOS DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 – ROTATÓRIA .....	88
<b>FOTO 8:</b> PORÇÃO DO SOLO A SER RETIRADA DA ÁREA CONCEDIDA E ESCAVADEIRA UTILIZADA .....	89
<b>FOTO 9:</b> ÁREA CONCEDIDA PELA PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, INTERNA AO CERCADO.....	89
<b>FOTO 10:</b> TESTEMUNHO DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 – ROTATÓRIA EM CERCA DE 3,5 m EM CORTE.....	90
<b>FOTO 11:</b> ÁREA INTERNA AO CERCADO .....	90

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1:</b> CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAGEM SP1, NO PRIMEIRO METRO DO PERFIL DE SOLO .....	114
<b>GRÁFICO 2:</b> CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAGEM SP3, NO PRIMEIRO METRO DO PERFIL DE SOLO .....	114
<b>GRÁFICO 3:</b> CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAGEM SP3, NO SEGUNDO METRO DO PERFIL DE SOLO .....	115
<b>GRÁFICO 4:</b> CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAGEM SP4, NO PRIMEIRO METRO DO PERFIL DE SOLO .....	115
<b>GRÁFICO 5:</b> CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAGEM SP4, NO SEGUNDO METRO DO PERFIL DE SOLO .....	116
<b>GRÁFICO 6:</b> CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAGEM SP4, NO QUARTO METRO DO PERFIL DE SOLO.....	116
<b>GRÁFICO 7:</b> GRÁFICO DE BARRAS DO RESUMO DOS SOMATÓRIOS DE TODAS AS PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES .....	140

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> FUIROS DE SONDAGEM REALIZADOS NAS ÁREAS DE ESTUDO E COORDENADAS DOS RESPECTIVOS FUIROS .....	111
<b>TABELA 2:</b> MASSAS ESPECÍFICAS DOS SÓLIDOS DAS AMOSTRAS ENSAIADAS .....	113
<b>TABELA 3:</b> RESULTADOS DAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS .....	113
<b>TABELA 4:</b> ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA PARA OS SOLOS AMOSTRADOS .....	117
<b>TABELA 5:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES ÀS ESPESSURAS DOS HORIZONTES DO SOLO .....	125
<b>TABELA 6:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À CAMADA AGRICULTÁVEL DO SOLO .....	126
<b>TABELA 7:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À TEXTURA E ESTRUTURA DO SOLO .....	126
<b>TABELA 8:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES A ATERRO .....	126
<b>TABELA 9:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE SOLO .....	127
<b>TABELA 10:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES PARA HORIZONTE IMPENETRÁVEL EXPOSTO .....	128
<b>TABELA 11:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO GRAU DE INTEMPERISMO .....	129
<b>TABELA 12:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE ROCHA/CASCALHO .....	129
<b>TABELA 13:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À VEGETAÇÃO .....	130
<b>TABELA 14:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE VEGETAÇÃO .....	130
<b>TABELA 15:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AOS MANANCIAIS SUPERFICIAIS .....	130
<b>TABELA 16:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À NÍVEL FREÁTICO .....	131
<b>TABELA 17:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE RECURSOS HÍDRICOS .....	131
<b>TABELA 18:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À DECLIVIDADE DOS TERRENOS NA CAVA .....	132
<b>TABELA 19:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES ÀS ALTERAÇÕES PAISAGÍSTICAS .....	133
<b>TABELA 20:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES A POSIÇÃO NA BACIA .....	133
<b>TABELA 21:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À DISTÂNCIA DO MANANCIAL .....	134
<b>TABELA 22:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE RELEVO .....	134
<b>TABELA 23:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À USO E OCUPAÇÃO .....	135
<b>TABELA 24:</b> PONDERAÇÕES REFERENTES ÀS VIAS DE ACESSO .....	135

<b>TABELA 25:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES A ACESSO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	136
<b>TABELA 26:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À EROSÃO .....	136
<b>TABELA 27:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES A ASSOREAMENTO .....	137
<b>TABELA 28:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AOS PROCESSOS GEODINÂMICOS .....	137
<b>TABELA 29:</b> MATRIZ DE IMPACTOS REFERENTES AOS TALUDES DA CAVA.....	138
<b>TABELA 30:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO TAMANHO DAS ÁREAS	138
<b>TABELA 31:</b> PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À GEOMETRIA CAVA.....	139
<b>TABELA 32:</b> RESUMO DOS SOMATÓRIOS DE TODAS AS PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES.....	139

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1:</b> RESUMO DO PADRÃO DOS GEOINDICADORES PRESENTES NA LISTA DE CHECAGEM DA IUGS .....	25
<b>QUADRO 2:</b> LISTA DE GEOINDICADORES PROPOSTA POR BERGER .....	27
<b>QUADRO 3:</b> INFLUÊNCIA DAS FORÇAS NATURAIS E DAS TENSÕES HUMANAS NOS GEOINDICADORES .....	28
<b>QUADRO 4:</b> TIPOS DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS DECORRENTES DA URBANIZAÇÃO .....	38
<b>QUADRO 5:</b> PROPOSTA DE GEOINDICADORES PARA RÁPIDAS MUDANÇAS NO AMBIENTE URBANO .....	40
<b>QUADRO 6:</b> GEOINDICADORES AMBIENTAIS USADOS PARA AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DO SOLO .....	42
<b>QUADRO 7:</b> INDICADORES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS UTILIZADOS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS .....	44
<b>QUADRO 8:</b> PRINCIPAIS TIPOS DE DEGRADAÇÃO ENCONTRADOS NO BRASIL .....	53
<b>QUADRO 9:</b> RELAÇÃO DE SONDAgens COM ÁREAS DE ESTUDO .....	113

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES**

AAR - accumulation area ratio

CAD - Computer Aided Design

CESP - Companhia Energética de São Paulo

CINDIRU - Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento da Irrigação na Região de Urubupungá

COGEOENVIRONMENT - Commission on Geological Sciences for Environmental Planning

CONAMA - Conselho Nacional do Meio ambiente

DBO - Demanda bioquímica de oxigênio

ELA - equilibrium-line altitude

GIS - Geographic Information System

Hi - Solos hidromórficos

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

IPTU - Imposto Territorial Urbano

IUGS - International Union of Geological Sciences

LE - Latossolo Vermelho Escuro

LL - Limite de Liquidez

LP - Limite de Plasticidade

LR - Latossolo Roxo

MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura

MNT - Modelos Numéricos de Terreno

NPS - National Park Service

Nspt - número de golpes por metro para o ensaio SPT da sondagem de simples reconhecimento.

PL - Podzólico-Lins

PM - Podzólico-Marília

SEV - Sondagem Elétrica Vertical

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SPT - Standard Penetration Test

UTM - Projeção Universal Transversal de Mercator

$\rho_s$  - Massa específica dos sólidos

$\rho_w$  - Massa específica da água

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 ESTRUTURA DO TEXTO .....	21
1.2 IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	21
2 OBJETIVOS.....	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	24
3.1 GEOINDICADORES .....	24
3.1.1 DEFINIÇÃO DO TERMO GEOINDICADORES .....	24
3.1.2 UTILIDADES DOS GEOINDICADORES.....	26
3.1.3 GEOINDICADORES E SUAS APLICAÇÕES .....	29
3.1.3.1 Ambientes Glacial e Periglacial .....	30
3.1.3.2 Ambiente Fluvial.....	31
3.1.3.3 Águas subterrâneas.....	32
3.1.3.4 Ambientes marinhos.....	34
3.1.3.5 Ambientes litorâneos.....	34
3.1.3.6 Ambiente árido .....	36
3.1.3.7 Áreas montanhosas ou de colinas.....	36
3.1.3.8 Áreas de mineração .....	37
3.1.3.9 Ambientes urbanos .....	38
3.1.3.10 Parques .....	45
3.1.3.11 Reservatórios .....	46
3.1.4 ANÁLISE DAS APLICAÇÕES.....	46
3.1.5 CONSIDERAÇÕES.....	48
3.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL.....	49
3.2.1 DEGRADAÇÃO DO SOLO .....	51
3.2.1.1 Degradação do solo em áreas de empréstimo .....	56
3.2.1.2 Degradação do solo devido à atividade de mineração .....	57
3.2.2 CONSIDERAÇÕES.....	59
3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	60
3.3.1 GEOPROCESSAMENTO .....	60
3.3.2 DEFINIÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	62
3.3.3 SPRING .....	67

4	ÁREA DE ESTUDO .....	70
4.1	LOCALIZAÇÃO .....	70
4.2	HISTÓRICO DO MUNICÍPIO .....	70
4.3	CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO .....	72
4.3.1	Clima, umidade relativa do ar, precipitação e temperatura.....	72
4.3.2	Vegetação.....	73
4.3.3	Substrato rochoso, solo e relevo .....	73
4.3.4	Principais cursos d'água e aquífero da região.....	77
4.4	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	77
4.5	ECONOMIA.....	80
4.6	ÁREAS DE EMPRÉSTIMO .....	80
5	METODOLOGIA/MÉTODO .....	91
5.1	BASES E PRINCÍPIOS.....	91
5.1.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E PERÍODO DE AMBIENTAÇÃO COM O SIG .....	91
5.1.2	LEVANTAMENTO DE DADOS .....	92
5.1.3	DEFINIÇÃO DOS GEOINDICADORES.....	93
5.1.4	AVALIAÇÃO E VALORAÇÃO DOS GEOINDICADORES DEFINIDOS.....	94
5.1.5	REGISTRO E TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES .....	95
5.1.6	PROPOSTA METODOLÓGICA.....	95
5.2	ENSAIOS REALIZADOS .....	95
5.2.1	SONDAGENS .....	96
5.2.1.1	Sondagem SPT “Standard Penetration Test” .....	96
5.2.1.2	Sondagem a Trado.....	97
5.2.1.3	Sondagem Elétrica Vertical.....	98
5.2.2	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO .....	99
5.2.2.1	Massa específica dos sólidos.....	100
5.2.2.2	Granulometria.....	100
5.2.2.3	Limites de Consistência.....	101
5.2.3	MICROSCOPIA ELETRÔNICA .....	102
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	104
6.1	GEOINDICADORES PROPOSTOS .....	104
6.1.1	SOLO .....	105

6.1.2	ROCHA/CASCALHO .....	106
6.1.3	VEGETAÇÃO .....	106
6.1.4	RECURSOS HÍDRICOS .....	107
6.1.5	RELEVO .....	107
6.1.6	ACESSOS, USO E OCUPAÇÃO .....	108
6.1.7	PROCESSOS GEODINÂMICOS .....	108
6.1.8	GEOMETRIA DA CAVA .....	109
6.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	109
6.2.1	SONDAGEM SPT .....	110
6.2.2	MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS, GRANULOMETRIA e LIMITES DE CONSISTÊNCIA.....	112
6.2.3	SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL.....	117
6.2.4	MICROSCOPIA ELETRÔNICA E ENSAIOS DE ENERGIA DISPERSIVA..	118
6.3	PONDERAÇÃO DA DEGRADAÇÃO .....	124
6.3.1	SOLO.....	124
6.3.2	ROCHA/CASCALHO.....	128
6.3.3	VEGETAÇÃO .....	129
6.3.4	RECURSOS HÍDRICOS .....	130
6.3.5	RELEVO.....	131
6.3.6	ACESSOS, USO E OCUPAÇÃO .....	134
6.3.7	PROCESSOS GEODINÂMICOS .....	136
6.3.8	GEOMETRIA DA CAVA.....	137
6.4	REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DOS RESULTADOS .....	141
6.4.1	MAPAS DE SÍMBOLOS PROPORCIONAIS .....	141
6.4.2	AGRUPAMENTO POR PASSO IGUAL .....	152
6.4.3	DISCUSSÃO DOS GEOINDICADORES PROPOSTOS .....	154
6.4.3.1	Solo.....	154
6.4.3.2	Rocha/Cascalho .....	155
6.4.3.3	Vegetação .....	155
6.4.3.4	Recursos Hídricos.....	155
6.4.3.5	Relevo.....	156
6.4.3.6	Acessos, Uso e ocupação.....	156
6.4.3.7	Processos Geodinâmicos .....	157

6.4.3.8 Geometria da cava.....	157
6.4.4 PROPOSTA METODOLÓGICA.....	158
7 CONCLUSÃO.....	159
REFERÊNCIAS .....	161
ANEXO 1 .....	172
ANEXO 2.....	182

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 ESTRUTURA DO TEXTO**

A dissertação para a Defesa de Mestrado está subdividida em sete tópicos.

Inicialmente tem-se a introdução na qual se faz uma abordagem sobre a importância do tema estudado relacionando impactos ambientais com a utilização de geoindicadores para um melhor gerenciamento de tais problemas e também com o uso de Sistema de Informações Geográficas - SIG para armazenamento, análise e tratamento de dados.

No segundo tópico descrevem-se os objetivos principais do presente trabalho.

O terceiro tópico ressalta a definição de geoindicadores, bem como também suas aplicações em diversos tipos de ambientes; aborda a definição de degradação e relata a degradação ambiental ocorrida em áreas de empréstimo. É apresentada também nesse tópico uma visão geral do SIG utilizado no projeto, no caso o Spring 4.3.2.

O quarto tópico apresenta a área de estudo, município de Ilha Solteira.

O quinto tópico trata da metodologia a ser aplicada para a realização deste estudo. Nesse conteúdo se encontram descritas todas as etapas exercidas para obtenção das informações necessárias ao projeto.

O sexto tópico é composto pelos resultados obtidos e discussões a respeito de tais resultados.

No sétimo tópico são abordadas as conclusões.

## **1.2 IMPORTÂNCIA DO TEMA**

Os danos causados ao meio ambiente pela exploração de recursos minerais compreendem matéria conhecida do meio técnico. Os resultados comuns de tais explorações tendem a reduzir o potencial de uso futuro das áreas impactadas, geralmente limitando-as a usos como pecuária ou turismo e muitas vezes, por se tratarem de áreas rurais, tal problema não costuma ser devidamente valorizado.

Em áreas urbanas tais atividades podem representar danos que tornam mais difícil o aproveitamento futuro das áreas para finalidades mais nobres como, por exemplo, uso residencial.

No município de Ilha Solteira, em função da construção da Usina Hidrelétrica e de obras auxiliares, diversas parcelas do terreno foram utilizadas como área de empréstimo em locais situados na atual área urbana e em áreas de expansão urbana do município.

A legislação vigente na época era escassa no que diz respeito às exigências pós utilização das áreas. Esse fato contribuiu para que tais áreas se tornassem degradadas. Vale ressaltar que atualmente, é exigido que seja apresentado um plano de recuperação.

A dissertação terá como ferramenta principal o uso de geoindicadores para representação dos impactos ambientais existentes nas áreas em estudo; e a análise será feita em ambiente computacional com a utilização de SIG. Tal proposta é inovadora tanto no mecanismo de levantamento dos dados como no processo de análise.

Essa dissertação apresenta ainda o desenvolvimento de uma sistemática de avaliação de impactos em áreas de empréstimo cuja modelagem em SIG e a metodologia de valoração dos impactos podem vir a ser úteis tanto em situações similares (mineração) como em outras situações nas quais se faça necessária a avaliação de degradação no meio físico decorrente do uso de recursos naturais.

Além disso, é elaborada uma classificação das áreas avaliadas de forma a permitir a proposição de alternativas de uso das áreas impactadas e prioridades de intervenção entre elas, se constituindo em benefício direto para o município de Ilha Solteira.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho foi realizado visando atingir os seguintes objetivos:

- 1) Utilizar geoindicadores e SIG como método de avaliação das alterações ambientais em áreas de empréstimo de solo.
- 2) Aplicar e avaliar o método proposto em Ilha Solteira (SP), classificar as áreas estudadas em termos da intensidade dos impactos sofridos e propor alternativas de uso e ocupação.
- 3) Propor, com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores, uma sistemática para levantamento, avaliação e classificação dos impactos decorrentes do uso de parcelas do terreno como áreas de empréstimo.
- 4) Contribuir com o desenvolvimento de métodos e técnicas de avaliação ambiental dos componentes físicos em áreas degradáveis por empréstimo de solo.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os conhecimentos necessários ao desenvolvimento do presente trabalho sugeriram uma revisão bibliográfica que envolvesse os seguintes temas: (1) Geoindicadores; (2) Degradação ambiental e (3) Sistemas de Informações Geográficas.

#### **3.1 GEOINDICADORES**

##### **3.1.1 DEFINIÇÃO DO TERMO GEOINDICADORES**

Nos anos recentes tem havido muita discussão sobre o meio ambiente e como melhor administrar seus recursos. Devido à grande necessidade de se implantarem políticas de desenvolvimento sustentável no mundo surgiu interesse por parte das nações em se verificar o desempenho ambiental do planeta.

Foram desenvolvidos então os chamados indicadores ambientais com o objetivo de suprir a carência de informações confiáveis sobre a situação do ambiente, fato esse que limitava a atuação de políticas ambientais para a administração do mesmo.

Tais indicadores são definidos por Neimanis e Kerr (1996) como sendo parâmetros que representam ou resumam aspectos do estado do ambiente e a relação entre as atividades humanas e os recursos naturais.

Segundo Berger (1997), os indicadores medem a integridade, a estabilidade e a sustentabilidade do ambiente físico e biológico, e em particular aqueles aspectos que podem advertir sobre rápidas alterações no meio. Embora a ênfase esteja nas alterações abióticas, os sistemas biológicos e geológicos interagem intimamente no tempo e no espaço de modo que não é, portanto, possível ignorar os organismos vivos.

Em 1992, por meio da Comissão de Ciências Geológicas para Planejamento Ambiental (Commission on Geological Sciences for Environmental Planning - COGEOENVIRONMENT), a International Union of Geological Sciences (IUGS) estabeleceu um grupo de trabalho, cujo presidente era Antony Berger, com a finalidade de desenvolver indicadores geológicos. Desenvolveu-se então o conceito de geoindicadores e elaborou-se uma lista de checagem dos mesmos, a qual está disponível na página da Internet: <http://www.lgt.lt/geoin/topic.php?tid=checklist>.

A lista, apresentada em forma de quadro, é uma compilação o formato padrão (ver Quadro 1), e nela os indicadores podem ser selecionados e modificados conforme necessário. O livro *Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems*, escrito por Antony R. Berger e Willian J. Iams é fruto desse projeto desenvolvido pela IUGS (REGO NETO, 2003).

Desde 1999, as atividades do grupo de trabalho se transformaram na “Iniciativa Geoindicadores” que vem realizando esforços em sua divulgação no meio científico, mas apesar de sua grande importância, o assunto ainda é pouco difundido e conhecido (REGO NETO, 2003).

Os geoindicadores são definidos por Berger (1996) como sendo medidas (magnitude, frequência, taxa e tendências) de processos geológicos e dos fenômenos que ocorrem na superfície ou próximos a ela e que estão sujeitos a variações que contribuem significativamente para a compreensão das principais mudanças que ocorrem no planeta em períodos de 100 anos ou menos. Juntamente com parâmetros hidrológicos, meteorológicos, e biológicos apropriados, eles devem contribuir para uma melhor compreensão das alterações ambientais e sustentabilidade.

**QUADRO 1: RESUMO DO PADRÃO DOS GEOINDICADORES PRESENTES NA LISTA DE CHECAGEM DA IUGS**

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Nome	Nome do geoindicador
Descrição breve	Relação com processos e fenômenos geológicos
Significado	Porque deve ser monitorado
Causa natural ou humana	Se possível, diferenciar as causas humanas das causas naturais
Ambiente onde é aplicável	Contexto geral da paisagem
Tipos de locais para monitoramento	Localizações específicas para monitoramento
Escala espacial	Qual a extensão de área deve ser monitorada
Método de medida	Técnicas de campo e laboratório
Frequência de medida	Quão frequente deve ser o monitoramento
Limitações de dados	Dificuldades em se reunirem dados e usar os resultados
Aplicações para o passado e futuro	Estudos de ambientes antigos e potencial de predição
Limiar possível	Que mudança significativa pode ocorrer no ambiente
Referências fundamentais	Manuais práticos e publicações fundamentais
Outras fontes de informação	Programas e organizações
Assuntos relacionados	Relativo a outros processos geológicos e ambientais
Avaliação global	Importância do monitoramento ambiental e sustentabilidade

Fonte: Modificado de Berger (1997, p. 38).

O que é novidade no conceito de geoindicadores segundo Rego Neto (2003) é a tentativa de agrupá-los em uma estrutura comum e enfatizar aos não geólogos a importância de sua utilização na avaliação ambiental. Alguns geoindicadores são complexos e de alto custo, mas a maioria é relativamente simples e possui aplicação de baixo custo.

### 3.1.2 UTILIDADES DOS GEOINDICADORES

Segundo Berger (1997), os geoindicadores têm sido bastante utilizados para representar eventos catastróficos ou graduais, descrevendo o estado do ambiente e fornecendo indicativos para intervenções que permitam alterar ou cessar os processos preservando ou recuperando a qualidade ambiental.

Sua aplicação tem acontecido em diferentes ambientes, tanto naturais como urbanos, com diversos grupos de indicadores e processos de obtenção das informações variando conforme o tipo de área a ser analisada. Vale ressaltar que eles não são aplicados em importantes processos terrestres que geralmente ocorrem mais lentamente, tais como a diagênese, o metamorfismo, as deformações e o movimento das placas tectônicas.

Os geoindicadores contribuem na resposta a quatro questões básicas (BERGER, 1997):

- O que está acontecendo no ambiente? (condições e tendências);
- Por que está acontecendo? (causas, humanas e/ou naturais);
- Por que é importante? (efeitos ecológicos, econômicos e na saúde);
- O que se pode fazer a respeito disso? (implicações no planejamento e nas políticas).

A lista de checagem dos geoindicadores é capaz de identificar importantes processos para a avaliação do estado do meio ambiente, tais como: alterações geológicas, alterações no ecossistema, e análise de como os seres humanos estão afetando os sistemas naturais. Por esta razão, esta técnica se difundiu sendo aplicada em vários ambientes por diferentes autores.

Essa lista encontra-se apresentada no Quadro 2, é fácil de ser usada e inclui vinte e sete geoindicadores, selecionados de acordo com sua importância ecológica e que analisam parâmetros geológicos, hidrológicos, e atmosféricos da superfície, que estão sofrendo constantes mudanças, podendo ser escolhidos dependendo do ambiente em estudo.

**QUADRO 2: LISTA DE GEOINDICADORES PROPOSTA POR BERGER**

<b>GEOINDICADORES</b>	<b>ALGUMAS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS QUE ELES REFLETEM</b>
Química de corais e padrões de crescimento	Temperatura da água de superfície oceânica e costeira e salinidade
Crostas e fissuras em superfície desértica	Aridez
Formação e reativação de dunas	Velocidade e direção do vento, umidade, aridez e disponibilidade de sedimentos
Magnitude, duração e frequência de tempestades de areia	Transporte de areia, aridez e uso do solo
Atividade de solo congelado	Clima, hidrologia e movimentação de taludes
Flutuações de geleiras	Precipitação, insolação e fluxo de derretimento
Qualidade da água subterrânea	Uso do solo, contaminação, alteração de rocha e solo, radioatividade e precipitação de ácidos
Química da água subterrânea na zona não saturada	Alteração de solos e rochas, clima e uso do solo
Nível da água subterrânea	Clima, impermeabilização e recarga
Atividade cárstica	Química e fluxo da água subterrânea, clima, cobertura vegetal e processos fluviais
Níveis e salinidade de lagos	Clima, uso do solo, vazão e circulação da água subterrânea
Nível relativo do mar	Oscilações na linha de costa, clima, extração de fluidos, sedimentação e compactação
Seqüência e composição de sedimentos	Clima, uso do solo, erosão e deposição
Sismicidade	Tensões naturais ou induzidas
Linha da costa	Erosão costeira, transporte e deposição de sedimentos, uso do solo, nível do mar e clima
Deslizamento de encostas	Estabilidade de taludes, movimentos de massa e uso do solo
Erosão e sedimentação do solo	Clima, tempestade de água, vento e uso do solo
Qualidade do solo	Processos químicos, biológicos e físicos no solo; e uso do solo
Fluxo de corrente	Clima, precipitação, bacia de drenagem e uso do solo
Morfologia de canal	Carga de sedimento, velocidade de fluxo, clima, uso do solo e subsidência
Armazenamento e carga de fluxo de sedimento	Transporte de sedimento, taxa de fluxo, bacia de drenagem e uso do solo
Regime de temperatura da subsuperfície	Clima, fluxo de calor, uso do solo e cobertura vegetal
Deslocamentos crustais	Soerguimento e subsidência, falhamentos e extração de fluidos
Qualidade de água de superfície	Clima, uso do solo, interações água-solo-rocha e velocidade de fluxo
Atividade vulcânica	Movimento de magma próximo à superfície, liberação de gases magmáticos e fluxos de calor
Extensão, estrutura e hidrologia de áreas alagadas	Uso do solo, clima, produtividade biológica e vazão de fluxo
Erosão eólica	Clima, uso do solo e cobertura vegetal

Fonte: Modificado de Berger (1997, p. 39).

Segundo Higgins e Wood (2001), a lista de checagem alcança seu potencial completo somente quando usada em conjunto com outras disciplinas científicas. A geologia e outras ciências físicas, por exemplo, contribuem com informações importantes para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas tanto quanto as ciências biológicas e sociais.

Os geoindicadores descrevem processos e parâmetros ambientais que podem se alterar com ou sem a interferência humana. O Quadro 3 é uma tentativa de se avaliar a influência das pressões antrópicas e naturais nas causas das alterações ambientais que determinado geoindicador controla.

**QUADRO 3: INFLUÊNCIA DAS FORÇAS NATURAIS E DAS TENSÕES HUMANAS NOS GEOINDICADORES**

<b>GEOINDICADOR</b>	<b>INFLUÊNCIA NATURAL</b>	<b>INFLUÊNCIA ANTRÓPICA</b>
Química de corais e padrões de crescimento	■	■
Crostas e fissuras em superfície desértica	■	□
Formação e reativação de dunas	■	□
Magnitude, duração e frequência de tempestades de areia	■	□
Atividade de solo congelado	■	□
Flutuações de geleiras	■	○
Qualidade da água subterrânea	□	■
Química da água subterrânea na zona não saturada	■	■
Nível da água subterrânea	□	■
Atividade cárstica	■	□
Níveis e salinidade de lagos	■	■
Nível relativo do mar	■	□
Seqüência e composição de sedimentos	■	■
Sismicidade	■	□
Linha costeira	■	■
Deslizamento de encostas	■	■
Erosão e sedimentação do solo	■	■
Qualidade do solo	□	■
Fluxo de corrente	■	■
Morfologia de canal	■	■
Armazenamento e carga de fluxo de sedimento	■	■
Regime de temperatura da subsuperfície	■	□

Continua...

Continuação...

<b>GEOINDICADOR</b>	<b>INFLUÊNCIA NATURAL</b>	<b>INFLUÊNCIA ANTRÓPICA</b>
Deslocamentos crustais	■	□
Qualidade de água de superfície	■	■
Atividade vulcânica	■	○
Extensão, estrutura e hidrologia de áreas alagadas	■	■
Erosão eólica	■	□
Obs.: ■ forte influência; □ pode ser influenciado; ○ nenhuma influência.		

Fonte: Modificado de Berger (1997, p. 40).

As pressões antrópicas prejudiciais ao meio ambiente devem ser restringidas, mas particularmente em áreas rurais e de florestas pode ser muito difícil discernir os efeitos da ação humana - que podem ser controlados, das influências naturais - que geralmente não podem (BERGER, 1997). Isso também pode ser observado no Quadro 3.

### 3.1.3 GEOINDICADORES E SUAS APLICAÇÕES

De acordo com Rego Neto (2003), os tipos de ambientes e geoindicadores adequados a eles são apresentados a seguir:

- Criosfera: atividade de solo congelado e flutuações de geleiras.
- Zonas áridas e semi-áridas: crostas e fissuras em superfície desértica; magnitude, duração e frequência de tempestades de areia; formação e reativação de dunas; e erosão eólica.
- Zonas costeiras e marinhas: química do coral e padrão de crescimento, nível relativo do mar e linha da costa.
- Lagos: níveis e salinidade de lagos, rios e riachos; fluxo de corrente; armazenamento e carga de fluxo de sedimento; e morfologia de canal.
- Áreas úmidas: extensão, estrutura e hidrologia de solos úmidos.
- Águas de superfície e subterrâneas: qualidade da água de superfície, qualidade da água subterrânea, química da água subterrânea na zona não saturada, nível da água subterrânea e atividade cárstica.
- Solos: qualidade do solo, erosão e sedimentos.

- Riscos naturais: deslizamento de encostas, sismicidade e atividade vulcânica.
- Outros: seqüência e composição de sedimentos, regime de temperatura de subsuperfície e deslocamento da superfície.

A seguir são apresentados alguns estudos sobre aplicações de geoindicadores nos mais variados tipos de ambientes.

### **3.1.3.1 Ambientes Glacial e Periglacial**

Nesje (1996), em seu trabalho realizado principalmente nos Alpes e Escandinávia sobre indicadores geológicos de alterações ambientais referentes às geleiras, aborda que devido ao fato das geleiras responderem às alterações ocorridas no seu ambiente climático pelo aumento ou diminuição do seu volume, elas podem ser usadas como um indicador sensível das alterações paleoclimáticas, principalmente das precipitações de inverno e temperaturas de verão.

Segundo o autor, o monitoramento das geleiras foi realizado utilizando-se diferentes parâmetros glaciais como indicadores das alterações climáticas: (1) balanço específico; (2) balanço específico cumulativo; (3) relação de acúmulo de área (accumulation area ratio - AAR); (4) equilíbrio da linha de altitude (equilibrium-line altitude - ELA); e (5) alterações no comprimento.

Romanovskii et al. (1996) analisaram processos periglaciais na Rússia, existentes em terrenos de permafrost (camada do solo que permanece congelada quando em temperaturas abaixo de 0°C) e concluíram que tais processos seriam geoindicadores para a zona de rocha congelada.

Os geoindicadores para os terrenos de permafrost, de acordo com os autores, manifestam-se em formas superficiais que podem ser observadas, descritas, e monitoradas. A localização e aparência dessas formas, sua superfície morfológica, a composição e textura dos depósitos que as compreendem fornecem informações gerais sobre o clima e o ambiente, e evolução, atividade e intensidade dos processos criogênicos.

Os geoindicadores propostos foram: (1) regime de temperatura no ponto mais alto (30-50 m); (2) distribuição de ciclos de gelo e degelo; (3) processos catastróficos de encostas; (4) formação de blocos de gelo; e (5) espessura da camada superficial do perfil.

Rasch et al. (1996) avaliaram elementos da paisagem da Groenlândia como sendo indicadores de alterações no ambiente, sendo esses elementos: (1) geleiras; (2) blocos de gelo; (3) planícies de ablação; (4) blocos rochosos expostos; (5) depósito de tálus; (6) elementos fluviais; (7) tipos de solos; e (8) características costeiras.

### **3.1.3.2 Ambiente Fluvial**

Osterkamp e Schumm (1996) avaliam em seu trabalho, o uso de geoindicadores para o monitoramento de ambientes fluviais como rios e vales de rios. As principais observações sugeridas são: (1) monitoramento da água; (2) descarga de sedimentos; e (3) alterações ocorridas na vazão dos canais.

As taxas de erosão e armazenamento de produtos da mesma em declives, fundos de vale e canais são suscetíveis a alterações ambientais e são medidas por observações geoindicadoras. Entre as observações sugeridas para se detectar o armazenamento de sedimentos estão as medições da vazão no canal, as condições de deposição e os locais de concentração dessa deposição.

Os melhores geoindicadores de alterações ambientais em sistemas fluviais são, segundo os autores, as características hidrológicas de descarga e taxa de sedimentação. Entre os parâmetros relacionados às alterações no canal que podem indicar também alterações ambientais estão: (1) distribuição do tamanho de partículas; (2) umidade do solo; (3) química do solo; (4) capacidade de infiltração; (5) carbono orgânico total; e (6) aumento da densidade.

A discussão realizada por Osterkamp and Schumm (1996), sobre o monitoramento de rios e vales de rios, afirma que os geoindicadores para esses ambientes se distribuem em três grupos: movimentação de água e de produtos do intemperismo de regiões planas para canais (degradação fluvial), armazenamento de produtos de erosão em fundos de vale e ambientes de baixa energia, e fluxos de água e sedimentos em canais.

Osterkamp (2002) discute em seu trabalho vários indicadores de alterações paisagísticas em Porto Rico, área de clima tropical úmido. Para áreas planas, são indicadores: (1) relações entre chuva e escoamento superficial; (2) taxas de movimentação de solo; e ruptura de taludes; e (3) medidas de densidade de drenagem. Para baixadas e vales têm-se taxas de testemunho de sedimento; enquanto que para grandes fluxos considera-se: (1) descargas de água; (2) sedimentos; e (3) sólidos dissolvidos.

Os atributos climáticos dos trópicos úmidos provocam processos geomórficos e hidrológicos característicos que regulam as taxas de escoamento superficial, intemperismo, erosão, e transferência e armazenamento de sedimentos fluviais. As características que distinguem o clima tropical úmido dos outros climas incluem: freqüente ocorrência de tempestades - freqüentemente intensas, falta de ciclos de gelo e degelo, processos relacionados ao intemperismo físico, intemperismo bioquímico intenso, deslizamentos, e baixa variabilidade nas características da água e dos rios (OSTERKAMP, 2002).

Conforme o autor, os geoindicadores para sistemas fluviais de clima tropical úmido são mais sensíveis aos seguintes fatores: vazão e suas variações; íons dissolvidos; sedimentos e matéria orgânica; alteração no armazenamento de sedimentos em declives e no fundo do canal como resposta a essas alterações de fluxo; e medidas da relação água/sedimento ao longo do curso do canal.

### **3.1.3.3 Águas subterrâneas**

Edmunds (1996) desenvolveu um trabalho para monitoramento de ambientes de água subterrânea e alega que as alterações nesses ambientes afetam vários componentes a eles relacionados.

Os geoindicadores propostos por Edmunds (1996) para monitoramento do ambiente de águas subterrâneas são: (1) alterações piezométricas - nível da água; (2) dissolução mineral; (3) reações de redução e oxidação; (4) salinidade; (5) tempo de residência; (6) radioatividade ambiental; (7) química agrícola; (8) poluição industrial e urbana; (9) taxas de recarga; (10) atenuação ácida; e (11) poluição geoquímica.

A lista inicial de geoindicadores propostos pelo autor foi reorganizada resultando oito geoindicadores que se usados separadamente ou em grupos, são considerados capazes de detectar e monitorar os impactos relacionados a determinado ambiente. Eles incluem, além do nível da água,  $O_2$  e pH, mais cinco os quais são medidos em laboratório ( $HCO_3$ , Cl,  $NO_3$ ,  $SO_4$  e Demanda bioquímica de oxigênio - DBO).

Giedraitiene et al. (2002), apresentaram resultados de um recente programa de monitoramento da qualidade da água subterrânea na fronteira entre Polônia e Lituânia, sendo essa região caracterizada pelo desenvolvimento da agricultura. Contrastes na composição química da água na maior parte da região agrícola refletem as diferenças no uso do solo

originadas em parte das alterações do estilo soviético nas operações em fazendas coletivas que utilizam fertilizantes minerais e orgânicos menos extensivamente.

Segundo os autores, a qualidade das águas subterrâneas no lado da Lituânia foi influenciada por fatores antrópicos de operação em fazendas coletivas de estilo soviético no ano de 1991. A observação dessas alterações ocorridas na composição química faz com que essa composição seja um exemplo de geoindicador direto do estado do ambiente em questão e demonstra a importância de que se faça o monitoramento.

Alega-se também que a poluição ou as alterações na hidrodinâmica da água subterrânea, devido à sua extração ou à mineração de recursos minerais, pode afetar a qualidade e quantidade da mesma sob essa região de fronteira e pode acelerar perigosos processos tais como a carstificação ou erosão. (SATAKUNAS E GRANICZNY, 1997, citados por GIEDRAITIENE ET AL., 2002).

De acordo com Edmunds (1996), a extração de água subterrânea não somente afeta a subsuperfície da água, como também causa alterações na hidrosfera, litosfera e biosfera. Há certos indícios nessas alterações que podem ser designados como geoindicadores.

Klimas e Gregorauskas (2002) afirmam que os geoindicadores relacionados à extração e contaminação da água subterrânea, em estudo também realizado na Lituânia, são classificados em três grupos: (1) diminuição/aumento dos níveis da água subterrânea; (2) degradação da qualidade da água subterrânea; e (3) intensificação da interação água-rocha.

As alterações mais importantes que podem ser monitoradas como geoindicadores são, portanto, segundo Edmunds (1996) aquelas relacionadas à qualidade ou composição química da água subterrânea. Três grandes tipos de alterações podem ser distinguidos: contaminação de águas subterrâneas causada por ação antrópica, distúrbios no equilíbrio geoquímico, e intrusão de águas minerais e salinas.

Segundo Dissanayake (1996), os parâmetros químicos que afetam diretamente a saúde humana e dos animais são geoindicadores ideais tanto da saúde dos mesmos, como também para os ambientes de águas subterrâneas. Exemplos de tais parâmetros são: (1) iodo; (2) ferro; (3) dureza da água; (4) pH; (5) Eh; (6) flúor - quando em grandes quantidades; e (7) nitratos.

### **3.1.3.4 Ambientes marinhos**

Shen (1996), oceanógrafo, mostra como os corais registram uma larga quantidade de parâmetros oceânicos, desde temperatura e salinidade até níveis de nutrientes e poluição podendo ser, portanto, utilizados como geoindicadores das alterações ambientais ocorridas tanto em mar aberto como em áreas litorâneas.

Como outros geoindicadores que armazenam alterações ambientais (camadas de gelo, regime de temperatura da subsuperfície e sedimentos de lagos) os corais fornecem inestimáveis registros automáticos de alterações no ambiente marinho, visto que são muito sensíveis a elas.

### **3.1.3.5 Ambientes litorâneos**

De acordo com Morton (1996), a posição da linha da costa e a distribuição das áreas alagadas são os geoindicadores mais confiáveis em ambientes costeiros e possuem aplicação global, são relativamente fáceis de analisar e não envolvem altos custos, focalizando diretamente o problema ambiental costeiro quanto à perda de solo.

Largura da praia, morfologia e linha de vegetação, e características da zona de maré são indicadores complementares da movimentação da linha da costa, enquanto que flutuações nos hidroperíodos (frequência na duração de armazenamento em áreas alagadas), salinidade da água e do solo, e taxas de sedimentação são indicadores complementares das alterações nas áreas alagadas. Outros parâmetros que completam os geoindicadores para ambientes costeiros são: a elevação e tendência do nível do mar, a frequência e intensidade das tempestades, o clima e o volume de sedimentos.

Morton (2002) faz uma avaliação minuciosa de geoindicadores para áreas litorâneas localizadas nos trópicos úmidos, com especial menção aos deltas Orinoco e San Juan da Venezuela e Colômbia, respectivamente.

De acordo com o autor, os geoindicadores primários apropriados para monitoramento das alterações ambientais nos trópicos úmidos são: (1) níveis transitórios da superfície da água; (2) posição do contorno da costa (MORTON, 1996; YOUNG, BUSH E PILKEY, 1996); (3) composição e distribuição de áreas alagadas (MORTON, 1996); (4) recifes de corais (SHEN, 1996); (5) formações terrenas, formas de relevo;

(6) sucessão e composição de sedimentos; (7) zoneamento lateral e sucessões de vegetação; e (8) atividades sísmicas.

Morton (2002) finaliza afirmando que os geoindicadores litorâneos são sensitivos aos processos tectônicos regionais e alterações antropogênicas e refletem tipicamente o significado das alterações nas condições do litoral tais como: processos fluviais, energia litorânea, qualidade da água, nível relativo do mar e fornecimento de sedimentos.

Bush et al. (1999) em seu estudo na área dos Bogue Banks, Carolina do Norte, utilizaram geoindicadores para a avaliação de riscos litorâneos e mitigação dos impactos gerados.

Foi proposta uma lista de checagem preliminar que fornecia uma descrição resumida e também exemplos para utilização de geoindicadores para avaliação de riscos litorâneos naturais (erosão litoral, canais em zona de arrebentação, ressaca, vento, formação e migração de enseada, e movimentação de dunas) e riscos relacionados com problemas induzidos pelo homem (remoção de camadas de areia, aumento da erosão, perda de sistemas críticos, e danos aos recursos hídricos).

Tal proposta foi apresentada de forma a conter todas as possibilidades identificadas pelos autores para o ambiente litorâneo e, a partir da mesma foram selecionados os geoindicadores considerados apropriados para a área em estudo.

A partir da primeira lista de checagem, foi elaborada outra lista de geoindicadores adicionais para a avaliação dos principais geoindicadores das alterações litorâneas. Esses parâmetros, juntamente com os indicados na primeira lista de checagem ofereceram perspicácias em processos litorâneos como perigos potenciais geológicos, e indicaram a vulnerabilidade do local com respeito a mudanças potenciais globais.

Os geoindicadores, de acordo com Bush et al. (1999), avaliados na área de estudo em questão foram: (1) soerguimento; (2) alterações no contorno da costa; (3) largura, declividade e espessura dos depósitos de praia; (4) zona de espraiamento; (5) posição relativa da enseada da praia ou foz de rio; (6) geometria das dunas e da escarpa; (7) forma da costa; (8) vegetação; (9) drenagem; (10) planície de lavagem; (11) proteção natural costeira; (12) platôs em mar aberto; (13) outras feições; e (14) taxa geral de riscos.

A partir da análise de tais geoindicadores, os autores propuseram um conjunto de medidas mitigadoras consideradas úteis para os problemas identificados na área.

### **3.1.3.6 Ambiente árido**

Para ambientes áridos Lancaster (1996) afirma que as mudanças na paisagem desértica ocorrem como resultado de eventos e forças naturais como chuva, vento, temperatura e gravidade. Alterações na magnitude desses eventos influenciam nos movimentos de massa e na descarga e deposição de sedimentos.

Para monitoramento de tais áreas o autor apresenta em seu trabalho os seguintes geoindicadores: (1) encostas - magnitude e frequência de movimentos de massa; (2) feições fluviais - canais de erosão ou deposição; (3) feições planas - tipo de superfície e frequência de inundação; e (5) feições eólicas - frequência e magnitude de tempestades de areia, e vegetação em dunas.

Vance e Wolfe (1996) discutem o uso de geoindicadores para qualidade de recursos hídricos em regiões áridas do Canadá, sendo de grande importância o monitoramento de lagos e dunas nessas regiões.

Para monitoramento dos lagos foram adotados os geoindicadores nível e composição química da água. Para o monitoramento das dunas adotou-se taxa de migração de areia, atividade regional das dunas e morfologia das dunas.

### **3.1.3.7 Áreas montanhosas ou de colinas**

Segundo Canuti et al. (2004), as atividades de deslizamento de encostas respondem às rápidas alterações sofridas pelo meio ambiente e representam relevantes geoindicadores em colinas ou em regiões montanhosas.

A Itália foi escolhida pelos autores como território de estudo por possuir 75% do seu território composto por montanhas e colinas. Extensas áreas montanhosas e de colinas são afetadas por deslizamentos de encostas, os quais influem fortemente as condições sócio-econômicas do país, ameaçando áreas urbanas, atividades antropogênicas e culturais e o patrimônio ambiental.

Os autores afirmam que as atividades de deslizamentos de encosta estão fortemente relacionadas com alterações ambientais, tais como condições climáticas e cobertura vegetal; além de fazerem parte dos perigos naturais, uma das principais fontes de perda de vida e bens. Essa é a razão porque a instabilidade de taludes está incluída entre os 27 geoindicadores propostos por Berger.

No entanto, vários problemas científicos devem ser resolvidos para um uso prático da instabilidade de taludes como um geoindicador das rápidas alterações climáticas Canuti et al. (2004):

- A atividade de deslizamento de encostas indubitavelmente reflete variações ambientais até mesmo em uma curta escala de tempo, mas a relação entre eventos de deslizamentos e alterações climáticas ou vegetais não é bem definida;
- Para ser apropriado como um geoindicador, a atividade de deslizamento deve ser monitorada em escalas temporais e espaciais diferentes;
- O uso de novas tecnologias de sensoriamento remoto para medida de parâmetros de deslizamentos e para monitoramento de deslizamentos é destacadamente inexplorado, enquanto que essas técnicas permitem uma rápida aquisição de dados sobre amplas áreas e representam uma fundamental ferramenta para o uso prático desse geoindicador.

### **3.1.3.8 Áreas de mineração**

Em muitas áreas os agregados são derivados principalmente de depósitos aluviais e também de minas em planícies de inundação de rios ou em canais de minas. A extração de grande volume de material agregado de mina causa algumas alterações no meio ambiente.

Desde 1940 a exploração de minas de areia tem sido desenvolvida no rio Paraíba do Sul, especialmente em suas planícies de inundação. Santo e Sánchez (2002) para avaliar a evolução dos impactos ambientais em um espaço de tempo de 35 anos, sobre uma cobertura terrestre de 31 km<sup>2</sup> de planícies de inundação, compilaram dados em escala vertical aérea de fotografias de 1962, 1986/1988, e 1997/1998. Esses dados foram analisados com a utilização de um SIG.

Os indicadores usados para representar as alterações ambientais ocorridas na área de estudo foram (SANTO E SÁNCHEZ, 2002): (1) áreas de minas exploradas; (2) áreas de solo agricultável convertida em área de mineração, com ênfase em áreas com exposição do nível freático; (3) área desmatada; (4) modificações na morfologia do rio; (5) crescimento de vegetação em áreas recuperadas; e (6) invasão de minas em áreas de proteção ambiental.

Os resultados obtidos no trabalho indicaram que as fotografias aéreas de vários períodos e o SIG servem como ferramenta eficaz na análise do ambiente, por se tratarem de excelentes fontes que nos permitem observar alterações no uso do solo. Portanto, tal ferramenta é aplicável também no gerenciamento do meio ambiente, planejamento do uso do solo, avaliação de impactos ambientais, auditorias ambientais, e avaliação das alterações do uso do solo e degradação do mesmo.

### 3.1.3.9 Ambientes urbanos

Embora o conceito de geoindicadores tenha sido desenvolvido principalmente para áreas não urbanas, a aproximação pode ser útil para centros urbanos e cidades, como discutido por Gupta (2002). Para a representação de impactos no meio urbano em áreas tropicais o autor selecionou geoindicadores com base na efetividade dos mesmos ao medir alterações ambientais e de acordo com os tipos de dados requeridos para a sua utilização.

A identificação de mudanças ambientais em áreas urbanas com o uso de geoindicadores é um avanço, porém com as seguintes restrições (GUPTA, 2002): pela definição, geoindicadores são designados primeiramente para medir mudanças geológicas; a completa e correta avaliação das mudanças podem empregar considerações que englobem o ambiente das cidades; e o objetivo básico do exercício é preservar e se possível melhorar a qualidade do ambiente físico das cidades até onde for possível. Segundo o autor, em cidades tropicais e subtropicais, as alterações ambientais são promovidas pelo crescimento com rápida expansão das áreas construídas, localização de várias cidades em áreas de risco e existência de alta intensidade de chuvas nesse tipo de ambiente. As alterações ambientais são apresentadas no Quadro 4.

**QUADRO 4: TIPOS DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS DECORRENTES DA URBANIZAÇÃO**

Alterações hidrológicas	Aumento do escoamento superficial, inundação periódica e magnitude acentuada e esgotamento da água de subsuperfície.
Alterações geomórficas	Aumento da produção de sedimentos (pelo menos temporariamente), instabilidade de taludes e modificação de canais naturais.
Alterações climatológicas	Efeito de ilhas de calor; aumento da temperatura, nebulosidade e precipitação; redução da umidade; e diminuição da velocidade do vento.
Alterações na vegetação	Introdução de espécies exóticas, e espécies de ambientes simples (campos e planícies); e aumento de espécies pioneiras e espécies rasteiras que vieram a se instalar em ambiente perturbado.
Alterações na qualidade do ar	Aumento de contaminantes, maior quantidade de partículas sólidas presentes e misturas de gases.
Alterações na qualidade da água	Aumento da demanda pela água, esgotos de fontes domésticas e presença de águas residuárias industriais como poluentes.

Fonte: Modificado de Gupta (2002, p. 737).

As alterações ambientais apresentadas no Quadro 4 devem ser identificadas pelos geoindicadores ou outras medidas satisfatórias. Pôde-se observar que nem todas elas são estritamente geológicas, mas por estarem usualmente inter-relacionadas todas as alterações físicas mais importantes foram listadas.

Gupta (2002) afirma que os efeitos das modificações ambientais são similares com aqueles que ocorrem em situações não urbanas, mas devido à intensidade e rapidez com que o ambiente urbano é degradado faz com que esse ambiente necessite da aplicação de geoindicadores que possam registrar uma série de alterações de vários tipos em curto prazo.

Os geoindicadores ambientais devem então representar (GUPTA, 2002): intensidade e magnitude das inundações; diminuição, transferência e recarga de águas de subsuperfície; qualidade da água superficial e subsuperficial; características do solo e de materiais que sofreram intemperismo; instabilidade de taludes; subsidência de solo; modificação de canais naturais; posição de contorno da costa e alterações do nível do mar para cidades litorâneas; riscos de atividades vulcânicas e abalos sísmicos em cidades localizadas próximo às margens de placas tectônicas; alterações na temperatura; precipitação e evapotranspiração; alterações quanto ao uso do solo, com ênfase especial à superfície terrestre; e tratamento de águas residuárias.

Mediante a necessidade de se identificar e monitorar as mudanças na qualidade do ambiente geológico urbano e tomar as devidas decisões administrativas, especialmente onde se localizam as áreas de risco potencial, Gupta (2002) desenvolveu uma lista de geoindicadores para avaliação em áreas urbanas tropicais, lista esta selecionada de acordo com a efetividade na avaliação de impactos ambientais e os tipos de dados requeridos para o seu uso.

Tais geoindicadores são (GUPTA, 2002): (1) inundação - condições de drenagem superficial medidas de intensidade, magnitude e frequência para sustentabilidade e prevenção de riscos; (2) água subterrânea - rebaixamento, medidas de recarga e efeitos de subsidência; (3) encostas - estabilidade, medidas morfometria e condições subsuperficiais para planejamento e mitigação de riscos; (4) canais de drenagem - mudanças, controle de inundação; (5) clima - mudanças, efeitos nos recursos hídricos e aplicações no planejamento; (6) uso do solo - caracterização das mudanças de uso e seus efeitos; (7) qualidade do ar - riscos para a saúde; (8) disposição de esgoto - poluição da água; (9) áreas rebaixadas do relevo, possível inundação; (10) sismos - análise e mitigação de riscos;

(11) atividade vulcânica - análise e mitigação de riscos; e (12) acumulação de areias e dunas - riscos e poluição.

McCall (1996) apresenta uma proposta de geoindicadores para monitoramento ambiental de áreas urbanas, a qual pode ser observada no Quadro 5.

**QUADRO 5: PROPOSTA DE GEOINDICADORES PARA RÁPIDAS MUDANÇAS NO AMBIENTE URBANO**

PROBLEMA	PROCESSO	INDICADOR	FERRAMENTA
Desestabilização	I) Sismicidade	Atividade sísmica	Sismógrafo, pesquisas históricas
	II) Vulcanismo		Malha de instrumentos, pesquisas históricas
Inundação	I) Intrusão marina	Alterações no nível do mar	Medição
	II) Precipitação excessiva	Chuva	Medição
	III) Transbordamento de rio	Alterações no nível do rio	Medição
	IV) Ruptura de reservatórios e represas	Pequenos abalos	Sismógrafo
Tsunamis	Inundações em áreas costeiras causadas por terremotos e erupções submarinas	Abalos registrados na área costeira	Sismógrafo
Deslizamentos	Colapso gravitacional	Movimentos de formações rochosas superficiais	Medidas da estabilidade de encosta, mapeamento, monitoramento por meio do uso de pontos de referência e registros históricos
Subsidência	Colapso gravitacional ou abatimento	Movimento vertical negativo de solo superficial	Nivelamento de instrumentos em pontos de referência
Contaminação e poluição	Poluição da água subterrânea e superficial, solo e ar	Excesso de substâncias prejudiciais	Monitoramento regular, amostragens e análises
Elevação do nível da água	Interrupção de bombeamento de aquíferos na área urbana	Alterações positivas no nível da água e aparente poluição próxima à superfície, danos e inundação das estruturas de proteção	Medição do nível da água, análise químicas e microbiológicas da água e controle no retorno da irrigação
	Irrigação, interações água- esgoto/fossa séptica, danos em fundações, inundação de construções subterrâneas		
Rebaixamento do nível da água	Subsidência difusa - extração de fluidos	Alterações negativas no nível da água e redução do nível do solo	Medição do nível da água e medição do nível do solo usando pontos de referência

Continua...

Continuação...

<b>PROBLEMA</b>	<b>PROCESSO</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>FERRAMENTA</b>
Diminuição dos recursos	I) Exploração dos recursos de água	Queda no nível da água	Indicadores de nível da água e intervalos regulares de monitoramento
	II) Diminuição de materiais de prédios e de construção		
	III) Danos em termos de perda de solo agricultável - menor suprimento de alimentos		
	IV) Diminuição dos recursos energéticos		
	V) Diminuição da cobertura vegetal		

Fonte: Modificado de McCall (1996, p. 317).

No Brasil, a interferência humana e os processos naturais têm resultado em diferentes tipos de degradação do solo, cada qual tem magnitude específica, severidade, e efeitos resultados de atividades agrícolas, bem como também industriais e mineiras, e processos naturais. O Quadro 8 apresentado no item 3.2.1 Degradação do solo, ilustra tal situação.

Um estudo foi realizado por Zuquette, Pejon e Collares (2004) para avaliar as causas da degradação ambiental nas bacias de drenagem existentes na região metropolitana de Fortaleza, no estado do Ceará. A avaliação foi realizada em duas etapas: caracterização dos componentes ambientais por meio de trabalho de campo e laboratório, e estudo detalhado das áreas degradadas como o uso de sensoriamento remoto.

Foram então definidas doze bacias de drenagem e dezenove geoindicadores (ver Quadro 6) com os quais se caracterizou cada bacia pelo seu nível de degradação.

**QUADRO 6: GEOINDICADORES AMBIENTAIS USADOS PARA AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DO SOLO**

<b>GEOINDICADORES AMBIENTAIS</b>
Posição da margem da praia
Erosão (solo e sedimento)
Mudanças no relevo
Mudanças no canal
Qualidade da água superficial
Assoreamento
Alterações em dunas
Rupturas em taludes
Alterações na geometria do canal
Alterações na vegetação
Qualidade da água subterrânea
Frequência de fontes poluidoras
Intensidade e frequência de inundações
Danos em construções e na infra-estrutura urbana
Rebaixamento do nível de água subterrânea
Alteração na direção da vazão da água subterrânea
Alteração na direção da vazão da água superficial
Destruição de matéria orgânica
Intrusão de água salina em aquíferos raros

Fonte: Modificado de Zuquette, Pejon e Collares (2004, p. 410).

Os geoindicadores propostos no Quadro 6 foram selecionados pelas seguintes razões: baixo custo dos ensaios laboratoriais e possibilidade dos dados serem coletados de trabalhos de campo e também obtidos a partir de fotografias aéreas de diferentes datas e escalas. Todos esses dados estão relacionados com os componentes hidrológicos, geomorfológicos, climáticos e geológicos, tais como a vegetação, qualidade da água, e padrões de uso do solo.

Zuquette, Pejon e Collares (2004) analisaram os geoindicadores em termos de presença, frequência e intensidade nas bacias de drenagem em estudo. Com relação à presença, os limites das classes foram estabelecidos de acordo com o número de geoindicadores ambientais detectados comparados com o número total de geoindicadores representados como uma porcentagem; a frequência foi considerada como o número de áreas em cada bacia onde foi detectado o geoindicador; e a intensidade foi a combinação entre

volume e extensão de cada área onde o geoindicador foi detectado. As áreas de drenagem foram então classificadas em três níveis de degradação: baixa, intermediária, ou alta.

Os autores concluíram que as causas da degradação no local podem estar relacionadas à agricultura, urbanização, desmatamento e mineração; e os principais problemas encontrados na região são: erosão costeira, movimentação de dunas, inundações, movimentos gravitacionais de massa, sedimentação, poluição da água, degradação relacionada à exploração de agregados, e aterros sanitários em locais inapropriados tais como em áreas alagadas e pântanos.

Medidas de reabilitação e mitigação, administração agrônômica, reflorestamento, planejamento urbano, e serviço de saúde pública são fortemente recomendados para toda a região, a qual necessita urgentemente de programas ambientais que regulem e reabilitem as áreas afetadas.

O crescimento da população de uma determinada região, segundo Coltrinari (1996), também pode ser visto como um indicador das alterações ocorridas em um determinado local. Ele provoca um decréscimo da transpiração, devido à impermeabilização do solo pelas construções, aumentando assim o escoamento superficial, devido às chuvas, e os riscos de inundação. Pode surgir também o efeito conhecido como “Ilhas de Calor”, que acaba por provocar “stress” ambiental. Outra consequência da urbanização e da industrialização é acidificação do ar, água e solo.

De acordo com Rego Neto (2003), após avaliação por meio de geoindicadores, os cenários ambientais urbanos futuros poderão apontar áreas que devam ser preservadas ou utilizadas com grandes restrições. Essas áreas em geral são propriedades privadas e muitas vezes são as mais valiosas, o que possivelmente acarretará a oposição de fortes fatores sociais e econômicos à sua conservação.

Segundo o autor, uma boa solução para esse problema é o reparcelamento do solo, que consiste em um conjunto de técnicas participativas, com o propósito de melhorias na infra-estrutura urbana, além da otimização e da qualificação do uso do solo.

Rego Neto (2003) mostra em sua pesquisa que a integração de geoindicadores com o reparcelamento do solo, em áreas frágeis e/ou de forte dinâmica ambiental, permite o desenvolvimento urbano ético, por possibilitar o desenvolvimento econômico com equidade

social e a infra-estrutura necessária, mantendo o ambiente natural saudável para as próximas gerações.

Bitar et al. (1993), em seu trabalho baseado em estudos ambientais de recuperação realizados pela Divisão Geológica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT nos anos de 1988 a 1993, ilustram alguns indicadores de natureza geológico-geotécnica que se mostraram importantes no diagnóstico da degradação em área urbana e na orientação dos trabalhos de recuperação da mesma.

O uso de indicadores quantificáveis nesse caso, permitiu traduzir o grau ou estágio de degradação e, com isso, obter a dimensão dos esforços técnicos e econômicos que deveriam ser alocados nos trabalhos de recuperação.

A lista de indicadores geológico-geotécnicos proposta por Bitar et al. (1993), assim como os parâmetros e respectivas unidades de medição se encontram no Quadro 7.

**QUADRO 7: INDICADORES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS UTILIZADOS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

INDICADOR GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	PARÂMETROS E RESPECTIVAS UNIDADES DE MEDIÇÃO	APLICAÇÃO
Feições erosivas de pequeno porte	Comprimento (m), profundidade média (m), área afetada (ha) e aporte do escoamento (m <sup>3</sup> /s) de águas em superfície, sulcos ou ravinas.	Áreas de mineração abandonadas, habitações subnormais em encostas, obras de terraplenagem, conjuntos habitacionais periurbanos e bota-foras.
Feições erosivas de grande porte	Comprimento (m) e profundidade média (m) de ravinas ou boçorocas, além da posição e distância (-) do nível freático em relação ao nível base da erosão no caso de boçoroca.	Grandes loteamentos, conjuntos habitacionais periurbanos e obras de terraplenagem.
Feições de massas em movimentação	Comprimento (m), largura (cm, m) de trincas, presença e altura (cm) de degraus na superfície, rupturas de declive, inclinação (% , graus) da superfície, grau de saturação (%) e profundidade do nível d'água (m) em solo e/ou rocha que se encontre em movimentação gravitacional.	Minerações abandonadas e habitações subnormais situadas em encostas.
Feições de massa movimentadas	Geometria, volume (m <sup>3</sup> ) e grau de saturação (%) das massas de solo e/ou rochas movimentadas em eventos ocorridos.	Frentes abandonadas de mineração e em núcleos de habitações subnormais situadas em encostas.
Posicionamento dos níveis freáticos	Profundidades médias (m) de elevação e/ou rebaixamento, amplitude de oscilação (m) transitória ou sazonal dos níveis piezométricos, ocorrência de intercepções do lençol freático e formação de pequenos corpos d'água.	Depósitos de resíduos sólidos, bota-foras, frente de lavras, rejeitos de mineração (bacias de decantação de finos) e nos variados tipos de escavações.

Continua...

INDICADOR GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	PARÂMETROS E RESPECTIVAS UNIDADES DE MEDIÇÃO	APLICAÇÃO
Dimensão do assoreamento	Classificação do material sedimentado, volume (m <sup>3</sup> ) e área ocupada (ha) pelo material no corpo ou no curso d'água e, nesse último, quando houver, na área de inundação.	Minerações e sistemas de escoamento das águas pluviais dos loteamentos, conjuntos habitacionais periurbanos e obras de terraplenagem.
Alcance da poluição do solo	Características físico-químicas, volume de resíduo depositado sobre o solo, coeficiente de condutividade hidráulica (cm/s) e forma e comportamento da pluma de contaminação causada pela movimentação de percolados no solo.	Depósitos de resíduos sólidos, incluindo rejeitos de mineração.
Evidências de colmatação no solo	Aporte e concentração de sedimentos sólidos em suspensão (mg/L; mL/L) e profundidades médias (m) de elevação e rebaixamento dos níveis piezométricos situados, respectivamente à montante e à jusante de corpos d'água (cavas inundadas, represas, bacias de decantação, etc.), e coeficiente de permeabilidade (cm/s).	Minerações e obras de escavação em terraplenagem principalmente em condições de encostas de baixa declividade (5 a 15%).
Grau de compactação do solo	Espessura (cm) e extensão (ha) da camada de solo compactado e, nessa porção, a densidade seca do solo (g/cm <sup>3</sup> ), a distribuição dos tamanhos dos poros e a condutividade hidráulica (cm/s).	Minerações e habitações subnormais.
Grau de umidade do solo	Teor de umidade (%) no solo e distribuição de tamanhos dos poros.	Obras de terraplenagem e mineração.

Fonte: Modificado de Bitar et al. (1993).

### 3.1.3.10 Parques

Segundo Higgins e Wood (2001), em décadas recentes, as pressões crescentes nos recursos presentes em parques criaram uma necessidade de gerenciamento dos mesmos. O National Park Service (NPS) adotou então as ferramentas geoindicadoras para complementar parte de seus planos estratégicos e fornecer informações de base científica aos administradores desses parques.

A lista de geoindicadores foi projetada para permitir que equipes de estudo fizessem avaliações de base científica das circunstâncias geológicas.

Os autores alegam que a maioria dos parques, mesmo aqueles com recursos geológicos significativos, não possui geólogos em sua equipe de funcionários ou em seus escritórios regionais a convidar para tais análises. É importante então, salientar que os geoindicadores foram desenvolvidos para uso tanto de geólogos como de não geólogos, daí a facilidade em se adotar geoindicadores como ferramenta de estudo.

Os geoindicadores ajudam a responder a NPS, segundo Higgins e Wood (2001), questões sobre o que está acontecendo ao meio ambiente, porque está acontecendo, e se é importante avaliar tais fatos.

### **3.1.3.11 Reservatórios**

Estudando o assoreamento em vários reservatórios, Campagnoli (2002) propôs uma lista de geoindicadores específicos para a caracterização das condições de assoreamento em função das dimensões do reservatório e das informações disponíveis. São eles: (1) área erodida; (2) volumes de assoreamento; (3) taxas de sedimentação; (4) espessura dos depósitos; e (5) índices de contaminação e poluição de sedimentos e águas.

O autor concluiu que projetos de recuperação de áreas degradadas causadas pelo assoreamento e contaminação, com o conhecimento prévio da história do uso do solo, podem prever a construção de caixas de retenção de sedimentos, calculadas com base nas taxas de sedimentação e de produção de sedimentos da bacia, que podem funcionar também como postos de monitoramento usando-se geoindicadores de volume e de espessura de sedimentos.

### **3.1.4 ANÁLISE DAS APLICAÇÕES**

Uma observação relevante a respeito das aplicações avaliadas, de acordo com Tavares, Cruz e Lollo (2007), se refere à estreita relação entre os geoindicadores propostos e a dinâmica dos ambientes considerados. Sem dúvida se trata de uma consequência natural da proposta original de geoindicadores como representação dos eventos e processos presentes na área.

Mesmo assim, tal situação é digna de nota uma vez que se percebe uma preocupação nos trabalhos relacionados ao item 3.1.3 em selecionar indicadores de processos de média e larga escala, tanto espacial como temporal, e que representam os processos ou produtos mais significativos para a degradação do meio naquele ambiente ou ramo de atividade humana, com especial ênfase para aqueles ligados a movimentos de massa e degradação química dos recursos naturais.

Ainda conforme Tavares, Cruz e Lollo (2007), quanto às formas de obtenção dos geoindicadores verifica-se uma tendência de preferência por técnicas que envolvam menores custos, especialmente aquelas baseadas em levantamentos de campo, o que é

coerente com o enfoque naturalista subjacente ao uso de geoindicadores e com o fato de que se trata da avaliação de áreas com grandes dimensões.

Tal situação se modifica quando se tratam de geoindicadores escolhidos para representar níveis de degradação física envolvendo remoção ou deposição de materiais (com necessidade de trabalho de campos extensivo, portanto envolvendo maiores custos), ou níveis de degradação química (com medidas em laboratório de concentrações de materiais ou substâncias e sua comparação com padrões definidores de contaminação e poluição).

Com relação à reprodutibilidade das técnicas em ambientes com condições similares, segundo Tavares, Cruz e Lollo (2007), se verifica que a relativa flexibilidade dos geoindicadores propostos facilita tal iniciativa já que os indicadores escolhidos se referem a situações passíveis de ocorrência em quaisquer áreas com tais condições, havendo a necessidade de séria reflexão apenas em relação às técnicas de obtenção das informações.

Os autores comentam também que a aplicação dos geoindicadores propostos como mecanismo de monitoramento, no entanto deve ser avaliada com extremo cuidado, especialmente em função dos custos, da possibilidade de recuperação ambiental, e das suas conseqüências administrativas e sociais.

Nas situações em que estejam envolvidos processos de degradação química dos recursos naturais, e avaliada a importância local do recurso em relação a outras carências da comunidade, parece mais razoável o investimento em monitoramento com análises freqüentes e atitudes de recuperação do recurso (TAVARES, CRUZ E LOLLO, 2007).

No que diz respeito à degradação física (especialmente do solo), no entanto, a continuidade dos levantamentos é por si só muitas vezes inócua e dispendiosa caso medidas de controle e mitigação não sejam aplicadas ou, dependendo do caso, medidas compensatórias que permitam a convivência da comunidade com o processo.

Ao tratar do ambiente fluvial e, corretamente, priorizar a dinâmica do modelado do vale na definição de geoindicadores, Osterkamp (2002) não distingue técnicas para diferenciação entre processos naturais e induzidos pela ação humana, o que seria possível avaliando as interações do vale e do canal com as atividades em seu entorno.

De forma análoga, Edmunds (1996) considera os efeitos dos aportes de matéria e energia no aquífero (especialmente aqueles relacionados à qualidade da água) dando pouca importância à interação entre o sistema fluvial e o aquífero.

Zuquette, Pejon e Collares (2004) avançaram no sentido de avaliar, para cada bacia de drenagem na interface com o ambiente litorâneo, os efeitos de degradação ocorridos. No entanto, o trabalho não registra os possíveis efeitos das características de cada bacia nos processos avaliados.

Ao efetuar uma análise temporal dos processos, tendo como base alterações no uso do solo para movimentos de massa em áreas com altas declividades, Canuti et al. (2004) resgatam a importância da avaliação do fator tempo nos processos tanto naturais como, especialmente, aqueles decorrentes da ação humana.

Campagnoli (2002) dá importante contribuição ao estudo dos geoindicadores ao destacar o papel fundamental que a variável escala de trabalho tem no processo.

### **3.1.5 CONSIDERAÇÕES**

O conceito de geoindicadores, conforme Tavares, Cruz e Lollo (2007), é recente e suas aplicações se encontram em fase de maturação de suas reais potencialidades, demonstrando grande potencial para aplicação na gestão ambiental de áreas frágeis e/ou de forte dinâmica ambiental, por permitir a melhor aproximação de cenários ambientais futuros.

É importante considerar também que a gestão ambiental, visando longos períodos de tempo, necessita considerar o potencial de eventos inesperados. Incertezas sempre estão presentes, mas é preciso a construção de cenários prováveis, e para isso é fundamental a escolha de indicadores confiáveis (REGO NETO, 2003).

No presente trabalho, espera-se que a definição dos geoindicadores e a análise de seu conjunto permitam não só a classificação das áreas em termos da intensidade da degradação sofrida, mas também a proposição de medidas para novos usos e forneça ao poder público dados para definição de prioridades de intervenção.

Tais prioridades podem ser definidas em termos de em quais áreas se deve intervir primeiro, e em quais parcelas de uma dada área essa intervenção deve se dar em primeiro lugar.

### 3.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

A utilização inadequada dos recursos naturais viola os ecossistemas, prejudica ou mesmo destrói sua capacidade de auto-regulação e renovação, e resulta na progressiva redução da biodiversidade, e enfim das condições de vida.

A crescente urbanização tem como consequência a ocupação desordenada do espaço urbano e gera impactos ambientais progressivos devido à falta de preocupação com a capacidade de suporte do meio físico.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 001 de 23.01.86, Art. 1°, impacto ambiental pode ser definido como (BRASIL, 1986, p.1):

...qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do Meio Ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

Segundo Johnson et al. (1997), uma alteração ambiental é uma alteração ou distúrbio do ambiente visto como danoso ou indesejável decorrente de processos ecológicos naturais.

Ainda conforme o autor, a degradação da superfície terrestre (“land degradation” - conceito que contempla o entendimento de solo enquanto espaço geográfico, ou seja, extrapola o sentido de matéria ou componente predominantemente abiótico do ambiente) é um subconjunto da alteração ambiental; e a degradação do solo (“soil degradation”) é um subconjunto da degradação da superfície terrestre.

O conceito de superfície terrestre inclui principalmente a litosfera e a pedosfera, mas também inclui partes da biosfera, hidrosfera e atmosfera que estão intimamente ligadas à superfície terrestre e ao solo. A degradação da superfície é então similar à degradação ambiental, exceto pelo fato de que está focada mais no ambiente superficial terrestre e na paisagem do que no ambiente geral.

Então, os animais, plantas, o solo, os corpos d’água e até mesmo o ar que se encontra imediatamente acima da superfície são normalmente considerados como parte da

superfície terrestre. Portanto, qualquer alteração que afete algum desses componentes representa degradação.

Segundo o Manual de Diretrizes para Recuperação de Áreas Degradadas (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, 1990), a degradação ocorre "... quando a vegetação nativa e fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a inviabilização sócio-econômica da área".

Uma lista do que se acredita ser parte da degradação de superfície é apresentada a seguir: (1) erosão do solo - perda de partículas minerais, matéria orgânica e nutrientes; (2) alterações na estrutura do solo - em particular aquelas que afetam a capacidade de água disponível; (3) decréscimo das espécies de plantas nutritivas e saborosas, e aumento de plantas não nutritivas e não saborosas; (4) decréscimo na vegetação rasteira perene, e aumento nas anuais; (5) substituição das espécies de maior porte por espécies arbustivas; (6) declínio na qualidade e quantidade de forragem; (7) declínio na produtividade primária e redução das espécies secundárias; e (8) declínio no bem-estar dos rebanhos locais (ABEL E BLAIKIE, 1989, citados por JOHNSON ET AL., 1997).

A respeito do conceito de perturbação ou distúrbio, esse pode ser visto como alteração resultante de atividades humanas e que não pode ser corrigida rapidamente. Nesse caso existem três situações influenciadas pelo caráter temporal: os distúrbios súbitos e inesperados, como os decorrentes de acidentes ou falhas de origem tecnológica em processos industriais; os distúrbios que ocorrem durante período de tempo significativo, mesmo que tenham sido detectados apenas recentemente, como os derivados de descargas de efluentes industriais; e os distúrbios planejados, como os da mineração em superfície (CAIRNS JR., 1986, citado por BITAR, 1997).

Segundo Corrêa (1998a), retirar a cobertura vegetal ou o aporte excessivo de nutrientes em um lago ou no solo pode ser considerado degradação ou perturbação ambiental, a depender da intensidade. Caso o ambiente não se recupere sozinho, diz-se que está degradado e necessita da intervenção humana. Se ele mantém a capacidade de regeneração ou depuração, diz-se que o ambiente está perturbado e a intervenção humana apenas acelera o processo de recuperação.

A controvérsia sobre os conceitos de degradação e recuperação levou à edição do Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, que dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Estabeleceu-se por instrumento que (BRASIL, 1989, p.1):

... são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais e que a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a uma estabilidade do meio ambiente.

### **3.2.1 DEGRADAÇÃO DO SOLO**

De acordo com Stocking (1995), a degradação do solo é retratada como um dos maiores problemas ambientais do mundo. Ela é vista como um indicador chave das crises no meio ambiente de países desenvolvidos.

A degradação do solo é uma alteração em seu estado físico, químico ou biológico, a qual pode restringir sua capacidade de produção (LINDSKOG E TENGBERG, 1994, citados por ZUQUETTE, PEJON E COLLARES, 2004).

Uma outra definição abordada por Johnson et al. (1997) para degradação do solo, seria qualquer alteração ou distúrbio do mesmo percebido como danoso ou indesejável. Essa definição inclui a idéia de percepção devido ao fato de que degradação é um termo cujo significado reflete percepções, pontos de vista, prazos e valores anexos.

Segundo os autores, a degradação do solo é percebida freqüentemente quando manifestada nos seguintes modos: (1) erosão devido à água - erosão laminar, concentrada e acelerada, movimentos de massa e/ou deposição; (2) erosão e/ou deposição devido ao vento; (3) degradação biológica - alterações no húmus, vegetação, extirpação ou distúrbio local da biota do solo - vermes, fungos, e outras espécies; (4) degradação física - alterações na massa específica do solo, permeabilidade, e estrutura, por exemplo; e (5) degradação química - acidificação, alcalinização, ou outras mudanças no pH, mudanças na salinidade, e toxicidade química.

Blum (1998) define degradação do solo como sendo a perda ou redução da energia do solo. Assim, como todas as funções e usos do solo são baseados na energia pode-se

dizer que a degradação do solo é equivalente à perda ou redução das funções do solo e também do uso.

O autor aponta as atividades antrópicas como sendo uma das causas da degradação do solo e afirma existir pelo menos seis principais usos do solo e da superfície terrestre os quais estão relacionados com a degradação; três mais ecológicos e os outros três baseados em atividades sócio-econômicas, técnicas e industriais.

Os três usos ecológicos são: (1) produção da biomassa; (2) uso do solo para filtrar, proteger e transformar combinações adversas entre atmosfera, águas subterrâneas e raízes de plantas; e (3) solo como local de sobrevivência de vários organismos.

Os outros três usos do solo são: (1) desenvolvimento de estruturas técnicas, industriais e sócio-econômicas; (2) o solo como fornecedor de matérias-primas e fonte de água; e (3) presença no solo de registros da história humana, guardando tesouros paleontológicos e arqueológicos.

Blaike e Brookfield (1987) definem solo degradado como sendo aquele que perdeu qualidade ou sofreu um declínio em suas capacidades. As alterações geralmente identificadas nos processos geológicos, biológicos, e sócio-econômicos, são avaliados por diferentes magnitudes, severidades, efeitos, e extensão.

Essas alterações podem ocorrer segundo Stocking (1987), devido alterações globais, intensa exploração, inadequado uso do solo, e acelerados processos naturais tais como erosão, inundação, movimentos gravitacionais de massa, entre outros.

Barrow (1991) afirma que para se estabelecer o significado de degradação do solo é necessária uma avaliação de extensão, grau de dano e também é preciso verificar se o processo é controlado ou reversível. As principais causas da degradação do solo, conforme o autor são:

- Causas básicas: riscos naturais que podem causar degradação, taludes íngremes, solos danificados facilmente, solos ácidos, solos áridos, solos de baixa altitude em relação ao mar, regiões de chuvas intensas, estiagem, áreas de risco no curso de monções, furacões em áreas propensas, e terremotos ou perigos vulcânicos.
- Atividades humanas que podem contribuir com os riscos naturais: construções em planícies alagadas, remoção de vegetação, alteração de hidrografia, pastagens intensivas, escoamento, alagamentos e enchentes.

▪ Mudanças populacionais: pressão da população ocasionando o uso excessivo do solo, uso incorreto de áreas degradadas, aumento de demanda e destruição da base de recursos, e desprezo da população sobre o crescimento que pode causar impacto.

Ainda conforme o autor, os solos degradados aparecem apenas como um dos últimos reflexos da atividade que o causou, seja ela provocada por um homem, ou por algum efeito da natureza, podendo apresentar-se pela combinação das duas, sendo, por isso, difícil de prever. E, apesar de ser grande o conhecimento nessa área, atitudes de prevenção de degradações são praticamente negligenciadas, atuando apenas na correção dos danos ocorridos.

Conforme West e Bosch (1998), existem quatro maneiras para avaliar a degradação do solo: observação direta e medida, sensoriamento remoto, métodos paramétricos, e modelos de simulação. Entre eles, os dois últimos são os que fornecem melhores resultados para amplas áreas e a custos acessíveis. A precisão dos resultados obtidos, no entanto, depende da disponibilidade e confiabilidade de dados do solo, clima, topografia e manejo utilizados na avaliação.

No Brasil, a interferência humana e os processos naturais têm resultado em diferentes tipos de degradação do solo como pode ser observado no Quadro 8 (ZUQUETTE, PEJON E COLLARES, 2004).

**QUADRO 8: PRINCIPAIS TIPOS DE DEGRADAÇÃO ENCONTRADOS NO BRASIL**

<b>INTERFERÊNCIA HUMANA</b>			
<b>AGRÍCOLA</b>	<b>URBANA</b>	<b>INDUSTRIAL</b>	<b>MINERAÇÃO</b>
Poluição da água e do solo	Poluição do ar, solo e água	Poluição do ar, solo e água	Poluição do ar, solo e água
Consolidação do solo	Consolidação do solo	Chuva ácida	Taxa de erosão
Taxa de erosão	Taxa de erosão	Desmatamento	Alterações no coeficiente de escoamento superficial
Formação de crostas lateríticas	Alterações no coeficiente de escoamento superficial	Alterações no coeficiente de escoamento superficial	Desmatamento
Salinização	Desmatamento	Inundações	Carga de sedimentos
Alterações no Balanço hídrico	Carga de sedimentos	-	Alterações na densidade dos canais
Lixiviação	Alterações na densidade dos canais	-	Alterações morfométricas

Continua...

Continuação...

Redução da biomassa, carbono e biodiversidade	Alterações morfométricas	-	Movimentos de massa
Desertificação	Movimentos de massa	-	Alterações do Relevo
Sedimentos, assoreamento	Assoreamento, inundações	-	-
Desmatamento	Alterações do relevo	-	-
	Sedimentos	-	-
<b>PROCESSOS NATURAIS</b>			
<b>SOLO/ROCHA</b>	<b>GEOMORFOLOGIA</b>	<b>ÁGUA</b>	<b>VEGETAÇÃO</b>
Redução da biodiversidade	Alterações morfométricas	Alterações morfométricas	Redução da biodiversidade
Cimentação	Alterações em canais	Alterações em canais	Infestação
Desertificação	Alterações na densidade dos canais	Alterações na densidade dos canais	Alteração da biomassa
-	-	Alterações morfométricas	-

Fonte: Modificado de Zuquette, Pejon e Collares (2004, p. 409).

O conceito de qualidade do solo como indicador de degradação deve ser utilizado a partir de uma visão mais ampla. Os atributos ou características do mesmo devem ser avaliados e monitorados para definir a manutenção, o ganho ou a perda de qualidade. Então, para a caracterização de um processo de degradação deve-se avaliar a dinâmica da qualidade do solo (DIAS E GRIFFITH, 1988, citados por PONS, 2006).

Os autores ainda afirmam que os substratos resultantes dos diferentes processos e atividades que conduzem à degradação do solo apresentam características que decorrem do tipo e da composição da rocha matriz, dos processos de degradação, da forma e do tempo de exposição do material. Em virtude de uma diversidade muito grande de situações, faz-se necessária a classificação do material a ser recuperado.

Os cenários em que tal situação pode ocorrer foram classificados segundo Dias (1996), citado por Pons (2006) em:

- Resíduos geológicos em área remanescente plana: quando ocorre exposição dos horizontes inferiores do solo original, composto do material geológico heterogêneo (áreas de empréstimo deixadas após a construção de barragens de aterros em estradas de rodagem e ferrovias é o exemplo mais comum). Característica importante nesse

tipo de material é o fato de não ter havido reviramento do material remanescente, somente a decapagem dos horizontes superiores do solo.

- Taludes decorrentes de cortes e de construção de barragens: esses taludes podem apresentar ou não uma estratificação decorrente dos horizontes que formam o solo original. Em função do tipo de solo e da profundidade do corte, pode existir a exposição do horizonte C, evidenciando a presença de fragmentos de rocha. A exposição de horizontes B e C, que não apresentam boa estruturação, os tornam extremamente susceptíveis aos agentes erosivos.

- Cavas de minas: a realização do processo de abertura de cavas para a exploração de minério exige a exposição de encostas e a confecção de bermas. A declividade das encostas e a largura das bermas são determinadas em função das características do material, do processo de abertura da cava, da necessidade de vias de acesso e do volume de minério a ser explorado.

Na medida em que a cava se aprofunda, existe maior exposição de encostas e maior área de bermas. Isto trará complicações ao processo de revegetação devido a menor estabilidade de propágulos e à baixa capacidade de retenção de umidade e de disponibilidade de nutrientes, podendo ser contornado por meio da utilização das técnicas de geotêxteis e da confecção de tramas com material vegetal seco.

- Substrato remanescente de mineração a céu aberto: em lavras a céu aberto, a retirada de minério sem o retorno de estéril ou mesmo dos horizontes superficiais conduz a um substrato remanescente formado por uma massa heterogênea de material geológico. A ação dos agentes de intemperismo pode levar, com o tempo, à formação de horizontes superficiais que promovem à medida que se oxidam a acidificação ou alcalinização do sistema, trazendo conseqüências para a rede de drenagem local.

- Horizontes reconstruídos em áreas mineradas: materiais com diferentes características e modos de aplicação que servem para o recobrimento da área de lavra, quer seja com a finalidade de reconstrução topográfica, armazenamento de estéril ou mesmo para estabelecer condições favoráveis de revegetação. A presença de fragmentos de rocha e a inversão de horizontes podem resultar no aparecimento de complicações de ordem química e física, que afetarão o estabelecimento e crescimento de plantas quando do processo de revegetação.

- Depósitos controlados e não controlados: material estéril retirado e depositado em locais previamente determinados, que resulta em uma mistura de materiais de diferentes granulometrias e composição química, que são decorrentes do tempo de intemperismo e da pluralidade de materiais de origem.

### **3.2.1.1 Degradação do solo em áreas de empréstimo**

A implantação de projetos que dependam de terraplenagem para sua construção carece sempre de solo como matéria-prima, o qual geralmente é obtido de empréstimos próximos ao local da obra e com as características técnicas de interesse.

Os processos para obtenção do solo estão sempre associados a escavações ou desmontes, gerando degradação ambiental e fazendo com que, em contraposição aos benefícios da implantação do empreendimento, sejam gerados impactos ambientais negativos.

Além dos processos comuns de degradação física do solo – erosão, compactação, redução do horizonte não saturado e remoção da camada agricultável do solo – a exploração de áreas de empréstimo pode gerar impactos indiretos na vegetação, na qualidade das águas e, conseqüentemente, na destinação futura de tais áreas, tornando difícil o seu aproveitamento.

Segundo Christófaró e Nunes (1999), os impactos ambientais em áreas de empréstimo de solo envolvem: (1) aspectos físicos - processos erosivos; (2) aspectos biológicos - variação da abundância e da diversidade da flora e da fauna; e (3) aspectos antrópicos - formação de focos potenciais e criadouros de vetores de doenças e endemias por meio do acúmulo de água, lixo e entulhos, e vulnerabilidade a acidentes, dentre outros.

O trabalho de Pereira et al. (1999) aborda que os impactos são classificados nas categorias: biótico, físico e antrópico. Em relação ao meio biótico, a flora e a fauna podem ser afetadas devido a desmatamentos, à contaminação do solo, e às alterações na cobertura vegetal. No meio físico, além dos processos erosivos, causados pelo desmatamento, podem ser observados também o carreamento de sólidos e o assoreamento das redes de drenagem. No meio antrópico, poderão ocorrer distúrbios na rotina das atividades de reservas indígenas, sítios arqueológicos ou áreas de preservação, caso elas existam na região em estudo.

Kesselring e Kesselring (1999) apontam em seu trabalho que impactos causados pela exploração de áreas de empréstimos e jazidas envolvem desmatamento,

remoção da cobertura superficial do solo, retirada do material, alteração no sistema de drenagem natural da área, descaracterização do relevo, represamento das águas, abertura de acesso às mesmas, além de causar suscetibilidade à erosão e problemas de assoreamento de cursos d'água e açudes, por exemplo.

De acordo com ENGEVIX (2005) a construção de barragens causa impactos devidos às escavações, movimentos de terra e transporte de solos para obra, que poderão provocar o aparecimento de processos erosivos ou intensificação daqueles existentes.

Os impactos no meio físico da construção de barragens devem levar em conta os fatores estabilidade de terrenos marginais, sismicidade, potencial agrícola das terras, potencial de exploração mineral, e recursos cênicos (PIMENTEL, 2004).

### **3.2.1.2 Degradação do solo devido à atividade de mineração**

A atividade de mineração para a extração de areia, cascalho, argila, saibro e solo, salvo raras exceções, é responsável pela maioria das áreas degradadas. Essas jazidas localizam-se principalmente no entorno das áreas urbanas (acompanhando a expansão dessas), aleatoriamente na zona rural e no entorno de grandes obras de engenharia.

Os impactos decorrentes de tais atividades podem ser variados e atingir diferentes componentes do meio ambiente, sendo geralmente apresentados segundo a classe de componente do meio afetado.

Especialmente dedicado à mineração, o trabalho de Willians et al. (1990), citados por Bitar (1997), divulgado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, admite um conceito relacionado aos aspectos biológicos, edafológicos e hídricos afetados pela atividade extrativa, considerando que a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados.

Particularmente nas últimas décadas, em decorrência das relações continuadas que se estabeleceram entre a mineração e a dinâmica de crescimento das metrópoles, emergiram conflitos de uso do solo e impactos ambientais, ressaltados pelo fato de que poucas empresas praticam suas atividades de modo a evitá-los.

As principais alterações ambientais causadas pela mineração, particularmente aquelas associadas aos locais em que o empreendimento se encontra instalado, têm sido identificadas por Teixeira (1992), podendo ser resumidas em: supressão de áreas de vegetação, alteração da rede de drenagem, mudanças nas superfícies topográficas, geração de resíduos sólidos, geração de efluentes líquidos, geração de poeira, geração de ruído, interceptação do lençol freático com rebaixamento ou elevação do nível de base local, intensificação da erosão, escorregamento de encostas e taludes, alteração das características do solo, aumento da emissão de gases e partículas em suspensão no ar, alteração da dinâmica fluvial, propagações de vibrações no solo, e modificação das formas de uso do solo.

Segundo Dias (2001), na avaliação dos impactos ambientais da mineração, é comum dividi-los de acordo com o meio afetado, ou seja, físico, biótico e antrópico. No entanto, grande parte dos efeitos da mineração atinge, primeiramente, o meio físico, sendo os impactos no meio biótico e antrópico muitas vezes decorrentes do primeiro.

Corrêa e Leite (1998), considerando estudo feito no Parque Nacional de Brasília, mostram a investigação comparativamente entre o caminho da regeneração em áreas desmatadas e em áreas mineradas a qual permite determinar os diferentes graus de capacidade de regeneração natural e quais as interferências humanas necessárias.

Uma das três áreas escolhidas para tal estudo foi uma área escavada cerca de 1,5 m para a retirada de aterro, apresentando vegetação esparsa. As demais áreas escolhidas caracterizavam-se por desmatamento e possuíam a fisionomia da vegetação visualmente diferente uma da outra. Uma das áreas que foi apenas desmatada apresentava um estrato herbáceo denso, a outra era formada por arbustos e havia alguns pequenos espécimes formando um estrato inferior.

Com relação à infiltração de água, quanto mais profunda a escavação menor essa infiltração, pelo fato dos solos mais profundos serem mais compactados. O autor concluiu que em alguns casos pode existir um aumento de infiltração em relação às áreas de vegetação nativa devido à presença de camadas de solos depositadas no local proveniente de erosões.

A umidade em áreas vegetadas, de acordo com o autor, apresenta valores similares e mais altos do que em áreas escavadas. Mesmo com disponibilidade de água, o material exposto nesses locais não a armazena, provavelmente pela falta de matéria orgânica

para estruturá-lo, uma vez que a estrutura é determinante na capacidade de um solo armazenar água.

Quanto aos valores médios de densidade global encontrados para as três áreas, notou-se que a média encontrada para a área escavada é de aproximadamente 25% superior às outras duas. O aumento da densidade global afeta a disponibilidade de água, o que explica o comportamento de menor capacidade de retenção de água, ou seja, menores teores de água armazenada, nos locais onde acontecem escavações que implicam no mau desempenho da revegetação.

Devido à escavação, a concentração de matéria orgânica é menor em relação às áreas vegetadas ou apenas desmatadas, isso em função da pobreza de vegetação existente, e conseqüentemente a não produção de matéria orgânica.

Corrêa (1998b) alega que um dos principais problemas em áreas que foram mineradas e abandonadas é a erosão. O carreamento da parte superficial de seus substratos pode sedimentar corpos d'água. As voçorocas, freqüentemente presentes, destroem obras civis e parte dos ecossistemas em que estão inseridas. Lixões e invasões para fins residenciais também são comuns nesses locais.

### **3.2.2 CONSIDERAÇÕES**

O uso de geoindicadores para avaliação da degradação do solo é recomendado porque eles identificam uma série mínima de parâmetros que descrevem em curto prazo a dinâmica ambiental, e representam todos os parâmetros dos quais os processos dependem (BERGER, 1997).

Como se pôde perceber, a literatura técnica indica certo consenso acerca dos componentes do meio físico afetados pela operação de áreas de empréstimo, sem indicar os mecanismos de levantamento de tais condições no empreendimento. Para sanar essa deficiência é importante o uso da técnica de geoindicadores como mecanismo de análise.

Para que os estudos de degradação possam resultar em algo útil, não só para a avaliação das condições atuais como para propostas futuras de aproveitamento das áreas, eles devem ser realizados de forma rápida e tecnicamente confiável.

Bitar et al. (1993) relacionaram alguns indicadores e parâmetros geológico-geotécnicos freqüentes na avaliação de áreas degradadas por mineração e outras atividades no meio urbano.

No contexto geológico, segundo os autores, os mecanismos de degradação do solo coincidem com alterações na dinâmica dos processos do meio físico e, assim, um indicador deve fornecer, por meio de um ou mais parâmetros, um indicativo da magnitude da degradação atingida pelo processo.

Após o encerramento da atividade de exploração de uma área degradada pela mineração deve-se desenvolver um projeto de reabilitação da área. Para regiões urbanas as propostas são as mais variadas: disposição de resíduos, indústria, lazer, loteamento, sistema viário, educação, hotelaria dentre outros (BITAR, 1997).

### **3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

#### **3.3.1 GEOPROCESSAMENTO**

No passado a coleta de informações geográficas era feita apenas em documentos e mapas em papel; isso dificultava uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento da tecnologia de Informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento.

Nesse contexto, Câmara e Davis (2001) definem o termo Geoprocessamento como sendo a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Para Câmara e Monteiro (2001) trabalhar com geoinformação significa utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados.

É costume dizer-se então que o Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos, incluindo a funcionalidade permitida pelo SIG.

Os tipos de dados em geoprocessamento podem ser vistos a seguir (CÂMARA E MONTEIRO, 2001):

- Dados temáticos: descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como por exemplo, os mapas de pedologia e a aptidão agrícola de uma região. Esses dados, obtidos a partir de levantamento de campo, são inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens. Eles admitem tanto representação matricial quanto vetorial.

- Dados cadastrais: distinguem-se de um temático, pois cada um de seus elementos é um objeto geográfico que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos (dono, localização, valor venal, Imposto Territorial Urbano - IPTU devido, entre outros) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. Os atributos estão armazenados num sistema gerenciador de banco de dados enquanto que a parte gráfica é armazenada em forma de coordenadas vetoriais.

- Redes: informações associadas a serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone; redes de drenagem (bacias hidrográficas); e rodovias. No caso de redes, cada objeto geográfico (por exemplo, cabo telefônico, transformador de rede elétrica, cano de água) possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritivos. Sua parte gráfica é armazenada em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia arco-nó e seus atributos não gráficos são guardados em um banco de dados.

- Modelos numéricos do terreno (MNT): são utilizados para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo, como aeromagnetismo.

Um MNT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos  $(x, y)$ , em um referencial qualquer, com atributos denotados de  $z$ , que descrevem a variação contínua da superfície. Eles podem ser armazenados em grades regulares, ou seja, representação matricial, em grades triangulares por meio de vetores com topologia arco-nó, ou em isolinhas que se constituem de representação vetorial sem topologia.

- Imagens: obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados. Elas representam formas de captura indireta de informação espacial.

Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem (denominado "pixel") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

Características importantes de imagens de satélite são: o número e a largura de bandas do espectro eletromagnético imageadas - resolução espectral; a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor - resolução espacial; o nível de quantização registrado pelo sistema sensor - resolução radiométrica; e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto - resolução temporal.

As técnicas de geoprocessamento são: cartografia digital, Computer Aided Design (CAD), Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sistema de Informação Geográfica (SIG), Análise Espacial (Geoestatística) e Fotogrametria Digital.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) / Geographic Information System (GIS), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA E DAVIS, 2001).

### **3.3.2 DEFINIÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

Sendo o geoprocessamento definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, as atividades que o envolvem são executadas por sistemas específicos para cada aplicação. Esses sistemas são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O desenvolvimento dos SIGs se deu pela necessidade de gerenciar ambientes urbanos e de explorar de forma sustentável os recursos naturais disponíveis e pela associação de diversas áreas tecnológicas. Dentre essas áreas tecnológicas destacam-se a Cartografia Assistida por Computador e o Sensoriamento Remoto (RÖHM, 2005).

Segundo Davis e Câmara (2001), o termo Sistema de Informações Geográficas é aplicado para sistemas que: (1) realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também por meio de sua localização espacial; e (2) oferecem ao administrador (urbanista,

planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum, ou seja, a localização geográfica.

Para que isso seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

São inúmeras as definições que se pode encontrar para SIG, sendo que uma das definições mais clássicas é dada por Burrough (1987) citado por Melo, Silva e Meneguette (2003), segundo a qual um SIG constitui um poderoso conjunto de instrumentos para coleta, armazenamento, recuperação e posterior transformação e exibição dos dados espaciais a partir do mundo real para um conjunto particular de objetivos.

De acordo com Câmara et al. (1996), os componentes de um SIG são:

- Interface com o usuário - definirá como o sistema será operado e controlado;
- Entrada, integração, visualização e impressão dos dados - permitirão o processamento dos dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída); e
- Armazenamento e recuperação dos dados - sistema mais interno onde os dados são gerenciados, oferecendo recursos de armazenamento e recuperação de dados espaciais e seus atributos.

Um SIG pode ser visto como um ciclo de três fases distintas e interligadas (CÂMARA ET AL., 1996):

- Modelagem do mundo real - modelagem dos processos e dos dados, consistindo em selecionar fenômenos e entidade de interesse.
- Criação do banco de dados geográficos - local de armazenamento da informação coletada empiricamente sobre os fenômenos do mundo real, sendo a mesma dividida nas fases de: coleta de dados, correção dos dados coletados e georreferenciamento dos dados por meio da associação da informação geográfica.
- Operação - se refere ao uso do SIG e ao desenvolvimento de aplicações específicas do usuário.

Câmara e Medeiros (1998) afirmam que a informação geográfica apresenta uma natureza dual: um dado geográfico com uma localização geográfica expressa como coordenadas em um espaço geográfico e atributos descritivos que podem ser representados num banco de dados convencional.

De acordo com os autores, o espaço geográfico pode ser definido como um conjunto de localizações na superfície terrestre onde ocorrem os fenômenos geográficos. Por sua vez, informação espacial descreve as propriedades dos objetos, incluindo a sua localização relativa no espaço e sua relação com outros objetos.

Devido a sua ampla gama de aplicações, há pelo menos três grandes maneiras de se utilizar um SIG (DAVIS E CÂMARA, 2001): como ferramenta para produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos, e como um banco de dados geográficos com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

O banco de dados de um sistema de informações geográficas é composto por dois tipos básicos de dados segundo Röhm (2005): os gráficos, também denominados de espaciais; e os não gráficos, também denominados de não espaciais ou descritivos, que representam as características da superfície de um terreno.

Davis e Câmara (2001) indicam as principais características de um SIG como sendo: inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; e oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e imprimir o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Em geral, qualquer SIG é capaz de (DAVIS E CÂMARA, 2001):

- Representar graficamente informações de natureza espacial, associando aos gráficos, informações alfanuméricas tradicionais. Representar informações gráficas sob a forma de vetores (pontos, linhas e polígonos) e/ou imagens digitais (matrizes de pixels);
- Recuperar informações com base em critérios alfanuméricos, à semelhança de um sistema de gerenciamento de bancos de dados tradicionais, e com base em relações espaciais topológicas, tais como continência, adjacência e interceptação;

- Realizar operações de aritmética de polígonos, tais como união, interseção e diferença. Gerar polígonos paralelos (buffers) ao redor de elementos ponto, linha e polígono;
- Limitar o acesso e controlar a entrada de dados por meio de um modelo de dados, previamente construído;
- Oferecer recursos para a visualização dos dados geográficos na tela do computador, utilizando para isso uma variedade de cores;
- Interagir com o usuário por meio de uma interface amigável, geralmente gráfica;
- Recuperar de forma ágil as informações geográficas, com o uso de algoritmos de indexação espacial;
- Possibilitar a importação e exportação de dados de/para outros sistemas semelhantes, ou para outros softwares gráficos;
- Oferecer recursos para a entrada e manutenção de dados, utilizando equipamentos como mouse, mesa digitalizadora e scanner;
- Oferecer recursos para a composição de saídas e geração de resultados sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, para uma variedade de dispositivos, como impressoras e plotters; e
- Oferecer recursos para o desenvolvimento de aplicativos específicos, de acordo com as necessidades do usuário, utilizando para isso alguma linguagem de programação, inclusive possibilitando a customização da interface do SIG com o usuário.

Os autores afirmam que ao contrário de sistemas de banco de dados convencionais, o SIG é capaz de armazenar informações variadas, de natureza gráfica, como vetores e imagens, de modo a permitir que o usuário possa incorporar dados ao SIG e visualizar graficamente tais dados.

Segundo Intergraph Mapping and Geospatial Solutions (2007), em um SIG podem estar contidos os seguintes tipos de informações:

- Textual - relatórios, dados de tabelas e fluxo de dados;

- Arquivos de imagens - fotografias aéreas, imagens escaneadas, e fotografias;
- CAD - Computer Aided Design (vetor) – desenhos contendo, por exemplo, plantas, esquemas e diagramas;
- GIS - Geographic Information System – mapas em escalas e orientações apropriadas, e apoio para projeções múltiplas. Feições de mapas que também incluem dados não gráficos, ou seja, atributos;
- Outros documentos – automatização de escritório: apresentações, planilhas eletrônicas, páginas da web, e assim sucessivamente.

Maguire et al. (1993) citados por Röhm (2005) classificam as aplicações de sistemas de informações geográficas em:

- Aplicações sócio-econômicas - as mais comuns são: (1) uso da terra, que incluem cadastros rurais, agroindústria e irrigação; (2) ocupação antrópica, composta por cadastros urbanos, cadastros regionais, sistemas de serviços de utilidade pública; e (3) atividades econômicas, que envolvem marketing e indústrias. As fontes mais comuns dos dados usados em aplicações sócio-econômicas são os censos, mapas e as aerofotos.
- Aplicações ambientais - podem variar em escala desde local até global e incluem dois aspectos principais: (1) meio ambiente, tratando da ecologia, clima, gerenciamento florestal e poluição; e (2) uso de recursos naturais, que trata do extrativismo vegetal, extrativismo mineral, energia, recursos hídricos e oceânicos. Os dados usados em aplicações ambientais são provenientes de sensoriamento remoto, tais como imagens de satélites ou de radar, comparadas com amostras de campo.
- Aplicações de gerenciamento - o uso de sistemas de informações geográficas tem crescido sensivelmente nas administrações municipais, regionais e nacionais, com a finalidade de dar apoio a processos de decisão, quando se necessita definir novas políticas de planejamento ou no monitoramento dos efeitos de decisões adotadas.

As aplicações urbanas são muito variadas, incluindo roteamento de transportes coletivos e de coleta de lixo, definições de áreas de risco, identificação de áreas de expansão e outros. Na área rural os sistemas de informações geográficas têm sido usados para o gerenciamento de recursos agrícolas, monitoramento de safras, escoamento de safras, definição da aptidão das terras, dentre outros.

### 3.3.3 SPRING

A motivação básica para o desenvolvimento do Spring baseia-se em duas premissas: integração de dados e facilidade de uso. No primeiro caso, foi constatado que a complexidade dos problemas ambientais do Brasil requer uma forte capacidade de integração de dados entre imagens de satélite, mapas temáticos e cadastrais, e modelos numéricos de terreno. Adicionalmente, muitos dos sistemas disponíveis no mercado nacional apresentam alta complexidade de uso e demandam tempo de aprendizado muito longo.

Sendo o Spring um sistema de Geoprocessamento, pode-se defini-lo segundo Spring (1996), como um conjunto de ferramentas voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais, além da geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, e outros, devendo prover recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise de dados.

As principais características em que o Spring está incluído são (SPRING, 1996):

- Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, além de ferramentas para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

É no programa “Spring” que o usuário inicia a modelagem de seus dados e também a manipulação dos mesmos num banco de dados por meio de um conjunto de funções.

Para operar sobre um mapa qualquer, seja um mapa de solos, altimetria ou imagens, é necessário anteriormente definir o esquema conceitual em que esse mapa estará inserido.

Definir um esquema conceitual no Spring significa definir um Banco, um Projeto, as Categorias e os Planos de Informações adequadamente. De acordo com Spring (1996), segue uma breve descrição a seguir.

## **Banco de Dados**

Um banco no Spring define um ambiente para armazenar dados geográficos, sem estar vinculado a uma área específica (semelhante a um sistema de arquivos convencional – um depósito de dados). O usuário pode definir vários bancos, mas somente um pode estar ativo em uma sessão de trabalho. O banco de dados armazena todas as definições de categorias de dados, que armazenarão aos diversos tipos de mapas, e que por sua vez são constituídas das entidades básicas geo-objetos e geo-campos.

Um banco pode conter um ou mais projetos, o que permite organizar os dados por área geográfica. Fisicamente esse banco corresponde a um diretório (pasta) no sistema de arquivos do computador. Por exemplo, um banco chamado “Amazônia”, poderia estar em: C:\springdb\Amazonia.

## **Projeto**

Um Projeto dentro de um banco permite especificar exatamente o espaço geográfico da área de trabalho, e é onde serão inseridos os diversos mapas (Planos de Informações) dessa área (semelhante a uma gaveta de sistema de arquivos convencional – cada gaveta contém dados de uma determinada área). Cada Projeto possui ainda propriedades cartográficas (Projeção, Datum, etc.) pré-definidas pelo usuário, que são herdadas pelas informações contidas nesse projeto.

As Categorias (veja a seguir) de um Banco de Dados estão disponíveis para qualquer Projeto dentro desse banco.

Somente um Projeto pode estar ativo em uma sessão de trabalho.

Fisicamente um projeto corresponde a um sub-diretório (pasta) no sistema de arquivos do computador, debaixo do diretório de um banco. Por exemplo, um projeto chamado “Manaus”, do banco “Amazônia”, poderia estar em: C:\springdb\Amazonia\Manaus.

## **Categoria**

Um banco pode conter várias categorias. Essas categorias permitem organizar os dados em tipos/modelos diferentes (semelhante às fichas de uma gaveta de sistema de arquivos convencional, organizadas por letras – cada letra representa um tipo de dado de uma determinada área). Os tipos de categorias disponíveis são: Temático, Imagem, Numérico, Cadastral, Redes e Objetos, podendo-se definir uma ou mais do mesmo modelo, mas com

nomes distintos para diferenciar a aplicação. Por exemplo, uma categoria para Solos e outra para Vegetação, sendo ambas do modelo Temático.

A categoria do modelo Temático pode ser especializada em Classes Temáticas, por exemplo, as classes de um mapa de Solos, sendo associado a cada classe um visual gráfico diferente. Os dados desse modelo podem ser representados na forma matricial ou vetorial.

A categoria Imagem permite armazenar qualquer imagem obtida por sensores remotos (fotos aéreas ou orbitais) ou ainda imagens de modelos numéricos. Somente a representação matricial é possível nesse modelo.

A categoria Numérico é utilizada para armazenamento de modelos numéricos de terreno (dados de altimetria, geofísica, geoquímica etc.), que podem ser representados na forma matricial ou vetorial.

As categorias Cadastral e Redes permitem especializar objetos. Os objetos de uma categoria do tipo Objeto são únicos e têm atributos em tabelas específicas, podendo estar representados em diversas escalas, em diferentes categorias cadastrais ou de redes. A forma de representação dos objetos é vetorial. A categoria Cadastral é utilizada para representar objetos na forma de pontos, linhas ou polígonos, por exemplo, um mapa cadastral de lotes urbanos. Já a categoria Redes trabalha somente com objetos na forma de nós e linhas, por exemplo, um mapa de redes de eletrificação.

### **Plano de Informação**

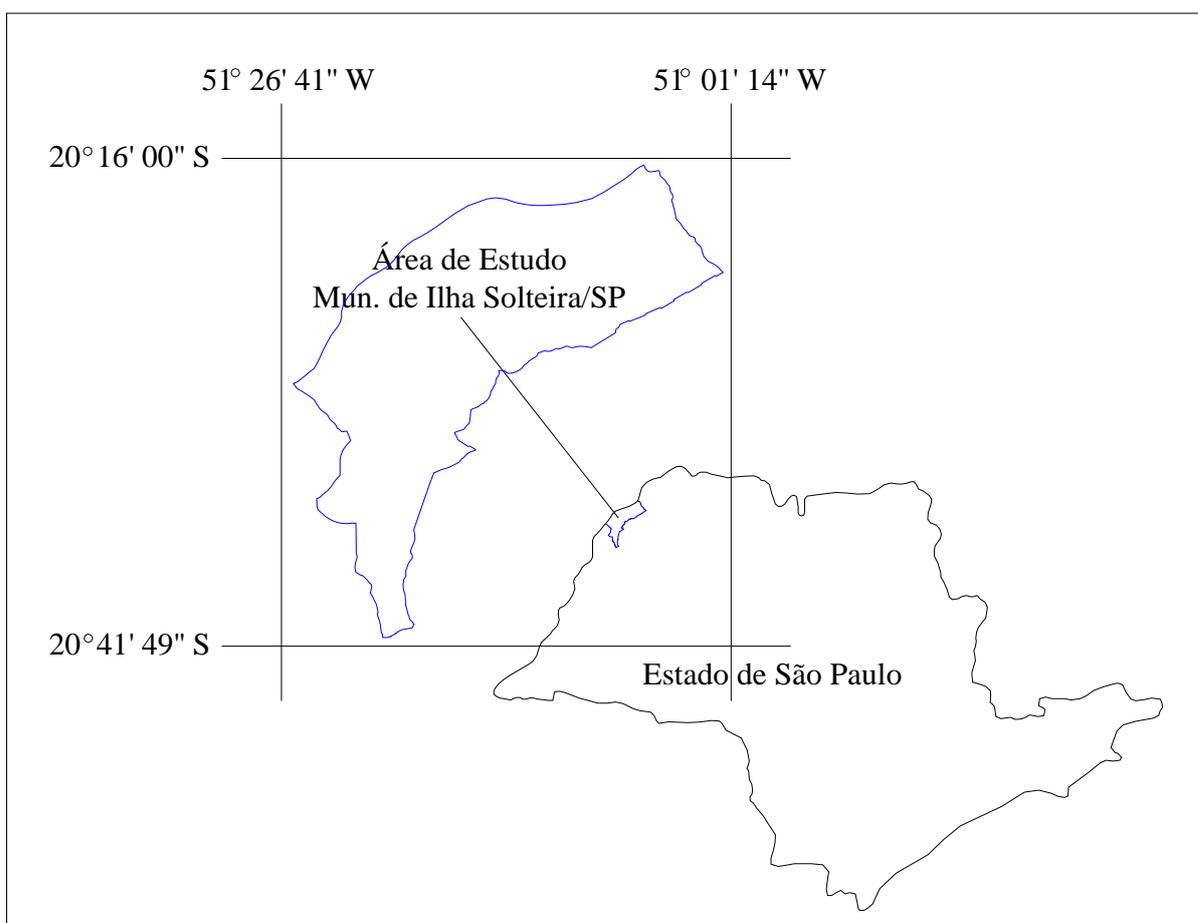
Um Plano de Informação (PI) deve pertencer a uma única Categoria do banco, entretanto podem existir vários Planos de Informações de uma mesma Categoria em um banco. Por exemplo, dois PI's de datas diferentes de uso da Terra, porém da mesma Categoria temática.

Apenas um PI deve estar ativo para que se execute qualquer operação sobre o mesmo. Fisicamente um PI corresponde a um arquivo no sistema de arquivos do computador, no subdiretório do projeto e diretório de um banco. Por exemplo, um PI de "Rios" (V000017.lin – nome do arquivo fornecido pelo sistema) do projeto chamado "Manaus", do banco "Amazônia", poderia estar em: C:\springdb\Amazonia\Manaus\V000017.lin.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 LOCALIZAÇÃO

O município de Ilha Solteira localiza-se na região noroeste do Estado de São Paulo, entre os meridianos  $51^{\circ}00'$  e  $51^{\circ}30'W$  e os paralelos  $20^{\circ}15'$  e  $20^{\circ}45'S$ , abrangendo uma área de cerca de  $640 \text{ km}^2$ . Sua localização no Estado de São Paulo pode ser observada na Figura 1.



**FIGURA 1:** LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ILHA SOLTEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Fonte: Modificado de Porto (2001).

### 4.2 HISTÓRICO DO MUNICÍPIO

As informações a respeito do histórico do município de Ilha Solteira foram obtidas a partir da Companhia Energética de São Paulo - CESP (1988), no fascículo Ilha Solteira - A Cidade e a Usina.

No período anterior à construção da Usina de Ilha Solteira observou-se que a região próxima a ela apresentava uma rede urbana desfavorável com cidades muito distantes entre si. Então, decidiu-se pela edificação de um núcleo urbano com o objetivo de alojar os trabalhadores que atuavam na construção da usina.

Esse núcleo teve sua construção iniciada em 1967 e sua ocupação iniciou-se em 1968, tendo atingido em 1971 sua população máxima estimada em aproximadamente 32.000 habitantes. Em 1973, sua população era cerca de 26.000 habitantes, devido ao decréscimo provocado pelo término da obra principal.

O desenvolvimento das atividades comerciais e agropecuárias aliado à fundação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista criou condições para que a cidade crescesse e se desenvolvesse de forma a se tornar um núcleo urbano definitivo. Tal foi este crescimento que no ano de 1991 a cidade emancipou-se do município de Pereira Barreto vindo a constituir o atual município de Ilha Solteira.

A Prefeitura Municipal preocupou-se então em expandir as fronteiras da área urbana criando novos projetos habitacionais na forma de loteamentos no entorno da área. Esses loteamentos tiveram como principais finalidades a construção de habitações para população de baixa renda, o Jardim Aeroporto e o Jardim Novo Horizonte; e explorar o potencial turístico do entorno do lago do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira com o Recanto das Águas.

Atualmente projetos de parcelamento do solo se encontram em fase de implantação na área de expansão urbana do município - Bairros Nova Ilha e Ilha Bela - e outros dois projetos de parcelamento do solo se encontram em fase de licenciamento ambiental.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2007), a população em 01/07/2006 era em torno de 25.700 habitantes e a área da unidade territorial era de aproximadamente 660 km<sup>2</sup> nesse ano.

### **4.3 CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO**

#### **4.3.1 Clima, umidade relativa do ar, precipitação e temperatura**

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo tropical e muito úmido até sub-tropical sub-úmido, Aw até Cwa, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (CINDIRU, 1995).

Ainda conforme o Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento da Irrigação na região de Urubupungá - CINDIRU (1995), o regime climático é controlado por quatro massas de ar: massa equatorial continental quente, massa tropical continental quente e seca, massa tropical atlântica e massa de ar polar.

A umidade relativa do ar é alta, atingindo porcentagem acima de 60% nos meses de janeiro e março.

No ano de 2005, de acordo com dados obtidos a partir da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), com relação à umidade relativa do ar média, a mínima em agosto foi de 26,2% e a máxima foi em janeiro e de 95,1%; a média anual em 2.005 foi de 66,5%.

A precipitação pluviométrica varia entre 1.100 e 1.300 mm anuais diminuindo para oeste. A estação seca ocorre entre os meses de maio e setembro/outubro com 300 mm. A região é caracterizada por marcante contraste entre fortes chuvas de verão e fracas no inverno. A estação seca prolongada constitui um dos fatores limitantes aos cultivos nesta região (CINDIRU, 1995).

Quanto à pluviosidade média para o ano de 2005, o mês mais chuvoso foi dezembro, com 300 mm e o mais seco foi agosto, com 3,8 mm; durante esse ano todo choveu 1.065 mm (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2007).

O mês quente é o de janeiro, com temperatura média de 24° a 25°C e média máxima de 30° – 32°C. O mês mais frio é julho com temperaturas médias de 18° a 20°C e médias mínimas de 11° a 14°C (CINDIRU, 1995).

Segundo a Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), para o ano de 2005, a temperatura mínima no mês de julho foi de 14,6 °C, a temperatura máxima foi de 33,5 °C, e a media anual foi de 24,9 °C.

### 4.3.2 Vegetação

A vegetação original da área era composta por floresta latifoliada tropical semidecídua e cerrado/cerradão (CINDIRU, 1995). Com o avanço da fronteira agropecuária na região essa cobertura vegetal foi praticamente toda retirada para dar lugar a atividades agrícolas e, principalmente, à pecuária.

### 4.3.3 Substrato rochoso, solo e relevo

As informações a respeito do substrato rochoso foram obtidas do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (1981).

A área estudada apresenta um substrato rochoso bastante simples composto por litótipos das Formações Serra Geral do Grupo São Bento e Santo Anastácio do Grupo Bauru, ambas incluídas no contexto da Bacia do Paraná.

A Formação Serra Geral é composta por basaltos toleíticos podendo ser subdividida, na região, em dois domínios: basalto vesicular – porção superior da formação com espessuras inferiores à 20 m em geral, e basalto compacto – porção inferior com espessuras de até 300 m. Esse tipo de formação também é encontrado junto aos fundos de vale mais aprofundados. Nas planícies fluviais encontram-se os depósitos aluviais, areias e argilas, e conglomerados na base.

Sobreposta à Formação Serra Geral encontra-se a Formação Santo Anastácio, com rochas sedimentares do Grupo Bauru, que ocorre em áreas que acompanham as cotas mais baixas dos vales dos rios afluentes do Paraná. Essa formação é constituída por arenitos de granulação de fina a média, predominantemente fina, com pouca matriz e maciços, e de cor vermelho escuro.

Os tipos de solos presentes no município são (CINDIRU, 1995):

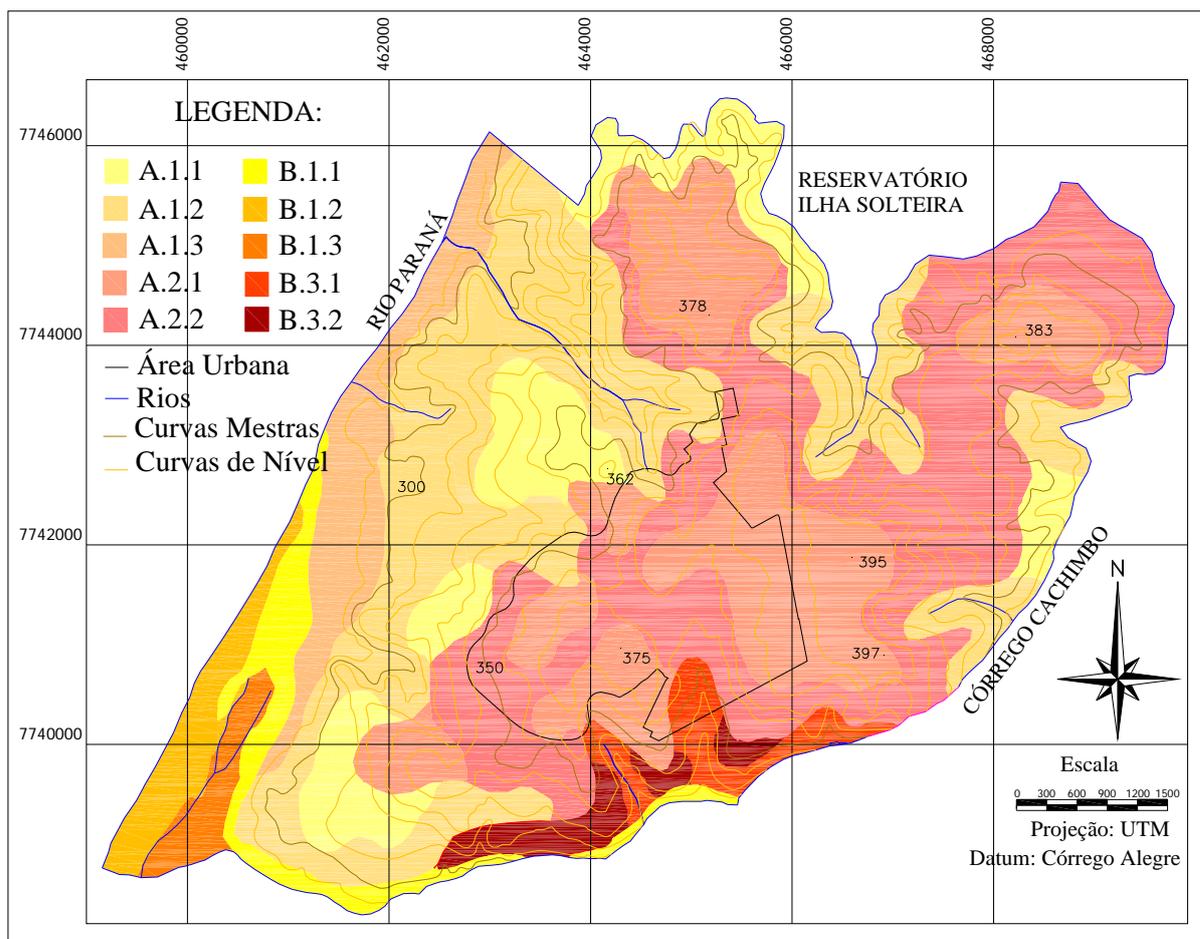
- Latossolo vermelho escuro (LE) - baixa fertilidade natural, geralmente ácido, forte propensão à erosão e alta permeabilidade. É o tipo de solo predominante no município abrangendo uma área de aproximadamente 370 km<sup>2</sup> e foi em grande parte inundado pela Represa de Ilha Solteira. Localiza-se sobre rochas areníticas e a maior parte se encontra em áreas de declividade entre 2% e 5%.

- Latossolo roxo (LR) - fertilidade natural alta, fraca propensão aos processos erosivos, pouco permeável e profundo. Localiza-se sobre os basaltos que apresentam pequenas exposições junto aos fundos de vale mais aprofundados e a maior parte situa-se em áreas com declividade entre 2% e 5%.
- Solos hidromórficos (Hi) - fertilidade natural média ou alta, presença constante de água e possibilidade de inundações. Estão intimamente relacionados às condições da rede hidrográfica, ocupando as planícies de inundação dos principais escoadouros e seus tributários, a maior parte ocupando terrenos com declividade entre 0% e 2%. Foram em grande parte inundados pela Represa de Ilha Solteira.
- Solos Podzólico Lins (LP) e Podzólico Marília (LM) - boa fertilidade, mas com altos riscos de erosão devido à textura dos horizontes superficiais e condições topográficas associadas. Constituem-se em solos com alto potencial agrícola, mas que requerem uso e manejo que garantam a conservação do solo, impedindo a sua degradação pela erosão ou empobrecimento. São originados a partir das rochas areníticas do Grupo Bauru e não apresentaram porções significativas de áreas inundadas.

Quanto ao relevo da região, Lollo (1998) utilizando fotografias aéreas da área do município na escala 1:20.000, identificou dois sistemas de terreno denominados A e B. O sistema A é composto pelas unidades de terreno A.1 e A.2 e o B é composto por três unidades de terreno: B.1, B.2 e B.3. Dentre as cinco unidades identificadas, a B.2 não ocorre no município.

Na área de expansão urbana o levantamento foi detalhado até o nível elemento de terreno proporcionando um total de dez elementos de terreno sendo três deles pertencentes à unidade A.1 (A.1.1, A.1.2 e A.1.3), dois pertencentes a unidade A.2 (A.2.1 e A.2.2), três pertencentes à unidade B.1 (B.1.1, B.1.2 e B.1.3), e dois pertencentes à unidade B.3 (B.3.1 e B.3.2).

A Figura 2 apresenta a distribuição das formas de relevo na área urbana e de expansão urbana do município de Ilha Solteira.



**FIGURA 2:** MAPA DAS FORMAS DE RELEVO DA ÁREA URBANA E DE EXPANSÃO URBANA DO MUNICÍPIO DE ILHA SOLTEIRA

Fonte: Modificado de Lollo (1998).

A seguir, encontram-se descritas as formas de relevo encontradas na área de expansão urbana, segundo Lollo (1998).

Sistema A: colinas médias suaves onduladas com encostas convexas e média frequência de canais associadas a vales pequenos e profundos com encostas convexas, com alta frequência de canais e presença de ravinas. As formas presentes nesse sistema e os trabalhos de campo efetuados permitem afirmar que o substrato rochoso do mesmo é composto pelos arenitos do Grupo Bauru.

Unidade A.1: vales pequenos profundos com encostas convexas, evidências de processos erosivos na porção inferior das encostas, frequência de canais média a alta e presença de ravinas. Materiais inconsolidados arenosos finos homogêneos pouco espessos (espessuras raramente superiores a 5 m).

Elemento A.1.1: porção superior das encostas, formas convexas pouco íngremes, ausência de ravinas e média frequência de canais, perfis de alteração mais espessos (chegando a atingir espessuras de até 7 m).

Elemento A.1.2: porção inferior das encostas, formas retilíneas evoluindo para côncavas, bastante íngremes, alta frequência de canais e intenso ravinamento. Os materiais inconsolidados são pouco espessos (espessuras variando entre 2 e 5 m).

Elemento A.1.3: fundo dos vales, forma retilínea, alta frequência de canais com coalescência de pequenos vales, com arrasamento das encostas e formas planas. Os perfis de materiais inconsolidados são bastante rasos (< 2 m) chegando-se mesmo a ter exposição do substrato rochoso em alguns locais.

Unidade A.2: colinas médias suaves onduladas com encostas convexas com média frequência de canais. As formas mais suaves sugeriam presença de perfis de alteração de solos bem desenvolvidos e bastante espessos o que foi confirmado nos trabalhos de campo ao se verificar a presença de perfis de alteração com grandes espessuras (muitas vezes superiores a 20 m) de solos arenosos finos homogêneos.

Elemento A.2.1: metade superior e topo das colinas, formas convexas e topo relativamente aplainado, baixa frequência de canais. Perfis de materiais inconsolidados arenosos fofos com espessuras comumente superiores a 20 m.

Elemento A.2.2: porção inferior das colinas, formas convexas e com média frequência de canais. Materiais inconsolidados com perfis menos espessos (espessuras raramente superiores a 10 m).

Sistema B: vales amplos e médios, pouco profundos com encostas retilíneas a côncavas, e frequência de canais alta a média.

Unidade B.1: vales amplos com encostas côncavas, alta frequência de canais, encostas abruptas suavizando-se em direção à drenagem, extensos depósitos aluviais na base. Localmente tem-se a presença de terraços aluviais na porção mais alta (terço superior) apresentando pequenas porções convexas. Os depósitos aluviais são pouco espessos, porém os terraços apresentam espessuras de até 10 m.

Elemento B.1.1: planícies aluviais recentes e depósitos aluviais em canais abandonados. Os materiais inconsolidados compreendem depósitos aluviais arenosos finos pouco espessos (no máximo 5 m de espessura) com lentes de argila decimétricas.

Elemento B.1.2: terraços aluviais em porções superiores de encostas (perfil convexo). Os perfis de materiais inconsolidados são homogêneos e bastante espessos (até 10m de espessura) apresentando depósitos arenosos finos.

Elemento B.1.3: vales amplos bastante dissecados com encostas côncavas, alta frequência de canais. Este elemento apresenta perfis de materiais inconsolidados bastante rasos (espessuras inferiores a 2 m) fruto de processos erosivos.

Unidade B.3: vales médios com encostas côncavas a retilíneas, média frequência de canais, sem evidência de depósitos aluviais, e espessuras médias de perfis de alteração de solos (5 a 10 m). Os materiais inconsolidados presentes são francamente argilosos e bem estruturados.

Elemento B.3.1: metade inferior das encostas, formas côncavas íngremes tendendo a retilíneas. Perfis de materiais inconsolidados menos espessos (espessuras geralmente em torno de 5 a 6 m).

Elemento B.3.2: metade superior das encostas, formas convexas tendendo a côncavas pouco íngremes. Porções mais suaves da encosta com perfis de alteração de solos argilosos homogêneos bem desenvolvidos (chegando a atingir 10 m de espessura).

#### **4.3.4 Principais cursos d'água e aquífero da região**

Os principais cursos d'água presentes na região são: rio Paraná, rio São José dos Dourados e rio Tietê.

O aquífero mais utilizado como manancial subterrâneo na região é o Aquífero Bauru-Caiuá, tal aquífero é poroso, livre a semiconfinado (BORGHETTI, BORGHETTI E ROSA FILHO, 2004).

#### **4.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

De acordo com o Plano Diretor do Município de Ilha Solteira, elaborado pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), a cidade foi planejada para ter quatro zonas de especialidade: a residencial, localizada nos passeios; a de comércio e serviços, ao longo da Avenida Brasil e entre as alamedas Rio de Janeiro, Bahia, Mato Grosso e Goiás; a industrial, ao longo da rodovia; e a zona especial de proteção ambiental e produção agro-ecológica do cinturão verde.

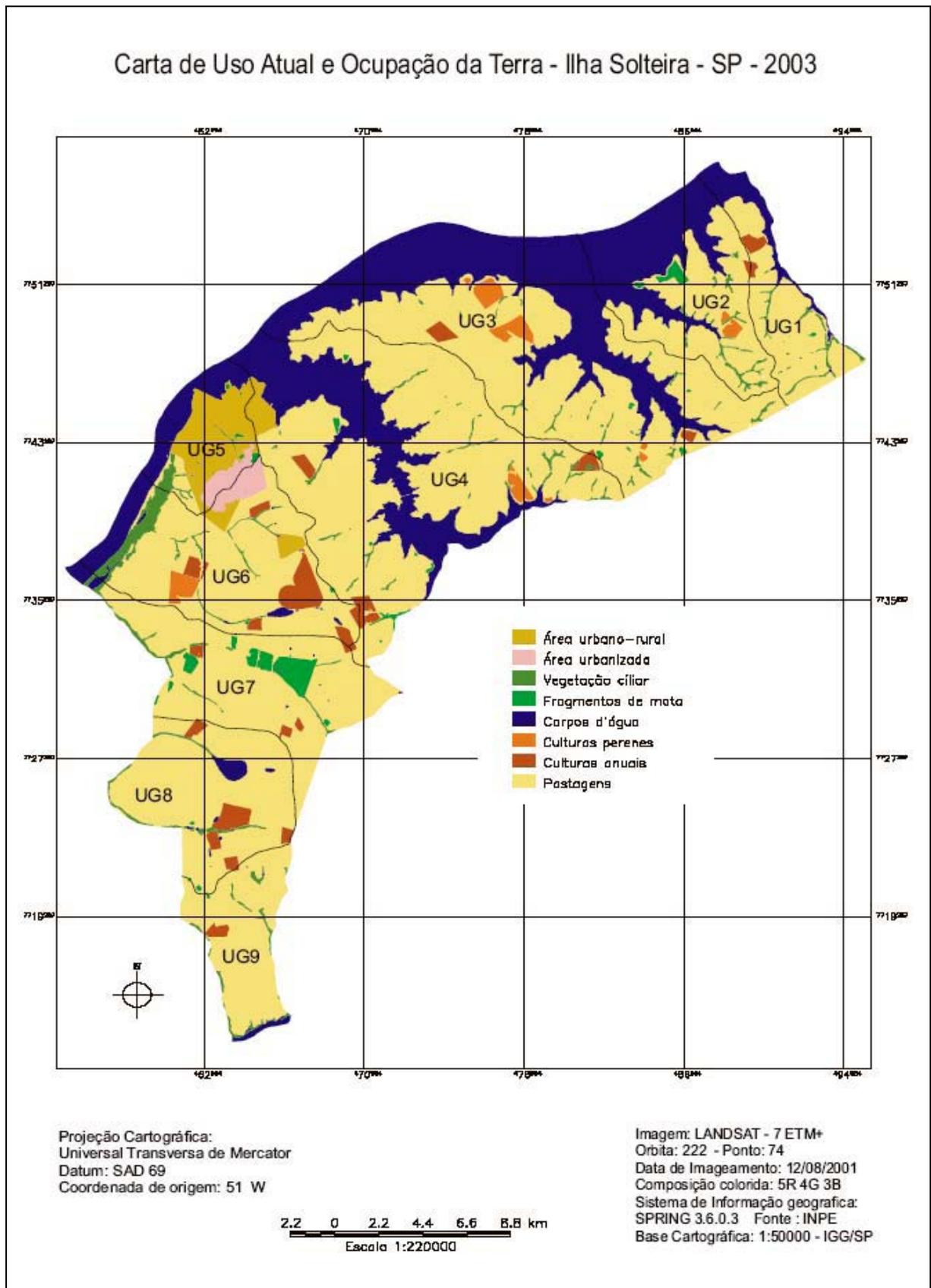
A distribuição dos principais tipos de uso e ocupação do solo no município mostra um forte predomínio da pecuária sobre os demais tipos de ocupação. Descontadas as áreas de inundação de reservatórios das usinas hidrelétricas verifica-se que a atividade pecuária representa aproximadamente 87% de toda a ocupação, enquanto a ocupação agrícola representa cerca de 7% sendo que a maior parte desse tipo de atividade se concentra nas proximidades da área urbana na área denominada “Cinturão Verde” do município e que o tipo de cultura predominante são as culturas anuais.

Na zona rural, a predominância das lavouras tradicionais de milho, feijão e soja começam a perder importância para a de cana-de-açúcar (vindo a ocupar até mesmo áreas atualmente destinadas às pastagens) devido às usinas sucroalcooleiras já instaladas na região e projetos em andamento para futuras instalações.

As hortifrutigranjeiras são exemplos da pequena produção, que se concentra principalmente nas propriedades do Cinturão Verde e arredores, e estão muito mais vinculadas à dinâmica urbana do que à rural.

O restante da área representa ocupação urbana, área de várzea e alguns pontos com remanescentes de vegetação original, tipo floresta latifoliada tropical semidecídua.

Lima, Silva e Altimare (2004), elaboraram em seu trabalho uma Carta de Uso Atual e Ocupação da Terra do Município de Ilha Solteira (Figura 3), na qual podem ser identificadas várias classes temáticas.



**FIGURA 3: CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE ILHA SOLTEIRA**  
 Fonte: Lima, Silva e Altimare (2004).

#### **4.5 ECONOMIA**

Segundo Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), com a elevação à categoria de município, as atividades produtivas tornaram-se mais complexas, e a ampliação da atividade econômica baseada no pequeno empreendimento, transformou a cidade e produziu seus primeiros impactos no zoneamento observados especialmente nas áreas que tangenciam a Avenida Brasil e as alamedas onde o comércio de vizinhança se instalou e criou vínculos marcantes com o espaço circundante.

Em seguida foi no interior das quadras de moradia que surgiram os estabelecimentos de comércio e serviços. Esses movimentos provocaram a mudança da função dos imóveis das quadras residenciais e a ampliação dos impactos de vizinhança.

Os setores econômicos de maior evidência no município são os de turismo, geração de energia elétrica, pecuária, e agricultura, destacando-se o cultivo da cana-de-açúcar (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2007).

É importante observar também que por se tratar de uma cidade universitária, grande parte do capital movimentado na cidade se deve à presença dos estudantes.

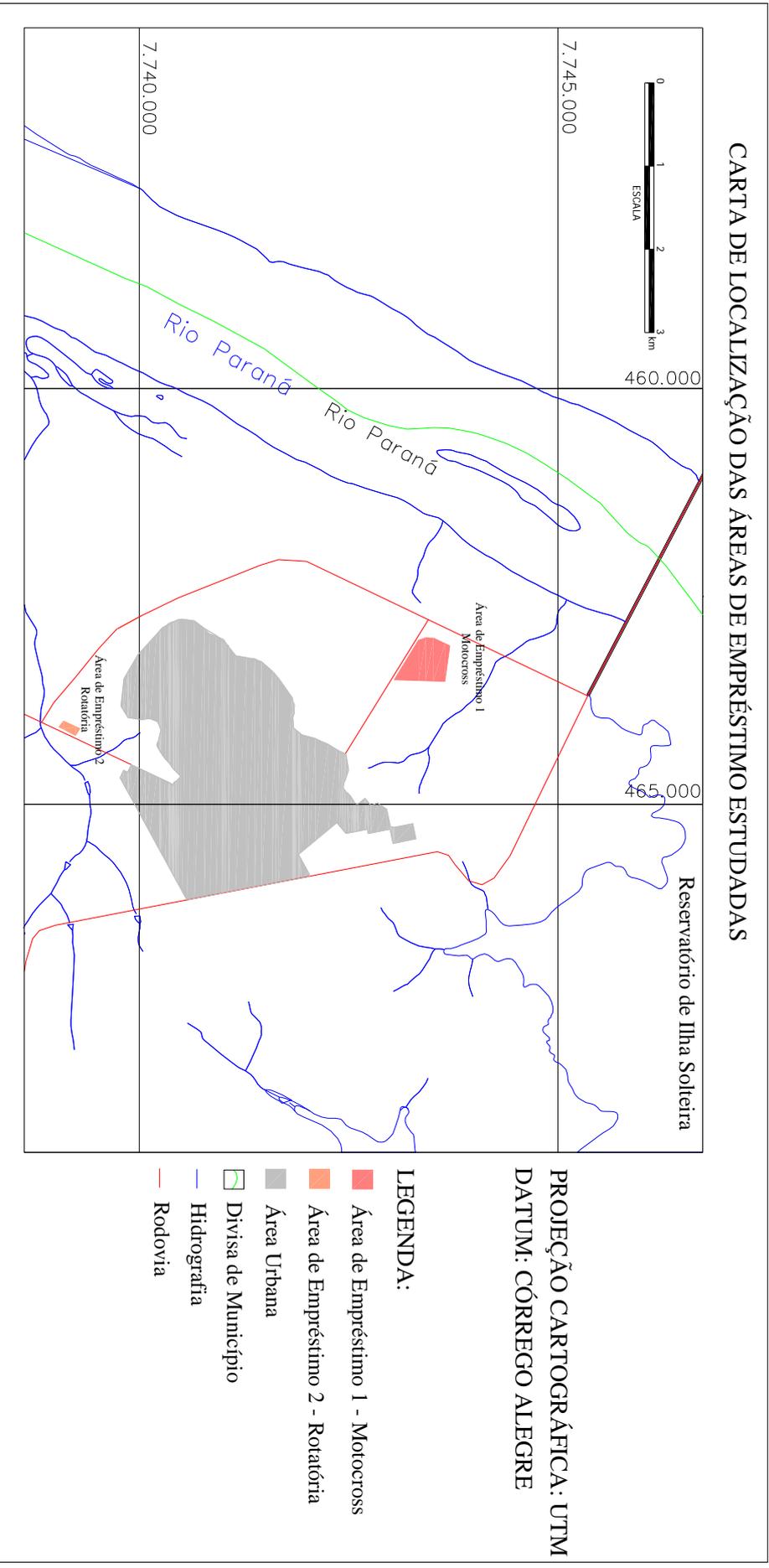
#### **4.6 ÁREAS DE EMPRÉSTIMO**

As áreas foram escolhidas por estarem situadas na área de expansão urbana do município e receberam, neste trabalho, as designações Área Empréstimo 1 - Motocross e Área de Empréstimo 2 – Rotatória, em função do local onde se situam na área de expansão urbana do município.

Segundo Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), as duas áreas de empréstimo de solo a serem analisadas e posteriormente avaliadas quanto à magnitude de sua degradação são áreas públicas pertencentes à Prefeitura Municipal de Ilha Solteira. A Área de Empréstimo 2 possui parte do terreno concedido pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira.

A exploração do solo de tais áreas foi feita por meio de escavação mecânica para obras auxiliares à construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, como por exemplo, aterros para pavimentação.

As duas áreas de empréstimo em questão estão apresentadas na Figura 4 e na Foto1.



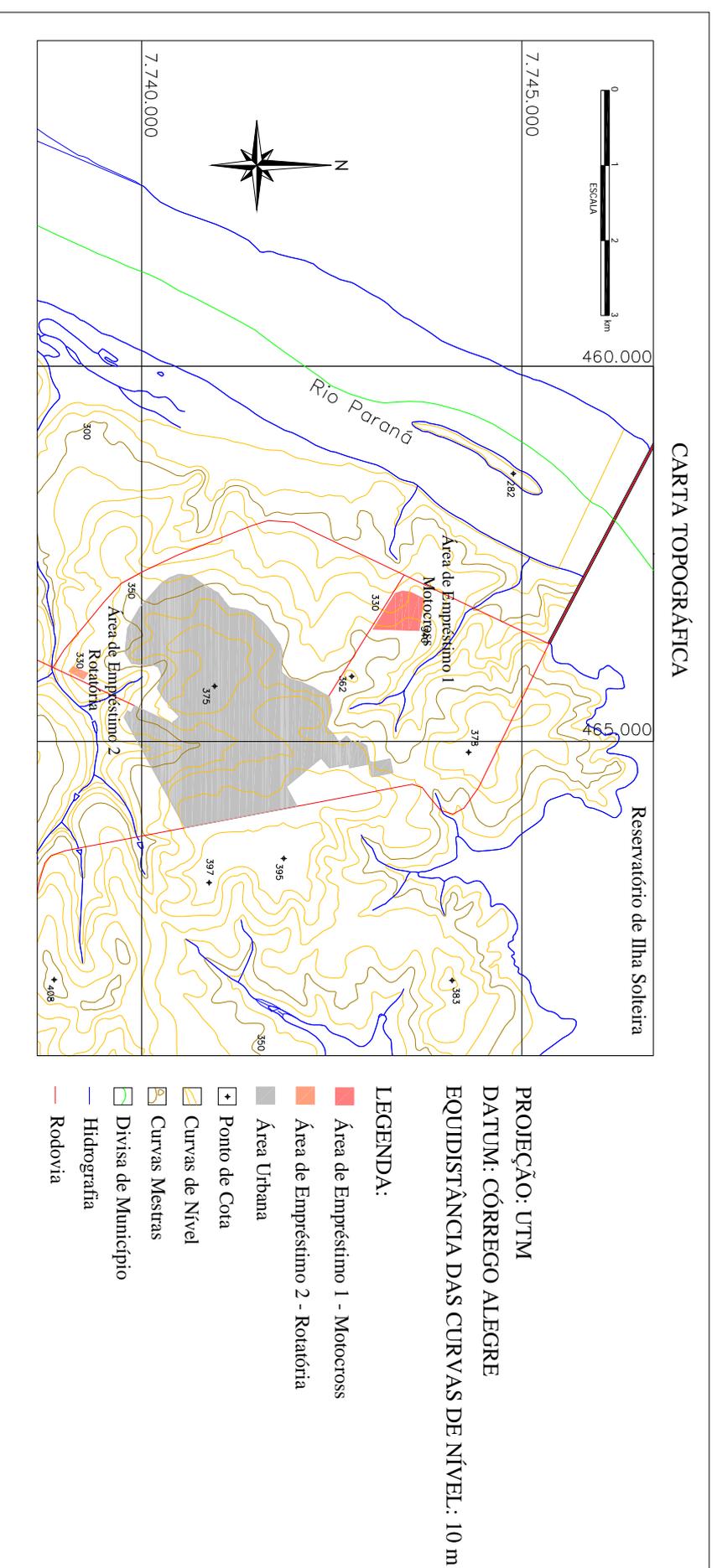
**FIGURA 4:** LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO 1 E 2



**FOTO 1:** ÁREAS DE EMPRÉSTIMO 1 – MOTOCROSS E ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 – ROTATÓRIA, DELIMITADAS EM VERMELHO

Fonte: Google Earth (2008).

A Figura 5 apresenta uma carta topográfica da região apresentada na Figura 4.



**FIGURA 5: CARTA TOPOGRÁFICA DA REGIÃO ONDE ESTÃO INSERIDAS AS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO EM ESTUDO**

Uma vista aérea da Área de Empréstimo 1 – Motocross encontra-se apresentada na Foto 2.



**FOTO 2: IMAGEM IKONOS DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 (MOTOCROSS)**

Fonte: Google Earth (2007).

A seguir encontram-se algumas fotos referentes às várias vistas gerais da Área de Empréstimo 1 – Motocross com alguns detalhes de observação importante.



**FOTO 3: VISTA GERAL DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 – MOTOCROSS**

Fonte: Arquivo pessoal.



**FOTO 4: VISTA GERAL DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 - MOTOCROSS, MOSTRANDO O TALUDE DE CORTE, COM APROXIMADAMENTE 7 m**

Fonte: Arquivo pessoal.



**FOTO 5:** OUTRA VISTA ONDE PODE SER OBSERVADA A PRESENÇA DE CASCALHO  
Fonte: Arquivo pessoal.



**FOTO 6:** ALGUNS DOS TESTEMUNHOS PRESENTES NA ÁREA  
Fonte: Arquivo pessoal.

O solo retirado da Área de Empréstimo 1 - Motocross provavelmente foi utilizado na construção da enseadeira devido à proximidade do rio e o tamanho da área, segundo o Sr. João Amaral ex-funcionário da CESP. Tal área não se encontra em uso e possui uma pista de motocross desativada.

É importante observar que no entorno da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, as áreas de empréstimo podem ser consideradas áreas degradadas, pois delas foram retirados os horizontes superficiais do solo. Essas áreas apresentam intensos sinais de degradação que, apesar de não sofrerem intervenções há 30 anos, apresentam insignificante regeneração natural, mesmo estando dentro do bioma cerrado que apresenta no caso de degradação por terraplenagem (cortes) potencial de regeneração natural médio e lento, de acordo com Durigan (1999), citado por Rodrigues et al. (2007).

Uma vista aérea da Área de Empréstimo 2 – Rotatória pode ser observada na Foto 7.



**FOTO 7: IMAGEM IKONOS DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 - ROTATÓRIA**  
Fonte: Google Earth (2007).

Parte da Área de Empréstimo 2 - Rotatória apresenta-se em fase de exploração ainda, compreendendo uma faixa principal de terreno limitada de um lado pela rodovia SP-595 e de outro pela cerca da propriedade rural vizinha. Na extremidade sul da área, essa

faixa se estende paralelamente à via de acesso à Ilha Solteira constituindo uma parcela desprovida de vegetação, como se pode observar na Foto 8.



**FOTO 8:** PORÇÃO DO SOLO A SER RETIRADA DA ÁREA CONCEDIDA E ESCAVADEIRA UTILIZADA

Fonte: Arquivo pessoal.

A Foto 9 apresenta a área concedida interna ao cercado.



**FOTO 9:** ÁREA CONCEDIDA PELA PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, INTERNA AO CERCADO

Fonte: Arquivo pessoal.

A seguir, Foto 10 está apresentado um testemunho presente na área.



**FOTO 10:** TESTEMUNHO DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 - ROTATÓRIA COM CERCA DE 3,5 m EM CORTE

Fonte: Arquivo pessoal.

Uma vista geral da área interna à área cercada (a qual não é explorada atualmente) pode ser observada na Foto 11. Essa área compreende parte do Cinturão Verde do município e tem sido ocupada com atividades agropecuárias.



**FOTO 11:** ÁREA INTERNA AO CERCADO

Fonte: Arquivo pessoal.

## **5 METODOLOGIA/MÉTODO**

### **5.1 BASES E PRINCÍPIOS**

Para que sejam avaliados de forma ágil e eficaz os impactos ocasionados pela utilização do solo em áreas de empréstimo, são necessárias que sejam tomadas algumas medidas básicas:

- Os componentes do ambiente a serem avaliados precisam ser definidos de forma completa para que o processo possa ser entendido como um todo;
- O processo de análise deve ser rápido e confiável de forma a permitir previsões de impactos (quando a área de empréstimo ainda não foi implantada), e avaliações de impactos já existentes e medidas para que a intensidade da degradação não se agrave (caso a área já tenha sido implantada);
- Os resultados finais da análise devem permitir a classificação das áreas para a tomada de decisão quanto a novas intervenções e usos futuros.

Baseado nas medidas acima, o presente projeto previu o uso de geoindicadores como ferramenta para a avaliação das alterações nos componentes físicos do meio ambiente, o uso de SIG para armazenamento e tratamento das informações, e o estabelecimento de um sistema de classificação das áreas de forma a prever intervenções futuras.

Para atender às necessidades descritas, foram desenvolvidas etapas englobando revisão bibliográfica, ambientação e treinamento com SIG, levantamentos de dados a respeito das áreas definidas para estudo, elaboração e definição de uma lista de geoindicadores capazes de representar a real situação de cada área, registro e tratamento das informações em SIG com classificação das áreas e elaboração de proposta metodológica.

#### **5.1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E PERÍODO DE AMBIENTAÇÃO COM O SIG**

Os conhecimentos para o desenvolvimento do presente projeto implicaram em uma revisão bibliográfica que envolvesse os temas: (1) geoindicadores; (2) degradação ambiental e (3) Sistema de Informações Geográficas. Essa revisão foi apresentada no tópico 3 da dissertação.

Fizeram-se necessários um período de ambientação com o SIG Spring 4.3.2 que se pretendia usar no projeto e o aprofundamento de conhecimentos sobre o assunto, considerando-se conceitos em geoprocessamento, arquitetura de sistemas de informações geográficas, modelagem de dados em sistemas de informações geográficas, cartografia, álgebra de mapas e aplicações ambientais em sistemas de informações geográficas.

A ambientação com o SIG Spring foi possibilitada a partir de estudo de apostilas contendo exemplos de uso do mesmo e também com o estudo do tutorial fornecido pelo Inpe, no endereço: <http://www.dpi.inpe.br/spring/>.

### **5.1.2 LEVANTAMENTO DE DADOS**

No tópico 4 foi apresentado e caracterizado o ambiente onde se localizam as áreas de estudo em questão, no caso o município de Ilha Solteira.

Na fase de levantamento de dados a respeito das áreas definidas para estudo foi realizada coleta de informações, permitindo assim, a definição dos geoindicadores que melhor representassem cada área. Foram feitos para tanto levantamentos bibliográficos e de campo.

Os levantamentos bibliográficos corresponderam à busca de informações a respeito das condições pretéritas e atuais das áreas estudadas, enquanto que os levantamentos de campo compreenderam a confirmação e o refinamento das informações bibliográficas nos locais identificados com antigas áreas de empréstimo.

Esses levantamentos permitiram o conhecimento da localização das áreas e das condições naturais reinantes. A partir dessas informações levantadas foi possível propor uma lista de geoindicadores a serem utilizados para representação das áreas de estudo.

Os levantamentos de campo incluíram visitas, em diferentes ocasiões, às áreas de empréstimo estudadas com observação das condições locais, tanto do ponto de vista dos componentes do meio como das atividades humanas existentes no local e imediações. Essas observações em campo permitiram a obtenção expedita, das informações de interesse para a definição dos geoindicadores.

Tais levantamentos foram úteis para a aquisição de informações a respeito dos geoindicadores de todos os componentes considerados. Para alguns geoindicadores (ocupação, geometria da cava e acessos, por exemplo) tal estratégia de ação foi determinante

para obtenção das informações, para outros (solo e relevo, por exemplo) serviu apenas como indicativo para investigações mais detalhadas.

Foi realizada também a Interpretação de Produtos de Sensores Remotos, atividades que incluíram a consulta e interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas e que foram particularmente importantes no levantamento de informações dos geoindicadores para os componentes ambientais vegetação, uso do solo e recursos hídricos.

### **5.1.3 DEFINIÇÃO DOS GEOINDICADORES**

Quanto à definição da lista de geoindicadores a serem utilizados os princípios básicos que nortearam a elaboração dessa lista foram agilidade e baixo custo na obtenção das informações.

O critério da agilidade é fundamental para atender requisitos essenciais, e tornar a técnica atraente para seu uso em trabalhos de avaliação de áreas. Sendo assim, os procedimentos de levantamento das informações devem ser simples, de forma a tornar eficaz seu levantamento em breves levantamentos de campo ou análises de escritório.

No caso dos levantamentos de campo, trabalhos que exijam medidas detalhadas ou levantamentos extensos podem significar muito tempo. Assim, os indicadores adotados deveriam permitir a definição de propriedades descritoras do ambiente por observação direta.

Com relação aos trabalhos de escritório a mesma situação se aplica, ou seja, o uso de técnicas de interpretação ou análise de informações anteriores que não envolva procedimentos expeditos deve ser evitado.

Quanto ao critério custo de obtenção da informação, devem ser tomados alguns cuidados como, por exemplo, o uso de geoindicadores que dependam de ensaios de laboratório ou ensaios de campo sofisticados deve ser evitado, pois tais ensaios geralmente significam custos adicionais além de maior tempo para obtenção dos resultados.

Portanto, isso não deve significar ter como pressuposto a não realização de ensaios, mas lançar mão dos mesmos quando não houver alternativa para definir o geoindicador de interesse.

Além disso, devem ser privilegiados testes de campo expeditos na etapa de levantamento de dados e lançar mão de ensaios específicos quando se estiver discutindo alternativas de aproveitamento da área.

As formas de obtenção de informações devem se basear na simples observação de campo, pois tais procedimentos significam trabalhos de campo mais rápidos e, portanto, com menores custos.

Obviamente, nas situações nas quais os critérios citados anteriormente não permitam a definição do geoindicador com a precisão julgada apropriada a única alternativa é lançar mão de procedimentos mais caros ou demorados tendo-se o cuidado de escolher, entre esses, aquele que apresente menor custo e tempo de execução.

A consideração dos aspectos agilidade (e sua decorrente simplicidade de uso) e baixo custo de obtenção se refletem no potencial de uso dos geoindicadores para monitoramento de áreas degradadas facilitando a discussão, a qualquer momento, acerca das prioridades de intervenção.

De posse dos geoindicadores levantados tornam-se viáveis a avaliação do estado das áreas em termos de degradação, a tomada de decisão em relação às áreas prioritárias para intervenções e as possibilidades de aproveitamentos futuros.

#### **5.1.4 AVALIAÇÃO E VALORAÇÃO DOS GEOINDICADORES DEFINIDOS**

Para avaliação dos geoindicadores foram criadas categorias dentro de cada geoindicador descrito e a cada uma delas foi associado um valor (peso) que representou maior ou menor indicativo de degradação.

Tais categorias foram criadas tendo em vista as possibilidades existentes, identificadas a partir de visitas nas áreas, ou seja, se criou apenas categorias que ocorreram em pelo menos uma das áreas estudadas.

O nível de degradação final de cada área foi calculado como o somatório dos pesos associados a cada categoria, sendo que os valores maiores e menores representaram um nível de degradação maior e menor, respectivamente.

### **5.1.5 REGISTRO E TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES**

De posse das informações obtidas na etapa de levantamento de dados foi feita a seleção e refinamento das mesmas, seu georreferenciamento, e armazenamento numa base de dados compatível com o Spring 4.3.2.

No caso em questão a base de dados foi produzida no sistema Access de maneira que nela estivessem contidas as informações espaciais e não espaciais correspondentes a cada parcela do terreno analisada.

As informações espaciais permitiram a representação cartográfica de cada área e as não espaciais serviram para descrever as condições ambientais segundo os geoindicadores representantes de cada área.

O tratamento das informações não espaciais permitiu a hierarquização das áreas e o tratamento espacial das informações georreferenciadas permitiu a geração de documentos interpretativos contendo os resultados da classificação das mesmas. A partir dessa classificação foi então possível a definição de algumas propostas de uso.

### **5.1.6 PROPOSTA METODOLÓGICA**

A execução das etapas anteriores e a validação do processo de análise permitiram a elaboração de uma proposta metodológica para avaliação de impactos em áreas sujeitas à extração de recursos naturais.

Tal proposta contém a descrição das bases conceituais, procedimentos de levantamento e análise de dados, mecanismos de tomada de decisão para propostas de intervenção e uma ordenação das atividades a serem desenvolvidas.

## **5.2 ENSAIOS REALIZADOS**

Para que fossem estabelecidas bases sólidas com o intuito de permitir uma avaliação das características reinantes nas áreas de estudo, foram realizados ensaios, os quais possibilitaram também uma melhor caracterização dos geoindicadores permitindo assim, que os mesmos pudessem ser ponderados.

Neste ponto é importante destacar que as técnicas que envolvem maior custo (SPT - “Standard Penetration Test” e SEV - Sondagens Elétricas Verticais ou Sondagem Geofísica) foram necessárias no presente trabalho porque o relevo suave da área estudada e a

baixa altura dos taludes de escavação observados, exceção feita ao Motocross não permitiram uma definição confiável do perfil do solo.

No entanto, o que se espera em trabalhos dessa natureza é que levantamentos de campo e investigações mais baratas como sondagens a trado devam resolver a situação.

Como o presente trabalho tinha por objetivo coletar o maior número de informações possível, por se tratar de teste de validade dos geoindicadores e tentativa de elaboração de proposta para aplicação em outras áreas, houve a necessidade de investigações mais detalhadas e custosas.

### **5.2.1 SONDAGENS**

Foram três os tipos de sondagem realizados:

- SPT - “Standard Penetration Test” - para a determinação dos perfis de solo e coleta de amostras para ensaios de caracterização do solo;
- Sondagem Elétrica Vertical, a qual permitiu a confirmação dos perfis do solo das áreas de empréstimo, tanto internamente como externamente às áreas estudadas assim como também possibilitou a determinação da profundidade do nível freático; e
- Sondagem a Trado, que foi realizada com a finalidade de se obterem amostras para os ensaios de microscopia eletrônica de varredura e também ensaios de energia dispersiva.

#### **5.2.1.1 Sondagem SPT “Standard Penetration Test ”**

A sondagem SPT “Standard Penetration Test” foi desenvolvida pela empresa Oeste Engenharia de Araçatuba – SP, segundo a norma da ABNT, NBR 6484/2001. O procedimento foi iniciado com o emprego de cavadeira manual até a profundidade de 1 m, em seguida instalou-se o primeiro segmento do tubo de revestimento dotado de sapata cortante.

Nas operações subseqüentes de perfuração, intercaladas as operações de amostragem foi utilizado trado helicoidal até se atingir o nível d’água freático. Quando o avanço de perfuração com emprego de trado helicoidal era inferior a 50 cm após 10 minutos de operação, ou nos casos de solos aderentes ao trado, passou-se ao método de perfuração por circulação de água, também denominado por lavagem.

A operação de perfuração por circulação de água, quando necessária, foi feita utilizando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação e a remoção do material escavado por meio de circulação de água realizada por bomba motorizada. Essa operação consistiu na elevação da composição das hastes de lavagem em cerca de 0,30 m do fundo do furo, e sua queda foi acompanhada de movimento de rotação imprimido manualmente pelo operador.

Durante a operação de perfuração foram anotadas as profundidades de transição de camadas de solos, por exame táctil-visual, e das mudanças de coloração dos materiais trazidos pelo trado helicoidal ou pela água de lavagem.

Esse tipo de sondagem, além de permitir a obtenção de amostras, possibilita estimar os parâmetros geomecânicos por meio do número de golpes para cravação do amostrador ( $N_{spt}$ ).

#### **5.2.1.2 Sondagem a Trado**

A realização das sondagens a trado foi realizada conforme a norma da ABNT, NBR 8223/1992, por equipe do Laboratório de Mecânica dos Solos da UNESP de Ilha Solteira, juntamente com os integrantes do projeto de pesquisa ao qual este trabalho se insere.

A sondagem a trado é um método de investigação de solos que utiliza como instrumento o trado: um tipo de amostrador de solo constituído por lâminas cortantes, que podem ser espiraladas (trado helicoidal ou espiral) ou convexas (trado concha ou cavadeira). Tem por finalidade a coleta de amostras deformadas, determinação de profundidade do nível d'água e identificação dos horizontes do terreno.

Essas sondagens foram feitas com o trado concha até quando o avanço do trado fosse inferior a 5,0 cm em 10 minutos de operação contínua de perfuração.

Com essas amostras da sondagem a trado foram feitas pastilhas de aproximadamente 0,8 cm de espessura, compactadas com o mini-proctor. Tais pastilhas foram usadas na realização do ensaio de microscopia eletrônica.

### 5.2.1.3 Sondagem Elétrica Vertical

Os levantamentos geofísicos por Sondagem Elétrica Vertical, também chamada de Sondagem Geofísica, foram realizados pela empresa SIGEO - Soluções Integradas em Geotecnologias, situada em São Paulo – SP.

A sondagem geofísica tem como objetivo a caracterização geológica, geotécnica e hidrogeológica do local. São utilizados principalmente os métodos de eletrorresistividade, eletromagnético indutivo, eletromagnético domínio do tempo, potencial espontâneo, polarização induzida, radar de penetração no solo e sísmica. No trabalho em questão foi utilizado o método de eletrorresistividade.

Dentre as diversas metodologias existentes na geofísica não se pode estabelecer relações de superioridade, pois a eficácia dessas metodologias depende da área a ser aplicado o método sobre o problema proposto.

A eletrorresistividade é um método geométrico baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais, tendo sido utilizado nos mais variados campos de aplicação das geociências. A partir de medições do potencial elétrico na superfície pode-se determinar, no subsolo, a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas.

Alguns minerais podem atuar como uma bateria e criar seu próprio campo elétrico, constituindo um método especial chamado de Potencial Espontâneo. O mais freqüente é enviar energia ao terreno, criando assim, campos artificiais cuja deformação permite deduzir características geológicas ou minerais do subsolo.

Para tal, utiliza-se corrente contínua ou corrente alternada, sendo essa última a mais usada. As freqüências utilizadas em prospecção são, preferencialmente, as mais baixas possíveis devido ao fato de que a profundidade de penetração diminui à medida que se aumenta a freqüência.

Na prospecção elétrica utilizam-se, em geral, três propriedades fundamentais: (1) resistividade: define a quantidade de corrente elétrica que atravessa uma camada quando aplicado uma diferença de potencial; (2) constante dielétrica: define a capacidade de armazenamento de cargas elétricas nos materiais, geradas pela introdução de corrente alternada de alta freqüência no subsolo; e (3) atividade eletroquímica da rocha: responsável pelo aparecimento de correntes elétricas naturais geradas sem qualquer influência dos campos elétricos artificiais.

Qualitativamente, resistividade é uma medida de dificuldade que um determinado material impõe à passagem de uma dada corrente elétrica ou, o inverso, a condutividade é a facilidade com que a corrente elétrica passa através de certo material.

A resistividade elétrica das rochas e minerais é uma propriedade que depende de vários fatores, por exemplo, a resistividade elétrica das rochas cristalinas (pouco porosas) é normalmente alta. No entanto, se essa rocha estiver muito fraturada, a água que circula através das fraturas contendo sais minerais dissolvidos diminuirá bastante a resistividade da rocha.

Os dispositivos para medidas de resistividade consistem de um sistema de quatro eletrodos, sendo dois deles usados para enviar uma corrente elétrica ao solo, e os outros dois usados para medir a diferença de potencial entre eles.

A aplicação de métodos geofísicos permite levantar características tais como: (1) Profundidade do substrato rochoso; (2) Presença de descontinuidades; (3) Variações texturais do solo (em alguns casos); (4) Profundidade do nível d'água; (5) Fluxo das águas subsuperficiais; (6) Presença e distribuição espacial de resíduos; (7) Contaminação de solos; e (8) Contaminação de águas subsuperficiais e formato da pluma.

### **5.2.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO**

Os ensaios de caracterização física dos solos, para o conhecimento do perfil de solo presente em cada área, foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da UNESP de Ilha Solteira de acordo com as normas da ABNT. Os ensaios compreenderam a obtenção da massa específica dos sólidos, granulometria, limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP).

Esses ensaios foram feitos em amostras coletadas a cada metro, na porção interna às áreas de empréstimo, em todo o perfil onde foi feita a sondagem à percussão (SPT). Com os dados obtidos foi possível classificar o solo de acordo com os sistemas usuais de Mecânica dos Solos.

As informações daí advindas foram utilizadas para definir geoindicadores relativos ao componente solo.

### 5.2.2.1 Massa específica dos sólidos

A densidade relativa dos grãos foi determinada utilizando o material que passou na peneira #40, cuja abertura de malha é de 0,425 mm, segundo a NBR 6508/1984.

O índice massa específica dos sólidos foi determinado empregando-se um frasco de vidro chamado picnômetro (balão volumétrico). Utilizou-se cerca de 100 g do solo a ser analisado, seco em estufa a 105°C, onde foi colocado 25 g em quatro picnômetros de 250 ml. Em seguida preencheu-se o frasco com água destilada até a marca de referência.

O valor da massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ) foi obtido por meio da seguinte equação:

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_1 - M_2 + M_s} \rho_w$$

Onde:

$M_s$  = massa dos sólidos (massa do solo seco)

$M_1$  = massa de água + massa do picnômetro

$M_2$  = massa de água após a adição de solo no picnômetro + massa do picnômetro + massa dos sólidos

$\rho_w$  = massa específica da água

### 5.2.2.2 Granulometria

Para a determinação do tamanho dos grãos de um solo grosso, recorreu-se ao ensaio de peneiramento, no qual se faz passar por uma bateria de peneiras, de aberturas sucessivamente menores, certa quantidade de solo, determinando-se as porções retidas em cada peneira. Para um solo de graduação fina o peneiramento se torna impraticável. Nesse caso, faz-se uso do ensaio de sedimentação que consiste basicamente em medir indiretamente a velocidade de queda das partículas em água.

Como, freqüentemente, os solos são uma mistura de partículas dos mais diversos tamanhos, costuma-se conduzir conjuntamente os ensaios de peneiramento e sedimentação, ou seja, faz-se uma análise granulométrica conjunta, para determinação dos diâmetros e das respectivas porcentagens de partículas que ocorrem num solo.

Para a determinação da granulometria do solo, peneirou-se cerca de 1,5 kg do material na peneira #40 (0,425 mm), seguindo a norma NBR-7181/1984, da ABNT.

O material que não passou na peneira foi lavado, para a retirada dos grãos menores que 0,425 mm, e posteriormente levado à estufa a 105°C para que assim fosse realizado o peneiramento grosso.

A sedimentação foi feita com 50 g do material que passou na peneira #40, sendo este misturado a 125 ml de uma solução de hexametáfosfato de sódio. O material permaneceu imerso na solução por 24 horas.

Depois de realizada a sedimentação, o material restante foi lavado na peneira #200 e levado à estufa para a realização do peneiramento fino.

### **5.2.2.3 Limites de Consistência**

Os limites de consistência, limite de liquidez e limite de plasticidade, foram determinados utilizando-se o material passante na peneira #40, seguindo a norma NBR-6459/1984 e a NBR 7180/1984 respectivamente.

A determinação do limite de liquidez foi feita colocando-se uma quantidade pré-determinada de solo em uma placa de vidro esmerilhada e homogeneizando-o adequadamente até se formar uma pasta uniforme com consistência tal que fossem necessários cerca de 10 golpes no aparelho de Casagrande para fechar a ranhura.

Transferiu-se para a concha do aparelho de Casagrande parte da mistura, moldou-se de modo a obter uma camada com uma espessura da ordem de 10 mm na região central e em seguida abriu-se uma ranhura nessa mesma região por meio de um cinzel.

O aparelho gira a uma razão de duas voltas por segundo e a concha cai de uma altura de 10 mm contra a base do aparelho. Com isso anotou-se o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de aproximadamente 13 mm e foi determinada a umidade da amostra. Esse procedimento foi repetido cinco vezes para cada amostra ensaiada.

Os valores obtidos foram lançados em um gráfico semi-logarítmico em que nas ordenadas se têm os teores de umidade e nas abcissas o número de golpes. Traçou-se então a reta média, que passa por esses pontos, e determinou-se o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez do solo.

O limite de plasticidade foi obtido colocando-se uma quantidade pré-determinada de solo em uma placa de vidro esmerilhada, homogeneizando bem o solo.

Tomou-se uma amostra a qual foi rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar forma cilíndrica. Esse procedimento foi interrompido quando o solo em forma de cilindro deu indícios de fragmentação ao atingir as dimensões determinadas pelo gabarito de comparação (3,0 mm de diâmetro) e começou a apresentar fissuras.

Em seguida o cilindro foi transferido para uma cápsula de alumínio para a determinação do teor de umidade.

O limite de plasticidade é a umidade média de uma seqüência de três repetições do procedimento descrito acima, para cada amostra ensaiada.

### **5.2.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA**

Os solos foram analisados em termos de textura e estrutura e também com relação à sua composição semi-quantitativa por meio de microscopia eletrônica de varredura e ensaio de energia dispersiva respectivamente. Tais ensaios foram realizados no Laboratório de Microscopia do Instituto de Física e Química da USP, Campus de São Carlos. Essas caracterizações foram realizadas em amostras coletadas em sondagens a trado.

Esses ensaios são importantes no estudo de materiais, sempre que se torna necessário analisar sua microestrutura. Essa análise é muito importante, pois permite: (1) entender as correlações microestrutura - defeitos - propriedades; e (2) predizer as propriedades do material quando essas correlações são estabelecidas.

Os ensaios de microscopia eletrônica de varredura permitiram que os solos fossem caracterizados quanto à sua textura e estrutura.

Na microscopia eletrônica de varredura os sinais de maior interesse para a formação da imagem são os elétrons secundários e os retroespalhados. À medida que o feixe de elétrons primários vai varrendo a amostra esses sinais vão sofrendo modificações de acordo com as variações da superfície.

Os elétrons secundários fornecem imagem de topografia da superfície da amostra e são os responsáveis pela obtenção das imagens de alta resolução, já os retroespalhados fornecem imagem característica de variação de composição.

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um instrumento usado rotineiramente para a análise microestrutural de materiais sólidos. Apesar da complexidade dos mecanismos para a obtenção da imagem, o resultado é uma imagem de muito fácil interpretação.

Quanto à composição semi-quantitativa os solos foram analisados por meio de ensaios de energia dispersiva. Essa técnica se encontra extremamente correlacionada com a microscopia eletrônica de varredura, sendo muito usada para a determinação dos elementos presentes em volumes micrométricos.

Devido a sua potencialidade e versatilidade de uso, atualmente a maioria dos microscópios eletrônicos de varredura possuem acoplado um espectrômetro por energia dispersiva. A microanálise é um dos mais importantes instrumentos para a análise química de materiais orgânicos e inorgânicos. Por meio da identificação dos raios-X emitidos pela amostra, quando da interação com o feixe eletrônico, é possível determinar a composição de regiões com até 1  $\mu\text{m}$  de diâmetro. É uma técnica não destrutiva, podendo determinar quantidades de até 1-2% dos elementos presentes na amostra.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foram obtidos como resultado deste trabalho, uma lista de geoindicadores representante das características reinantes em cada área de empréstimo analisada, bem como também os resultados de todos os ensaios realizados nas áreas. Tendo em mãos os resultados anteriores foi possível a valoração da degradação ambiental, a partir da atribuição de pesos aos geoindicadores.

Por fim, elaborou-se uma proposta metodológica para avaliação de impactos, aplicável em áreas sujeitas à extração de recursos naturais.

### **6.1 GEOINDICADORES PROPOSTOS**

Os geoindicadores propostos estão relacionados ao solo, substrato rochoso, relevo, vegetação, recursos hídricos, acessos e uso e ocupação, processos geodinâmicos e geometria final da cava.

Os geoindicadores relacionados a acessos e uso e ocupação podem não ser vistos como tal, tendo em mente a definição do termo, porém o seu efeito na área o é, por isso os mesmos foram propostos para o levantamento.

A escolha dos geoindicadores para representação do estado das áreas de empréstimo foi feita tendo como base os principais impactos ambientais encontrados em áreas de empréstimo, tendo em vista os que afetam diretamente o solo, remoção da camada agricultável, mudanças na declividade do terreno e erosão; e os impactos indiretos na vegetação e nos recursos hídricos.

Também foram definidos geoindicadores que expressam um maior dano ao ambiente, por exemplo, espessura de solo removida, exposição do substrato rochoso e área total da cava.

Outro aspecto levado em consideração foram os relacionados à aptidão das áreas para aproveitamentos futuros do ponto de vista de obras de engenharia, como por exemplo, textura e estrutura da camada superficial do solo e avaliação de aterros (quando existir).

O uso e ocupação também foram levantados com o objetivo de avaliar se o uso após a exploração tem contribuído para minorar ou não os impactos à área.

Com base nas descrições acima e nos critérios descritos no tópico 5.1.3, para a definição dos geoindicadores, foi elaborada a lista apresentada a seguir.

### 6.1.1 SOLO

É importante que se avalie o solo existente na área para que posteriormente possam ser determinadas alternativas de aproveitamentos futuros e também para que sejam definidos processos de recuperação, caso seja necessário, possível e viável. Foram escolhidos então quatro geoindicadores como representantes desse componente:

**Espessura dos horizontes do solo:** obtido a partir da observação de taludes naturais e de corte, considerando as parcelas internas a cava e as áreas vizinhas. Caso a observação de campo não seja suficiente pode-se lançar mão de métodos de perfuração. Esse geoindicador leva em conta quais os tipos de horizontes foram explorados e permite a definição de uso do solo tendo em vista a possibilidade de reposição da vegetação, por exemplo. É importante avaliar os horizontes do solo porque eles contêm características químicas que podem revelar se é possível que a vegetação no local em estudo se recupere naturalmente.

**Potencial da camada agricultável:** identificação via observações de campo e também por meio de sondagem para que se avalie a variação de espessura da camada ocorrida de dentro para fora da área, seguida de ensaios laboratoriais que definem os macro-nutrientes e a matéria orgânica presentes no solo. Será avaliado o potencial da camada, obtido de ensaios. As análises químicas nos darão informações mais precisas para o interior da cava em termos de matéria orgânica e nutrientes presentes no solo. Essa avaliação é importante, pois identifica áreas com potencial para reposição da cobertura vegetal e as necessidades de aplicação de insumos para tal finalidade.

Obs.: no caso em que não se consiga obter essa espessura de camada, considera-se que ela corresponde à espessura do Horizonte A + 0,4m.

**Textura e estrutura do solo:** define, a partir de ensaios de granulometria e microscopia eletrônica, as principais características de textura e estrutura do perfil de solo e compara suas propriedades nas diferentes profundidades de escavação. Nessa análise é verificada a capacidade das camadas de solo para aproveitamentos futuros e processos de recuperação.

**Aterro:** define as condições da camada de solo de re-aterro nos locais onde ficar evidente a sua existência. Levantamentos baseados em observações de campo e, secundariamente, em perfurações ou escavações como poços, trincheiras e sondagens a trado, são formas de obtenção de tais condições.

### 6.1.2 ROCHA/CASCALHO

Deve ser levada em conta a existência da camada superficial impenetrável, pois a existência de tal camada na superfície é indício de que todo o perfil de solo existente acima dela foi removido e, portanto a área se encontra em situação de difícil recuperação. Isso é um fator determinante na definição do uso futuro de parcelas da área.

Nessa análise é considerado o geoindicador horizonte impenetrável exposto, seja esse horizonte composto por rocha ou até mesmo de cascalho. Caso exista rocha exposta na área, é analisado também um segundo geoindicador referente ao grau de alteração e ao grau de intemperismo dessa rocha. Os dois geoindicadores citados anteriormente se encontram descritos a seguir.

**Horizonte impenetrável exposto:** verifica se existe esse horizonte impenetrável e se ele está ou não exposto. Tal avaliação é feita por meio de observações de campo. É importante, pois a remoção (natural ou mecânica) de todo o perfil de solo acima de uma camada de rocha ou cascalho coloca a área numa situação muito difícil de recuperação da cobertura vegetal, sendo isso um fator determinante na definição do uso futuro da área.

**Grau de alteração e grau de intemperismo:** define o grau de alteração e o grau de intemperismo da rocha exposta. Tais propriedades são obtidas diretamente no campo por observações de cor, brilho, grau de fraturamento e tamanho dos fragmentos do substrato rochoso; e podem ser de grande utilidade para propostas de recuperação.

### 6.1.3 VEGETAÇÃO

É importante que se observe a existência ou não de cobertura vegetal e os tipos da mesma para que se possa auxiliar na caracterização da área com relação à degradação e também verificar se aquela área sofreu ou não algum processo de recuperação. Identifica-se assim o tipo de cobertura vegetal existente (rasteira, arbustiva ou arbórea) e suas variações na área, fazendo posteriormente comparações com a vegetação nas vizinhanças.

**Tipo de cobertura vegetal:** em observações de campo se deve definir a ocorrência dessa cobertura e se possível verificar o tipo de cobertura pré-existente. Podem ser usados produtos de sensores remotos de diferentes épocas de forma a verificar a relação entre a cobertura vegetal na cava e em seu entorno.

#### 6.1.4 RECURSOS HÍDRICOS

A análise dos recursos hídricos deve levar em consideração sua existência na área ou sua proximidade com a mesma. Caso essa área possa vir a ter alguma influência nesses recursos, deve ser avaliada a água em termos de qualidade para que possam ser tomadas as devidas providências para a solução do problema. Nesse caso, dois geoindicadores podem ser utilizados para representar as alterações ocorridas. São eles:

**Mananciais superficiais na área:** deve ser verificada a existência de corpos d'água e nascentes na área bem como em suas imediações, de forma a se estabelecer a relação da exploração da jazida do solo com a qualidade da água de superfície. Se esse manancial existir dentro da área, avaliar a qualidade da água para que assim seja possível que se tome alguma providência de recuperação caso apresente alguma alteração ruim. A identificação desse geoindicador pode se dar em levantamentos de campo devendo-se ter o cuidado de observar a ocorrência de leitos secos (perenes ou não).

**Profundidade do nível freático:** obtida com consulta a informações anteriores (poços ou sondagens), de levantamentos geofísicos, ou perfurações. É indicativo da vulnerabilidade do manancial de subsuperfície aos processos naturais ou humanos instalados na superfície. O conhecimento de sua profundidade quando comparado com áreas vizinhas é indicativo da profundidade de escavação.

#### 6.1.5 RELEVO

As alterações no relevo podem nos fornecer indicativos dos riscos de erosão que uma determinada área pode ter em função do corte, bem como também podem ser fator determinante no tipo de intervenção para controle e recuperação de processos e também na definição a respeito das áreas prioritárias de intervenção. Os geoindicadores propostos para observação do relevo são:

**Declividade dos terrenos no fundo da cava:** obtidas em levantamentos de campo de forma visual, em levantamentos topográficos e comparação com mapas

topográficos antigos ou produtos de sensores remotos. Essa análise informa a influência nos processos de dinâmica superficial e, conseqüentemente evolução do modelado local e fluxos de água na área, e a relação entre escoamento superficial e infiltração que pode ser fortemente controlada por tal atributo do terreno sendo fator determinante em propostas de intervenção.

**Alterações paisagísticas:** esse geoindicador é obtido por observação da área escavada e sua comparação com o entorno ou por informações de antigos moradores; é importante na tomada de decisão acerca das áreas prioritárias de intervenção. Tais alterações precisam ser avaliadas do ponto de vista da eliminação de paisagens com interesse de preservação e em alguns casos, deve-se observar que a própria exploração das jazidas pode ser responsável pela produção de formas interessantes do ponto de vista paisagístico.

**Posição na bacia:** informações adquiridas em levantamentos de campo, em mapas anteriores e via sensoriamento remoto. A relação entre a dinâmica da cava e a dinâmica da bacia pode ser o fator determinante no tipo de intervenção para controle e recuperação de processos.

#### **6.1.6 ACESSOS, USO E OCUPAÇÃO**

O uso e ocupação do solo devem ser observados, pois são determinantes na seleção de prioridades de ação ou facilitam a recuperação ou remediação das áreas. A observação das vias de acesso é importante para que se possa determinar seu estado de conservação e se existem ou não processos erosivos nessas vias.

**Uso e ocupação do solo:** observação por levantamentos de campo e consultas a pessoas e órgãos públicos. Pode ser de grande utilidade para se definir se o uso do solo na área tem contribuído ou não para minorar os processos de degradação.

**Vias de acesso:** levantamentos de campo, consulta a mapas anteriores e técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizados para obtenção de tais informações. A disponibilidade de vias de acesso à área e sua relação com a geometria da cava e de seus taludes pode significar maior potencial de ocorrência de processos danosos ao meio.

#### **6.1.7 PROCESSOS GEODINÂMICOS**

Os processos geodinâmicos superficiais têm grande influência e são também influenciados pelo uso do meio físico. Os estudos desses processos referem-se às situações de

risco geológico, degradação ambiental e desperdício de recursos naturais que são conseqüências dos processos naturais, podendo ser induzidos ou acelerados pela ação humana. A avaliação desses processos permite com que se possa avaliar o estado da área e assim auxilia na tomada de decisões a respeito de que intervenções devem ser tomadas.

**Erosão – processos ativos:** definição feita via observação de campo e/ou sensoriamento remoto. Pode ser um indicador do estado atual da área e uma pista para predição de cenários futuros associado a fatores como alterações em relevo e solos.

**Assoreamento:** identificado em observações de campo e por meio de sensores remotos. Define o grau de degradação dos recursos hídricos superficiais e permite avaliar o potencial de recuperação.

É importante observar, que outros processos geodinâmicos, tais como, escorregamento e deslizamento poderiam ser considerados geoindicadores, no caso de estarem presentes nas áreas.

#### 6.1.8 GEOMETRIA DA CAVA

É importante que se observe a geometria da cava para que seja possível a obtenção de respostas referentes à estabilidade dos taludes. Seria então uma “medida” do potencial de ocorrência de ruptura desses taludes ou da observação dos taludes já rompidos.

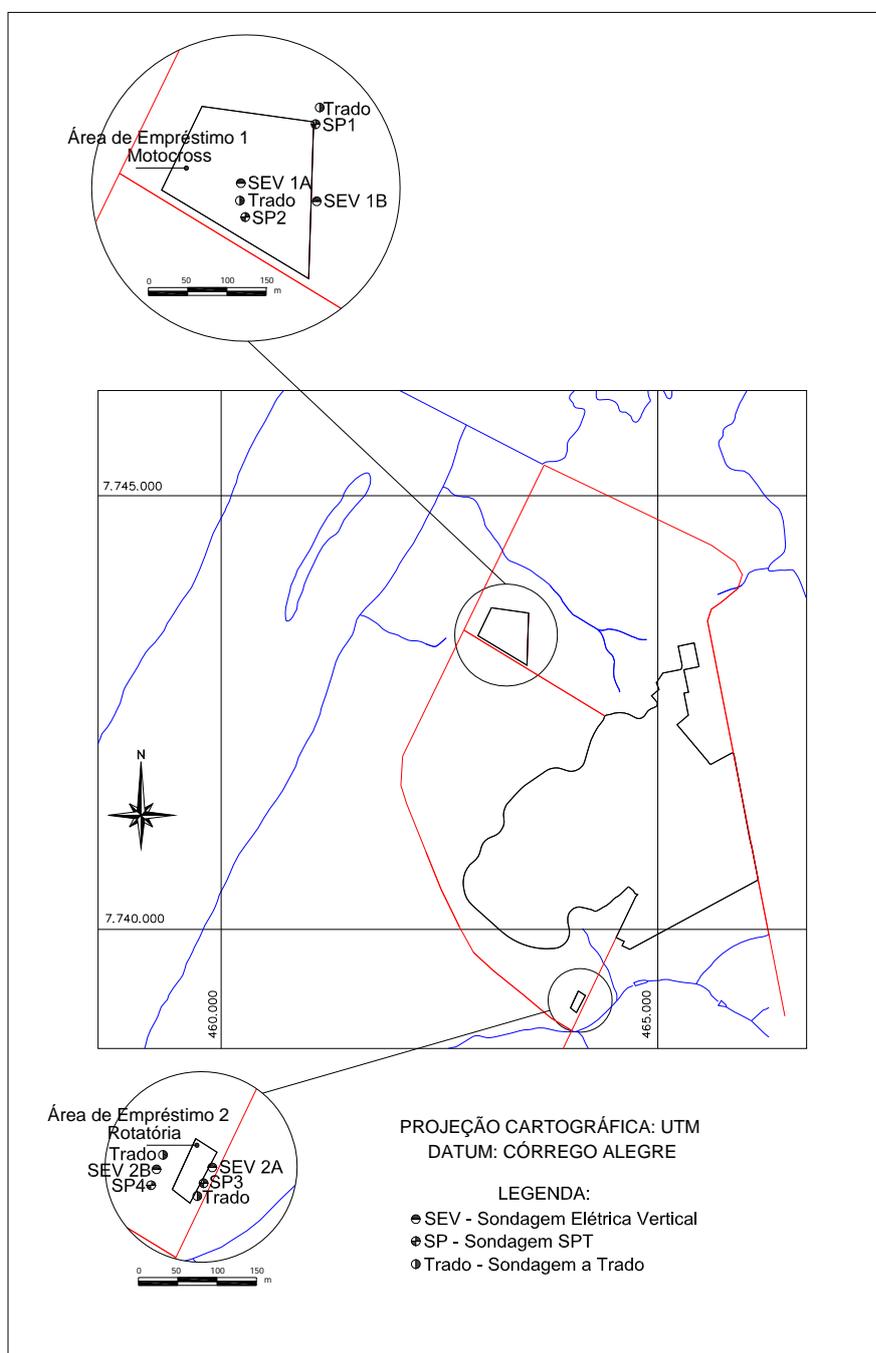
**Taludes da cava:** informações obtidas no campo por meio de mapas anteriores ou de levantamentos topográficos. Suas dimensões, tanto em termos de extensão como inclinação são fundamentais na avaliação do potencial de desenvolvimento de processos de dinâmica externa ou importância relativa em sua instalação.

**Área total:** definida a partir de levantamentos em mapas e carta pré-existentes ou em levantamentos topográficos de campo. Importante quando se pretende fazer uma análise comparativa entre áreas para definição de prioridades. Não pode ser considerada separadamente, mas é um forte indicativo de maior degradação por significar um dano mais extenso ao meio.

#### 6.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS

A seguir encontram-se apresentados os resultados das sondagens, bem como também dos ensaios de caracterização geofísica, microscopia eletrônica e energia dispersiva.

A Figura 6 apresenta a localização em planta dos pontos de sondagem realizadas nas áreas de estudo.



**FIGURA 6: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE SONDAAGEM**

### 6.2.1 SONDAAGEM SPT

Foi realizado um total de 4 sondagens SPT, duas para cada área de estudo, com o intuito de definir os diferentes perfis de alteração de solo presentes nas áreas e caracterizar

as conseqüências da escavação da área em tais perfis. Dessas duas sondagens realizadas em cada área, uma era realizada fora e a outra dentro de cada área de empréstimo.

A ocorrência de camadas de cascalho em alguns perfis fez com que tais sondagens não fornecessem toda a informação necessária, razão pela qual foram posteriormente realizadas sondagens elétricas verticais para completar tais informações.

As sondagens SPT serviram ainda como forma de obtenção de amostras do solo para realização de ensaios de laboratório para caracterização dos solos. Para tanto, foram coletadas amostras de metro em metro ao longo de tais perfurações.

Nas áreas onde a presença de cascalho inviabilizou tal coleta, foram posteriormente realizadas sondagens a trado como forma de complementar a amostragem dos solos presentes nas áreas.

As sondagens SPT foram de grande utilidade para levantamentos relacionados a solo, rocha/cascalho e nível freático.

As coordenadas de cada furo de sondagem encontram-se dispostas na Tabela 1 e a localização de cada furo se encontra na Figura 6.

**TABELA 1: FUROS DE SONDAGEM REALIZADOS NAS ÁREAS DE ESTUDO E COORDENADAS DOS RESPECTIVOS FUROS**

<b>FUROS DE SONDAGEM</b>	
SP1 - Área de Empréstimo 1 – Motocross - fora	N- 7743634
	E- 463525
SP2 - Área de empréstimo 1 – Motocross - dentro	N- 7743215
	E- 463459
SP3 - Área de Empréstimo 2 – Rotatória - dentro	N- 7739107
	E- 464098
SP4 - Área de Empréstimo 2 – Rotatória - fora	N- 7739161
	E- 463965
Obs.: Coordenadas em UTM.	

A identificação táctil-visual das camadas de solo investigadas nas sondagens à percussão permitiu uma primeira interpretação do perfil do subsolo nas áreas investigadas. Tal interpretação preliminar sugeria perfis de solo compostos (do topo para a base) por três camadas de espessura variável: (1) solo arenoso fino a médio pouco argiloso de cor castanha avermelhada; (2) solo arenoso fino a médio argiloso marrom; e (3) arenito alterado (topo rochoso).

Os ensaios de caracterização das amostras de solo também foram considerados nesta fase de definição de horizontes de solos. A impossibilidade de execução de algumas sondagens até a base do perfil de alteração do solo devido à ocorrência, em profundidades variadas, de camadas de cascalho com espessuras variando entre 30 cm a 2 m, fez com que tal interpretação necessitasse de revisão posterior.

Tal objetivo foi posteriormente alcançado com o auxílio das sondagens elétricas verticais e os ensaios de microscopia eletrônica e energia dispersiva.

O relatório das sondagens SPT contendo os resultados para cada área se encontra apresentado no Anexo 1.

### **6.2.2 MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS, GRANULOMETRIA e LIMITES DE CONSISTÊNCIA**

Com as amostras de solo obtidas das sondagens SPT e sondagem a trado foram realizados os ensaios de caracterização dos solos, envolvendo seus índices físicos, limites de consistência de distribuição granulométrica. As informações daí advindas foram utilizadas para definir geoindicadores relativos ao componente solo.

Os resultados e avaliações preliminares baseados nas sondagens de simples reconhecimento e nos ensaios de caracterização dos solos amostrados são apresentados a seguir.

As amostras para os ensaios de caracterização foram coletadas por meio das sondagens SPT a cada metro do perfil do solo foram identificadas de acordo com o número da sondagem e o número da camada de solo identificada no perfil. A amostra S1-1, por exemplo, corresponde à amostra coletada na sondagem SP1, no primeiro metro do perfil. A amostra S3-2 corresponde à amostra coletada na sondagem SP3, no segundo metro do perfil de solo, e assim por diante.

A relação das sondagens com as áreas é mostrada no Quadro 9. Com relação à sondagem SP2 apresentada na Figura 6, a mesma não se encontra no Quadro 9 pelo fato de que não foi possível a coleta de amostra de solo nessa sondagem.

**QUADRO 9: RELAÇÃO DE SONDAGENS COM ÁREAS DE ESTUDO**

SONDAGEM	AMOSTRA	ÁREA DE ESTUDO
SP1	S1	Área 1 (Motocross) fora
SP3	S3	Área 2 (Rotatória) dentro
SP4	S4	Área 2 (Rotatória) fora

Para os cálculos das análises granulométricas foi necessária a determinação das massas específicas dos sólidos de cada uma das amostras, resultado apresentado na Tabela 2.

**TABELA 2: MASSAS ESPECÍFICAS DOS SÓLIDOS DAS AMOSTRAS ENSAIADAS**

AMOSTRA	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )
S1-1	2,62
S3-1	2,67
S3-2	2,69
S4-1	2,63
S4-2	2,65
S4-4	2,67

Para a amostra designada S4-3 não foi realizado ensaio de granulometria conjunta por se tratar de camadas de seixos.

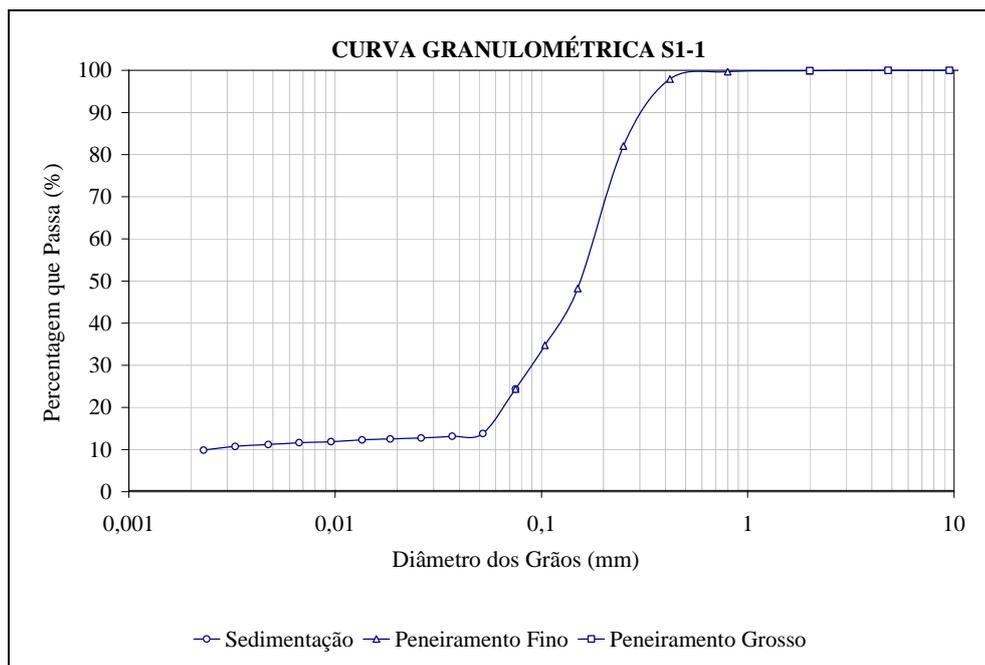
Os resultados das análises granulométricas são apresentados na Tabela 3.

**TABELA 3: RESULTADOS DAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS**

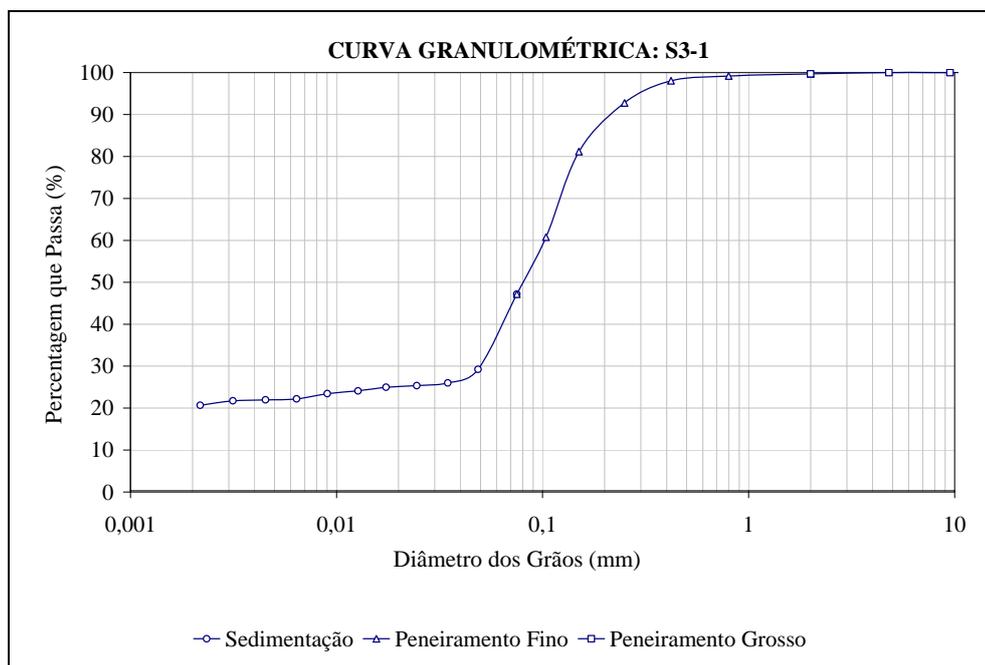
SOLO	PEDREGULHO (%)	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
S1-1	0,0	86,5	2,2	11,3
S3-1	0,0	70	8	22
S3-2	0,0	63,9	10,5	25,5
S4-1	0,0	78	8,5	13,5
S4-2	0,0	69	6,4	24,6
S4-4	0,0	68	7	25

Os resultados dos ensaios de granulometria com relação à textura apresentaram-se bastante homogêneos, ou seja, semelhantes para todos os tipos de solo. Tanto dentro como fora das áreas de empréstimo existem as mesmas possibilidades para aproveitamento agrícola.

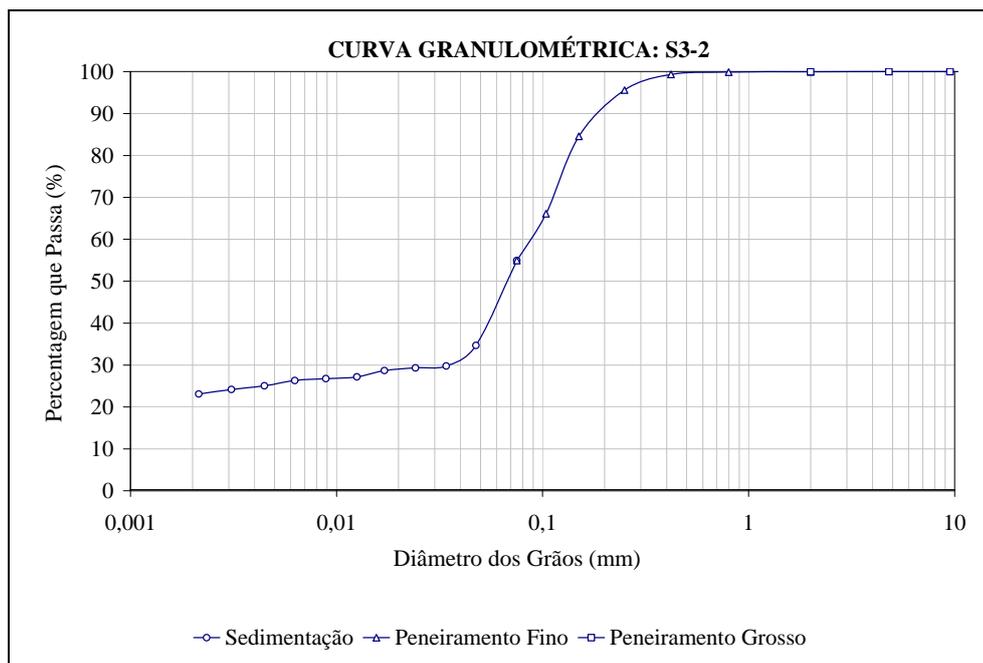
As curvas granulométricas correspondentes aos tipos de solo identificados são apresentadas a seguir nos Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6.



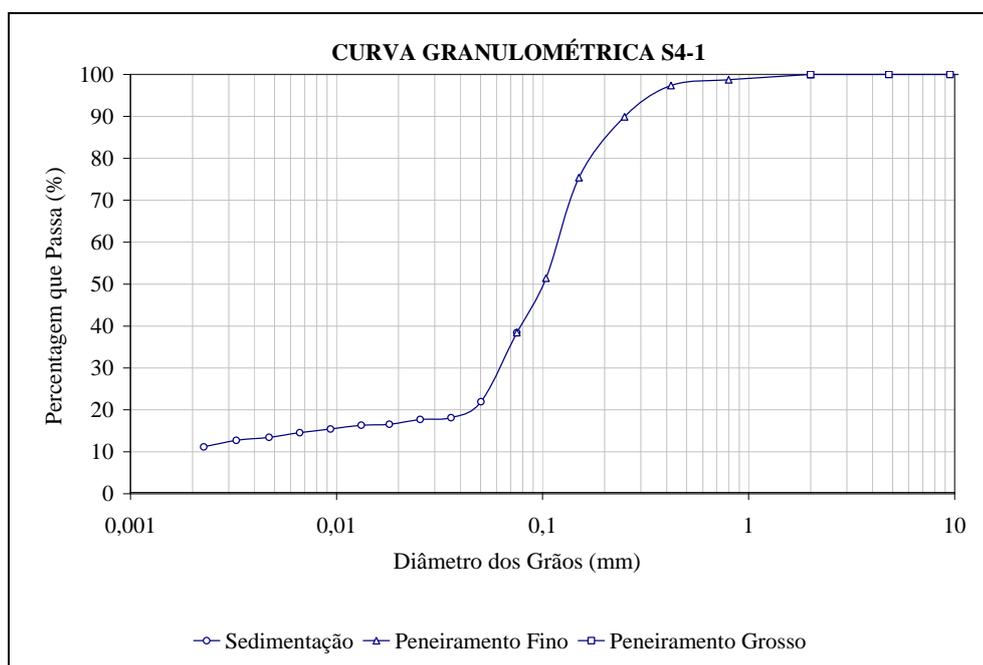
**GRÁFICO 1:** CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAJEM SP1, NO PRIMEIRO METRO DO PERFIL DE SOLO



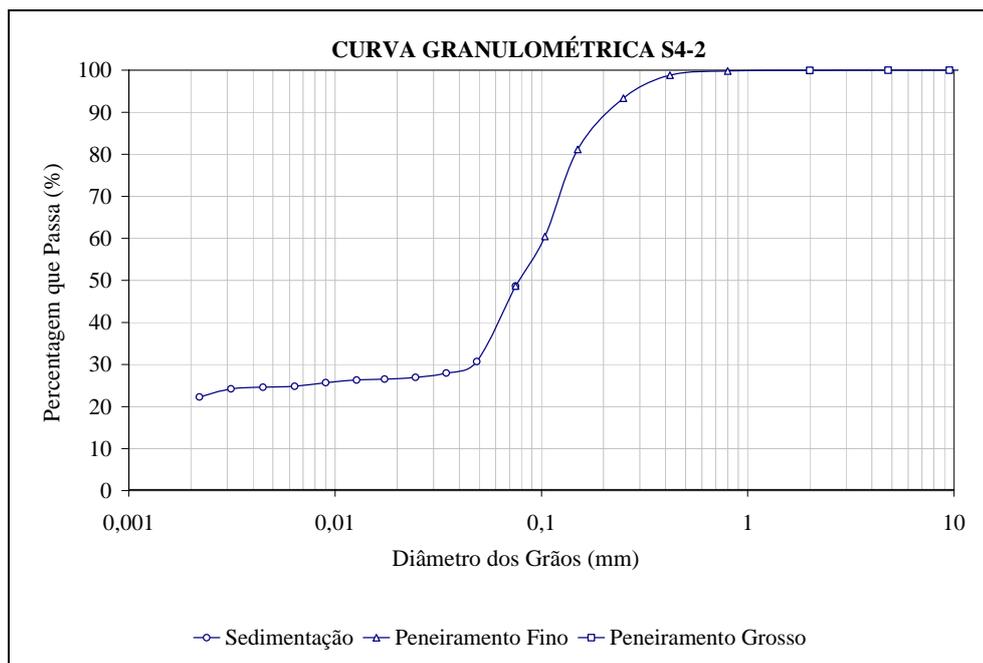
**GRÁFICO 2:** CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAJEM SP3, NO PRIMEIRO METRO DO PERFIL DE SOLO



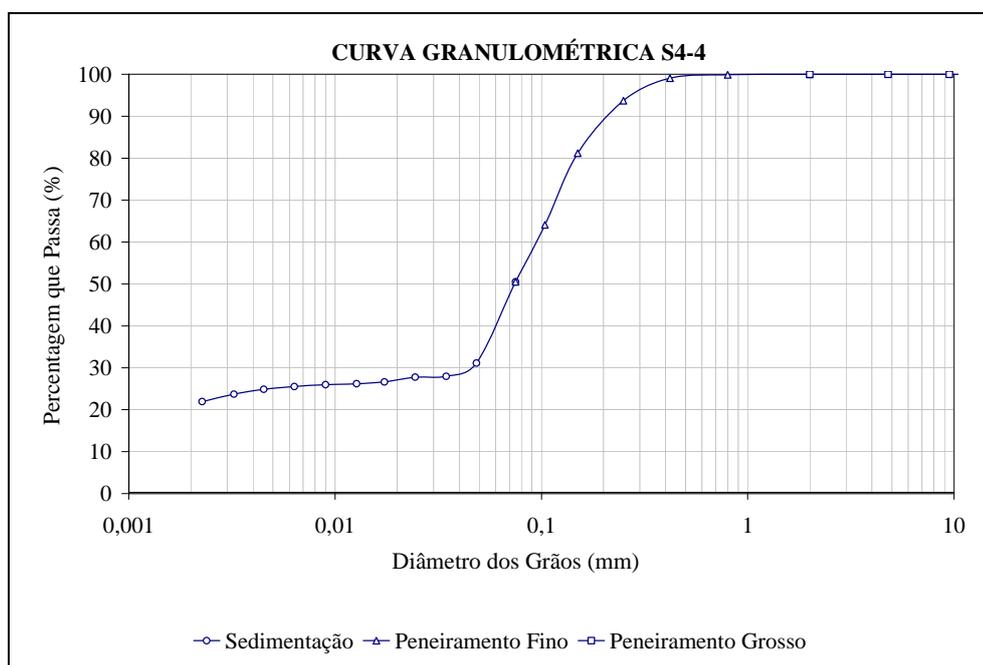
**GRÁFICO 3:** CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAJEM SP3, NO SEGUNDO METRO DO PERFIL DE SOLO



**GRÁFICO 4:** CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAJEM SP4, NO PRIMEIRO METRO DO PERFIL DE SOLO



**GRÁFICO 5:** CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAGEM SP4, NO SEGUNDO METRO DO PERFIL DE SOLO



**GRÁFICO 6:** CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COLETADA NA SONDAGEM SP4, NO QUARTO METRO DO PERFIL DE SOLO

A Tabela 4 apresenta o resultado dos ensaios para determinação dos limites de consistência das amostras de solo.

**TABELA 4: ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA PARA OS SOLOS AMOSTRADOS**

AMOSTRA	LL (%)	LP (%)	IP (%)
S1-1	13,8	8,6	5,2
S3-1	25,8	16,6	9,2
S3-2	31,1	18,2	13,0
S4-1	17,4	13	4,4
S4-2	21,5	15,6	5,9
S4-3	22,8	14,9	7,9
S4-4	24,9	15,5	9,4

Os resultados dos ensaios de caracterização dos solos apoiaram de definição preliminar de perfil do subsolo, segundo descrição apresentada a seguir.

O intervalo superior de solo (solo arenoso fino a médio pouco argiloso de cor castanha avermelhada) apresenta como características gerais: massa específica dos sólidos média de 2,64 g/cm<sup>3</sup>; granulometria composta de 72% de areia, 6% de silte, e 22% de argila em média; limite de liquidez de 22%, limite de plasticidade de 15% e índice de plasticidade de 7%. Trata-se de um horizonte menos compacto do solo, com maior porosidade.

O intervalo inferior de solo (solo arenoso fino a médio argiloso marrom) apresenta como características principais: massa específica dos sólidos média de 2,67 g/cm<sup>3</sup>; granulometria composta de 62% de areia, 8,3% de silte, e 29,7% de argila em média; limite de liquidez de 26%, limite de plasticidade de 17,5% e índice de plasticidade de 8,5%. Encontrando-se em estado mais compacto.

O comportamento menos plástico e os menores teores de finos presentes na camada superior do perfil de solo são características típicas do intervalo mais superficial de solos lateríticos arenosos, enquanto o aumento do teor de finos (especialmente da fração argila) na porção inferior do perfil (solo arenoso fino a médio argiloso marrom) é próprio dos horizontes mais profundos do perfil (menos lixiviados).

### 6.2.3 SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL

Com as dificuldades de definição dos horizontes do solo devido às complicações na perfuração das Sondagens SPT advindas da ocorrência de camadas de cascalho em alguns perfis, foram executadas sondagens elétricas verticais para complementar tal análise.

Os resultados completos de tal levantamento são apresentados no Anexo 2.

Os modelos interpretados para as sondagens elétricas verticais colaboram para a definição dos perfis de solos em alguns locais investigados nas áreas de empréstimo confirmando espessuras de pacotes de solos, mas não resolveram completamente tal questão já que a forte semelhança mineralógica e macro-estrutural das camadas de solos nem sempre resulta em arranjos internos diferentes o suficiente para que suas propriedades reflitam propriedades elétricas significativas.

Isso é compreensível caso se considere que o objetivo das áreas de empréstimo foi prover solos para trabalhos de compactação de aterros em outros locais do município e obras auxiliares da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, especialmente compactação de aterros e bases para vias de transporte. Obviamente, as camadas escavadas para tais finalidades tinham que preencher certos requisitos técnicos que fizeram com que as mesmas apresentassem similaridades.

Pelas razões expostas, a definição dos horizontes de solos foi bastante apoiada nos resultados de microscopia eletrônica e nas análises de energia dispersiva.

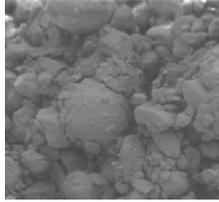
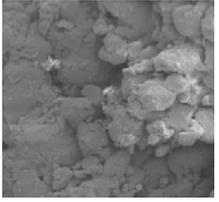
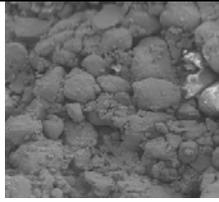
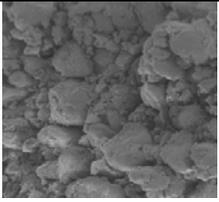
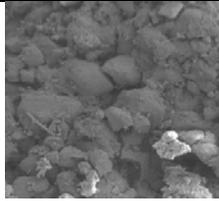
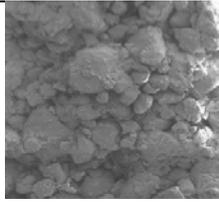
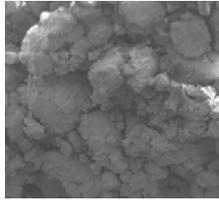
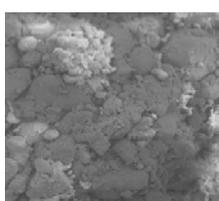
#### **6.2.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA E ENSAIOS DE ENERGIA DISPERSIVA**

A complementação das observações em microscópio eletrônico foi fundamental para o bom entendimento da estrutura do perfil do solo e melhor caracterização das camadas de solo existentes.

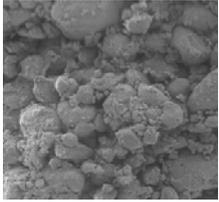
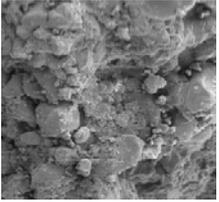
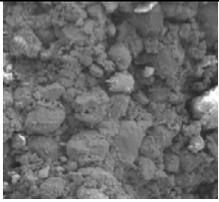
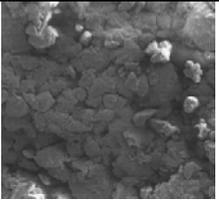
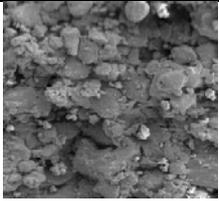
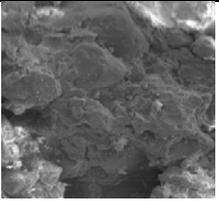
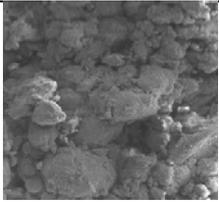
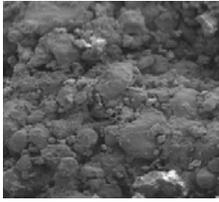
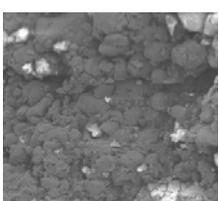
Como as amostras oriundas das sondagens de simples reconhecimento não estavam totalmente adequadas a tais observações, a amostragem foi complementada com a escavação de poços de inspeção com coleta de amostras indeformadas.

A associação dos trabalhos de campo, sondagens prévias (SPT e elétrica vertical), ensaios de caracterização dos solos, e resultados de microscopia eletrônica e energia dispersiva, permitiu a definição dos perfis de solos para as áreas no interior das cavas e externamente a elas.

A interpretação dos resultados de microscopia e ensaios de energia dispersiva para proposição de perfis de alteração para as cavas e áreas vizinhas é ilustrada nas figuras 7 e 8 apresentadas a seguir.

Fora da Cava (profundidade - m)		Dentro da Cava (profundidade - m)	
Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)	Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)
 (1)	Al 23,65 Si 64,26 Ti 1,84 Fe 9,83	 (1)	Al 15,73 Si 70,14 Ti 1,88 Fe 11,06 K 1,19
 (3)	Al 22,24 Si 61,34 Ti 2,49 Fe 13,91	 (2)	Al 12,42 Si 75,70 Ti 1,84 Fe 9,46 K 0,58
 (5)	Al 20,84 Si 64,57 Ti 2,29 Fe 13,22		
 (7)	Al 19,45 Si 66,27 Ti 2,30 Fe 11,54 K 0,40		
 (9)	Al 20,16 Si 64,38 Ti 2,31 Fe 12,45 K 0,70		
 (11)	Al 20,72 Si 63,63 Ti 2,30 Fe 12,73 K 0,62		

**FIGURA 7:** IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E RESULTADOS DE ENSAIOS DE ENERGIA DISPERSIVA - AMOSTRAS INTERNAS E EXTERNAS A CAVA DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 - MOTOCROSS

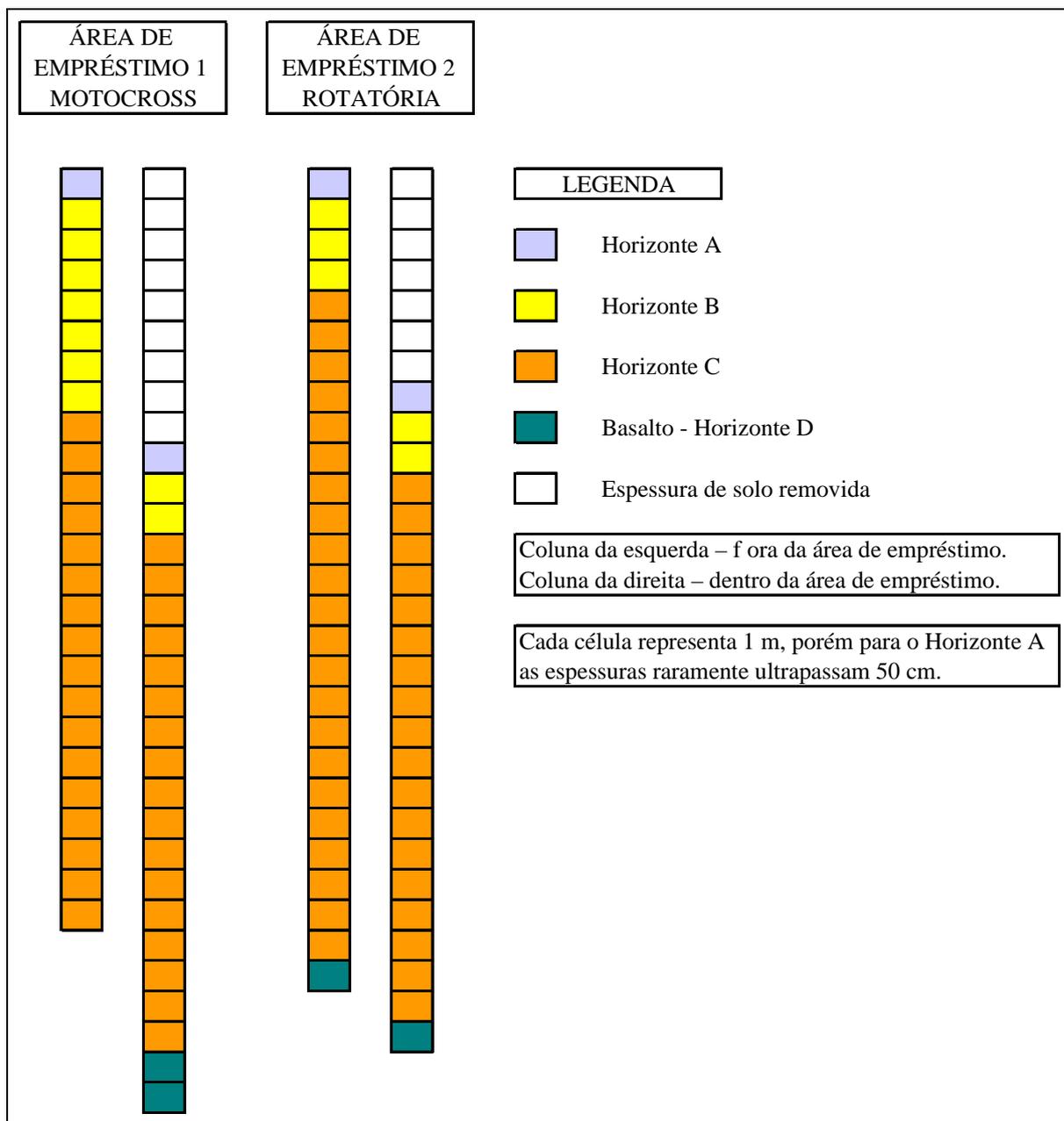
Fora da Cava (profundidade - m)		Dentro da Cava (profundidade - m)	
Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)	Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)
 (1)	Al 38,50 Si 51,73 Ti 1,30 Fe 8,47	 (1)	Al 25,29 Si 60,75 Ti 2,35 Fe 11,18
 (2)	Al 32,21 Si 63,59 Ti 1,60 Fe 6,69	 (2)	Al 22,65 Si 59,96 Ti 2,24 Fe 15,06
 (3)	Al 35,03 Si 53,34 Ti 1,68 Fe 9,95	 (3)	Al 21,53 Si 49,01 Ti 1,84 Fe 17,41
 (4)	Al 28,12 Si 57,09 Ti 1,60 Fe 12,69		
 (5)	Al 26,69 Si 55,50 Ti 2,59 Fe 14,68		
 (7)	Al 25,38 Si 54,79 Ti 2,95 Fe 16,31		

**FIGURA 8:** IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E RESULTADOS DE ENSAIOS DE ENERGIA DISPERSIVA - AMOSTRAS INTERNAS E EXTERNAS A CAVA DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 - ROTATÓRIA

Vale observar que a ausência de resultados em algumas profundidades de amostragem se deve à obtenção de resultados pouco significativos para a interpretação do perfil (muito similares aos resultados das profundidades imediatamente inferiores ou superiores).

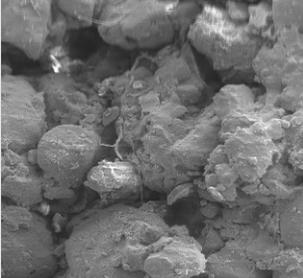
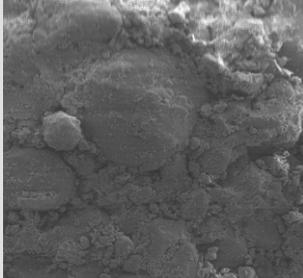
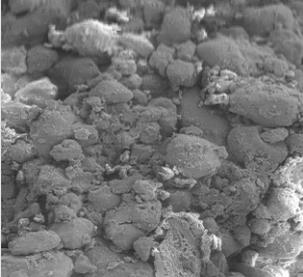
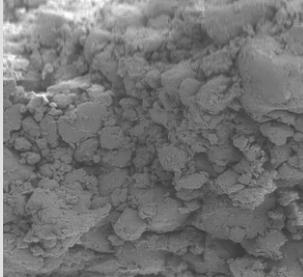
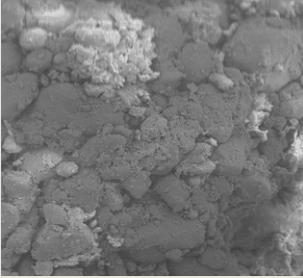
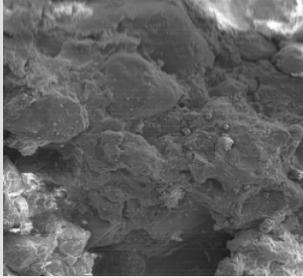
As estruturas observadas e a composição química semi-quantitativa ao longo dos perfis de solos confirmaram os perfis interpretados a partir das investigações anteriores, compostos por dois intervalos principais, o mais superficial deles (equivalente ao horizonte B do solo) mais poroso, mais lixiviado (menores teores em Fe e Ti) e com textura arenosa mais expressiva; e o intervalo inferior, (horizonte C) menos poroso, menos lixiviado (maiores teores de Fe e Ti) e com textura média (com maior teor de argila).

A interpretação conjunta desses resultados com os anteriores de sondagens levantamentos de campo e de laboratório permitiu a proposição dos perfis apresentados nas Figuras 9.



**FIGURA 9:** HORIZONTES DE SOLOS IDENTIFICADOS NAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO

A Figura 10 apresenta um resumo da textura e estrutura dos horizontes dos solos identificados.

<b>HORIZONTE A</b>	1. Textura francamente arenosa (mais de 70% areia), estrutura porosa solta fora das áreas de empréstimo.	2. Textura francamente arenosa (mais de 70% areia), estrutura compacta, quando dentro da área.
		
<b>HORIZONTE B</b>	1. Textura arenosa (55 a 70% areia, 20 a 30% argila), estrutura porosa solta (camadas superiores, geralmente os primeiros 2 a 3m do intervalo).	1. Textura arenosa (55 a 70% areia, 20 a 30% argila), estrutura porosa solta a medianamente compacta (camadas inferiores).
		
<b>HORIZONTE C</b>	1. Textura média (45 a 55% areia, 35 a 45% argila), estrutura medianamente compacta.	2. Textura média (45 a 55% areia, 35 a 45% argila), estrutura medianamente compacta a compacta (camadas inferiores).
		

**FIGURA 10: TEXTURA E ESTRUTURA DOS HORIZONTES DOS SOLOS IDENTIFICADOS**

As descrições apresentadas na Figura 10 podem ser melhor compreendidas a partir de considerações apresentadas a seguir.

Azul 1 (fora da área) – o solo se encontra com suas propriedades naturais preservadas e pode ser aproveitado para qualquer finalidade.

Azul 2 (dentro da área) – as amostras estão com as estruturas mais compactas e textura muito arenosa. Seu aproveitamento para recuperação exigirá investimentos, como por exemplo, por meio da aplicação de insumos e também com o preparo do solo (arar, gradear).

O perfil do solo nas áreas apresentou textura mais grosseira (mais de 70% de areia) nas camadas superiores (horizonte A e mais ou menos 3 m do horizonte B).

O perfil apresentou também um intervalo intermediário do perfil que corresponde à porção inferior do horizonte B com 55 a 70% de areia e uma camada de textura média (45 a 55% de areia) e (35 a 45% de argila) que corresponde ao horizonte C.

Quanto à estrutura, fora das áreas de empréstimo o solo apresenta estrutura floclada, mais compacta nas camadas mais profundas do perfil (horizonte C) e medianamente compacta à fofa nas camadas mais superficiais.

No interior das áreas de empréstimo a remoção das camadas superficiais (menos compactas) resultou na exposição das camadas mais compactas. Com isso, o potencial de recuperação e reaproveitamento do interior das cavas ficou comprometido, especialmente nas áreas onde a escavação atingiu camadas de cascalho, por exemplo, Área de Empréstimo 1 - Motocross.

### **6.3 PONDERAÇÃO DA DEGRADAÇÃO**

A partir da seleção dos geoindicadores apropriados e viáveis para a avaliação das áreas em estudo e tendo em mãos os resultados de todos os ensaios realizados, pôde-se fazer a ponderação de cada geoindicador por área de estudo, permitindo assim, uma posterior avaliação da degradação de cada área em SIG.

A ponderação foi feita com os valores 0, 1, 2 e 3. Destaca-se que a pior situação foi representada pela maior ponderação; sendo que a matriz gerada com as várias ponderações foi inserida e armazenada numa base de dados compatível com o Spring, para posterior análise dos dados no mesmo.

A seguir apresenta-se para cada componente do meio físico a forma como foram definidos os limites para ponderação dos geoindicadores, bem como também a valoração da ponderação dos geoindicadores para cada área em estudo.

#### **6.3.1 SOLO**

##### Espessura dos horizontes do solo

A avaliação foi feita em termos de espessura removida (com observação da Figura 9) para os horizontes B e C e não utilizando o volume do solo retirado porque a

obtenção dos parâmetros para cálculo desse volume seria muito complicada e nosso trabalho propõe praticidade na utilização do método.

Foi necessário no caso do horizonte A, que fosse avaliada a espessura existente atualmente no interior da área, para que assim se obtivesse uma resposta quanto à auto-recuperação da área.

As classes foram adotadas conforme as possibilidades existentes nas áreas de estudo, estabelecendo-se assim os limites entre essas classes por meio da observação dos resultados da sondagem geofísica. A Tabela 5 apresenta as ponderações definidas para cada horizonte do solo.

**TABELA 5:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES ÀS ESPESSURAS DOS HORIZONTES DO SOLO

<b>ESPESSURA DO HORIZONTE A (ESPHA) DENTRO DA ÁREA</b>	<b>PONDERAÇÃO</b>
0 a 30 cm	3
31 a 50 cm	1
<b>ESPESSURA REMOVIDA DO HORIZONTE B (ESPHB)</b>	<b>PONDERAÇÃO</b>
< 50 %	1
50 % ≤ ESPHB < 90 %	2
ESPHB ≥ 90 %	3
<b>ESPESSURA REMOVIDA DO HORIZONTE C (ESPHC)</b>	<b>PONDERAÇÃO</b>
< 50 %	1
50 % ≤ ESPHB < 90 %	2
ESPHB ≥ 90 %	3

#### Camada Agricultável do Solo

Os limites das ponderações foram definidos a partir de observações em campo. A ponderação 0 foi utilizada para áreas que possuem outra destinação que não a agricultável e que, portanto não teria sentido se falar em potencial agricultável. Por exemplo, podemos citar áreas que estejam ocupadas com outra finalidade que não seja a agrícola como, por exemplo, um recinto de exposição.

A ponderação 1 foi utilizada quando se notou uma capacidade de recuperação da vegetação e seu crescimento em períodos de chuva. A ponderação 3 foi utilizada quando foi observada a remoção de solo intensa, chegando a atingir a camada de cascalho. A Tabela 6 apresenta tais ponderações.

**TABELA 6:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À CAMADA AGRICULTÁVEL DO SOLO

CAMADA AGRICULTÁVEL (POTAG)	PONDERAÇÃO
Área possui destinação ≠ da agricultura	0
É notável capacidade de recuperação da vegetação e seu crescimento.	1
Remoção de solo intensa chegando a atingir o cascalho	3

### Textura e Estrutura do Solo

Os resultados referentes à textura foram obtidos pelos ensaios de microscopia e granulometria, e os resultados a respeito da estrutura do solo foram obtidos por meio dos ensaios de microscopia eletrônica. Com esses resultados em mãos, a forma como a ponderação seria feita foi definida.

Nas áreas em que as condições estruturais da camada de solo exposta comprometiam seu aproveitamento, tanto do ponto de vista da engenharia, como agropastoril foi adotada a ponderação 3. Nas demais áreas onde a ocorrência das camadas de cascalho a certa profundidade poderia comprometer parcialmente o aproveitamento das mesmas, foi adotada a ponderação 1, conforme Tabela 7.

**TABELA 7:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À TEXTURA E ESTRUTURA DO SOLO

TEXTURA E ESTRUTURA DO SOLO (TEXTS) (ESTRS)	PONDERAÇÃO
Composição da camada de solo exposta compromete seu aproveitamento (cascalho)	3
Ocorrência das camadas de cascalho a certa profundidade pode comprometer parcialmente o aproveitamento	1

### Aterro

Esse geoindicador não foi encontrado em nenhuma das áreas avaliadas. Caso ele exista, é preciso observar se foi executado de forma inadequada (sem remoção da cobertura vegetal existente) ou com material inadequado (solo misturado com entulho). Tal situação não contribui, no entanto para a melhoria da área, mas em contrapartida, a construção de tais aterros em parcelas das áreas permitiu a destinação das mesmas para alguma finalidade. A valoração proposta se encontra na Tabela 8.

**TABELA 8:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES A ATERRO

ATERRO (ATERR)	PONDERAÇÃO
Não existe	0
Foram feitos em parcelas da área e não são espessos	1
Foram feitos em parcelas da área e são espessos	3

O resultado da ponderação dos geoindicadores para solo bem como a soma total das ponderações referente a esse componente pode ser observado na Tabela 9.

**TABELA 9: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE SOLO**

	SOLO							
ÁREAS	ESPHA	ESPHB	ESPHC	POTAG	TEXTS	ESTRS	ATERR	SSOLO
MOTOCROSS	3	3	1	3	3	3	0	16
ROTATÓRIA	1	3	1	3	1	1	0	10

Com relação a espessura dos horizontes do solo se verifica variações de área para área em função de peculiaridades locais e da forma como se deu a escavação.

Na área denominada Motocross, no perfil do talude de corte, há grande variação nos horizontes e em suas espessuras, havendo também camadas de cascalho intercaladas em meio a outros horizontes. A camada de cascalho é nesse caso, limitante para o crescimento da vegetação e para a exploração das áreas, visto que a exploração é cessada ao se encontrar essa camada.

Ao se analisar a profundidade dessa camada e o que vem abaixo dela, é possível saber se seria viável sua remoção para que no caso de haver solo abaixo dela, exista a possibilidade desse solo ser tratado para que nele volte a se desenvolver a vegetação, permitindo assim a recuperação da área.

No caso da camada agricultável, foi adotada a ponderação 3 para a Área de Empréstimo 1 – Motocross, pelo fato da remoção de solo ter sido intensa na área, atingindo a camada de cascalho. A ponderação da Área de Empréstimo 2 - Rotatória foi escolhida como sendo 3 porque a área se encontra em exploração, havendo movimentação de veículos e máquinas que impedem sua recuperação.

Tomando-se agora os geoindicadores Textura e Estrutura do solo, a ponderação 3 foi definida para a Área de Empréstimo 1 – Motocross, pelo fato da área apresentar condições estruturais da camada de solo exposta com características que comprometem seu aproveitamento. A Área de Empréstimo 2 – Rotatória teve como ponderação o valor 1 pois apresenta ocorrência de camadas de cascalho a certa profundidade, a qual poderia comprometer parcialmente o aproveitamento da área em questão.

Em Aterro, foi adotada a ponderação 0 para as duas áreas visto que as mesmas não possuem aterros.

### 6.3.2 ROCHA/CASCALHO

#### Horizonte Impenetrável Exposto

A coluna de horizonte impenetrável exposto aborda se existe na área, rocha ou cascalho exposto. Portanto, a não existência de horizonte impenetrável exposto, ou seja, a presença de solo implicou em ponderação 0.

O cascalho foi ponderado com o valor 1, que representa situação um pouco desfavorável, mesmo que geralmente abaixo da camada de cascalho se encontre solo novamente. Vale ressaltar que se abaixo do cascalho existir camada de solo é possível que se retire o cascalho e adube o solo.

Já a presença de rocha recebeu ponderação 3 por ser uma situação muito desfavorável. A exposição de rocha implica maior degradação que cascalho, pois foi removido mais solo. A Tabela 10 contém tais ponderações.

**TABELA 10:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES PARA HORIZONTE IMPENETRÁVEL EXPOSTO

HORIZONTE IMPENETRÁVEL EXPOSTO (HIMPE)	PONDERAÇÃO
Não existe (presença de solo)	0
Cascalho	1
Rocha	3

#### Grau de intemperismo

Este geoindicador foi proposto para avaliar a intensidade do intemperismo por meio de observação de aspectos da rocha como cor, brilho, grau de fraturamento e tamanho das fraturas e a partir dessas observações seria feita a ponderação.

Como não foi possível identificar tal geoindicador nas áreas estudadas (por falta de acesso ao substrato rochoso), o mesmo se encontra aqui apresentado apenas como proposta, sem dados obtidos no presente trabalho.

No caso de pouco grau de intemperismo a ponderação seria 1. Nesse caso seria possível definir uma área com pouco grau de intemperismo observando-se nela a presença da composição rochosa saprolito o que proporcionaria um substrato mais viável para recuperação

da vegetação local em função da existência de mais nutrientes no solo. Se fosse observado no local de estudo um alto grau de intemperismo, a ponderação adotada deveria ser 3. A Tabela 11 apresenta tais ponderações.

**TABELA 11:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO GRAU DE INTEMPERISMO

GRAU DE INTEMPERISMO (GINTE)	PONDERAÇÃO
Não existe	0
Pouco intemperismo	1
Muito intemperismo	3

O resultado da ponderação dos geoindicadores para rocha/cascalho bem como a soma total das ponderações referente a esse componente pode ser observado na Tabela 12.

**TABELA 12:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE ROCHA/CASCALHO

ÁREAS	ROCHA/CASCALHO		
	HIMPE	GINTE	SROCH
MOTOCROSS	1	0	1
ROTATÓRIA	0	0	0

Com relação ao geoindicador Horizonte Impenetrável Exposto, a ponderação adotada para a Área de Empréstimo 1 – Motocross foi 1 devido à presença de cascalho no local. A ponderação 0 foi adotada na Área de Empréstimo 2 – Rotatória pelo fato da área não possuir cascalho em quantidade considerável.

### 6.3.3 VEGETAÇÃO

#### Cobertura vegetal

Pensou-se em se avaliar a vegetação existente anteriormente, com o geoindicador Vegetação Anterior (VANTE), entretanto tal análise não foi possível por não existirem imagens de satélites antigas com boa resolução.

A ponderação foi feita avaliando-se cada tipo de vegetação existente e atribuindo-se um valor a ela de modo que tal valor representasse melhor ou pior situação. Essa melhor ou pior situação foi avaliada de acordo com a porcentagem de cada tipo de vegetação existente em cada área. Essa observação foi possível com a análise de imagens Ikonos PS1 de propriedade da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira.

A ponderação de cada tipo de vegetação foi definida da seguinte forma: Solo exposto = 3, Vegetação Rasteira = 2, Vegetação Arbustiva, Vegetação Arbórea e Área com condições especiais, com sistema de drenagem e revegetação = 1 (ver Tabela 13).

**TABELA 13: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À VEGETAÇÃO**

COBERTURA VEGETAL (COVEG)	PONDERAÇÃO
Vegetação arbustiva e vegetação arbórea ou área com condições especiais, com sistema de drenagem e revegetação	1
Vegetação rasteira	2
Solo exposto	3

Os resultados obtidos bem como a soma total das ponderações referente a esse componente encontram-se na Tabela 14.

**TABELA 14: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE VEGETAÇÃO**

ÁREAS	VEGETAÇÃO	
	COVEG	SVEGE
MOTOCROSS	2	2
ROTATÓRIA	2	2

### 6.3.4 RECURSOS HÍDRICOS

#### Mananciais Superficiais na Área

Avaliou-se nesse caso a presença ou não de mananciais superficiais na área, de modo que para a ausência atribuiu-se o valor 0, para a existência e no caso dele estar conservado a ponderação adotada foi 1 e foi considerada 3 no caso de estar degradado.

A Tabela 15 apresenta as ponderações referentes ao geoindicador Mananciais Superficiais na área.

**TABELA 15: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AOS MANANCIAIS SUPERFICIAIS**

MANANCIAIS SUPERFICIAIS NA ÁREA (MASUP)	PONDERAÇÃO
Não existe	0
Existe conservado	1
Existe não conservado	3

### Nível Freático

A avaliação da profundidade do nível freático considera o potencial de comprometimento dos recursos hídricos subterrâneos fruto de ações na superfície do terreno. Sendo assim, foram consideradas classes de profundidade comumente consideradas para fins de avaliação e áreas para implantação de aterros sanitários, por se tratar de conhecimento mais disseminado no meio técnico.

A Tabela 16 apresenta as ponderações definidas. Os limites foram atribuídos com observação nos resultados da Sondagem Elétrica Vertical.

**TABELA 16: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À NÍVEL FREÁTICO**

NÍVEL FREÁTICO (NIFRE)	PONDERAÇÃO
> 10 m	0
5 < N.A. ≤ 10 m	1
N.A. < 5 m	3

O resultado da ponderação dos geoindicadores para recursos hídricos bem como a soma total das ponderações referente a esse componente pode ser observado na Tabela 17.

**TABELA 17: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE RECURSOS HÍDRICOS**

ÁREAS	RECURSOS HÍDRICOS		
	MASUP	NIFRE	SHIDR
MOTOCROSS	0	1	1
ROTATÓRIA	0	0	0

Devido ao fato de que não existem mananciais superficiais em ambas as áreas de estudo, a ponderação definida neste caso foi 0.

Quanto ao nível do lençol freático, foram adotadas ponderação 1 e 0 para a Área de Empréstimo 1 – Motocross e Área de Empréstimo 2 – Rotatória, respectivamente, baseado em observações nos resultados da Sondagem Elétrica Vertical.

## **6.3.5 RELEVO**

### Declividade dos Terrenos no Fundo da Cava

A caracterização da declividade dos terrenos no fundo da cava teve por objetivo verificar o quanto cada escavação modificou a declividade dos terrenos locais, não só

considerando seu valor, mas verificando-se a diferença entre ela e a declividade nas áreas de entorno.

Zuquette (1987) definiu limites baseando-se em critérios técnicos para análise de aptidão para diversos tipos de ocupação. Assim: 2% é o valor limite para declividade para enchentes e alagamentos, assim como para declividade natural para implantação de obras enterradas acompanhando a declividade do terreno; 5% é o limite máximo para obras de terraplanagem para rodovias e aeroportos com baixo custo (menor movimentação de terra) assim como limite inferior para irrigação por pivô central sem causar erosão; 10% é o limite máximo para obras viárias e enterradas, assim como para estabilidade de taludes de escavação, sem que sejam necessárias adoção de técnicas construtivas especiais; e 20% é o limite superior para quase todo tipo de ocupação com relação à problemas de movimentos de massa (tanto erosão como escorregamentos) em áreas de bacias sedimentares como a nossa.

Portanto, segundo Zuquette (1987), os limites para as declividades foram definidos conforme a Tabela 18.

**TABELA 18:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À DECLIVIDADE DOS TERRENOS NA CAVA

DECLIVIDADE DOS TERRENOS NA CAVA (DECLT)	PONDERAÇÃO
DECLT < 5%	0
5% ≤ DECLT < 10%	1
10% ≤ DECLT	3

#### Alterações Paisagísticas

A ponderação neste caso foi determinada por meio da verificação da presença ou não de alterações paisagísticas na área. Se, por exemplo, a alteração no relevo causou formas interessantes do ponto de vista paisagístico, analisaria se melhorou ou piorou.

Se não houve alteração paisagística a ponderação seria 0. Se houve e foi positiva, se foi muito positiva seria -3, se foi pouco positiva seria -1. E na situação em que houve alteração, mas a mesma foi negativa, a ponderação seria 1 para menor intensidade e 3 para maior intensidade (ver Tabela 19).

**TABELA 19:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES ÀS ALTERAÇÕES PAISAGÍSTICAS

ALTERAÇÕES PAISAGÍSTICAS (ALTPA)	PONDERAÇÃO
Não houve	0
Houve (positiva)	-X
Houve (negativa)	+X

#### Posição na Bacia

A ponderação referente à posição na bacia foi elaborada avaliando-se se a área de estudo estava no alto da encosta, o que determinava uma ponderação 1; no meio da encosta, ponderação 2; ou no vale do rio, o que atribuía ao geoindicador a ponderação 3.

Não se adotou ponderação 0, mas sim 1 para a posição no alto da encosta porque o fato da área de empréstimo existir seja em qualquer lugar já é um fato ruim. A ponderação para posição da área no vale do rio é maior porque se ela se localizar no vale do rio poderá facilmente causar dano ao curso d'água, assoreando-o por meio de seus sedimentos, por exemplo. A Tabela 20 apresenta tal ponderação.

**TABELA 20:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES A POSIÇÃO NA BACIA

POSIÇÃO NA BACIA (POBAC)	PONDERAÇÃO
Alto da encosta	1
Meio da encosta	2
Vale do rio	3

#### Distância do Manancial

Relacionado ao relevo, considerou-se também a distância do manancial. Se a área se encontra fora da Área de Preservação Permanente (APP) a ponderação atribuída é 0, parcialmente na APP é 1 e totalmente é 3. A delimitação da APP foi definida conforme a Resolução CONAMA, nº 303, de 20 de março de 2002.

As ponderações se encontram apresentadas na Tabela 21. As distâncias obtidas para a Área de Empréstimo 1 – Motocross e a Área de Empréstimo 2 - Rotatória, foram de 713 m e 292 m, respectivamente. Tais distâncias, medidas da área de empréstimo ao manancial mais próximo foram obtidas por meio do SIG Spring.

**TABELA 21:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À DISTÂNCIA DO MANANCIAL

DISTÂNCIA MANANCIAL (DIMAN)	PONDERAÇÃO
Fora da APP	0
Parcialmente na APP	1
Dentro da APP	3

Os resultados da ponderação, bem como a soma total das ponderações referente a esse componente se encontram apresentados na Tabela 22.

**TABELA 22:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO COMPONENTE RELEVO

ÁREAS	RELEVO				
	DECLT	ALTPA	POBAC	DIMAN	SRELE
MOTOCROSS	0	3	1	0	4
ROTATÓRIA	0	1	2	0	3

As duas áreas de estudo receberam ponderação 0 com relação à Declividade no dos Terrenos no Fundo da Cava por apresentarem declividade inferior a 5%.

Na Área de Empréstimo 1 – Motocross a ponderação com relação às alterações paisagísticas foi 3 devido a existência de no entorno, o que prova alteração paisagística consideravelmente grande. Na Área de Empréstimo 2 – Rotatória, como no entorno não existe mata, conclui-se que essa área na época do início da exploração já não tinha mata, portanto o impacto foi menor, ponderação 1.

Quanto à Posição na Bacia, a Área de Empréstimo 1 – Motocross recebeu ponderação 1 por se encontrar localizada no alto da encosta e a Área de Empréstimo 2 – Rotatória recebeu ponderação 2 por se localizar no meio da encosta.

Ambas as áreas receberam ponderação 0 no que diz respeito à Distância do Manancial por estarem localizadas fora da Área de Preservação Permanente.

### 6.3.6 ACESSOS, USO E OCUPAÇÃO

#### Uso e Ocupação do Solo

Nesse caso foi avaliado se o tipo de uso em cada área contribuiu para sua melhoria ou não. Para a ponderação foi definido o que é melhor ou pior entre os usos: urbano, pecuário e agrícola.

Para se definir o que é melhor nos três casos, tomou-se como base o fato da forma como o uso está sendo feito e também implicações que esse uso está tendo na área. Isso quer dizer que não adianta a área estar em uso, mas estar em mau uso. Vale lembrar que muitas vezes é melhor uma área que não tenha nenhum uso do que um uso que esteja degradando ainda mais essa área. No caso de existir uma área em avaliação próxima à área urbana, a ponderação nesse caso poderia ter ser 1, visto que pode se considerar que essa área possui indícios de ocupação. A Tabela 23 apresenta a ponderação definida.

**TABELA 23: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À USO E OCUPAÇÃO**

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (USEOC)		PONDERAÇÃO
Urbano	Sem projeto de drenagem	3
	Com projeto de drenagem	1
Pecuário	Plantio e conservação	0
	Extensiva	1
	Intensiva	3
Agricultura	Hortifruti	1
	Fruticultura	2
	Culturas anuais	3
Área em exploração		3
Sem uso algum		1
Recuperação da área		0

#### Vias de Acesso

Foram considerados os seguintes aspectos: não existe, existe conservada, existe não conservada e para cada um desses parâmetros foi atribuído um valor, conforme o grau de degradação que ele represente (ver Tabela 24).

**TABELA 24: PONDERAÇÕES REFERENTES ÀS VIAS DE ACESSO**

VIAS DE ACESSO (VIASA)	PONDERAÇÃO
Não existe	0
Existe conservada	1
Existe não conservada	3

O resultado da ponderação dos geoindicadores para acesso, uso e ocupação do solo, bem como a soma total das ponderações referente a esse componente pode ser observado na Tabela 25.

**TABELA 25:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES A ACESSO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

	ACESSO, USO E OCUPAÇÃO		
ÁREAS	USEOC	VIASA	SOCUP
MOTOCROSS	1	3	4
ROTATÓRIA	2	3	5

Com relação ao geoindicador Uso e Ocupação do Solo, a Área de Empréstimo 1 – Motocross apresentou a ponderação 1, por não ter uso e caso tivesse também, no máximo poderia ser utilizada para pecuária extensiva e mesmo assim receberia ponderação igual a 1. Vale ressaltar que essa área possui uma pista de Motocross abandonada. Mesmo que a pista estivesse em uso, o uso seria prejudicial à área, visto que a movimentação das motos aumentaria a compactação do solo e impossibilitam que a vegetação fosse recomposta no local.

A Área de Empréstimo 2 – Rotatória possui 50% de pecuária extensiva que determinou a ponderação 1 e 50% de área em exploração que representou uma ponderação é igual a 3. Fez-se então a média aritmética desses dois valores resultando na ponderação final 2.

A ponderação 3 foi adotada para ambas as áreas, no caso de Vias de Acesso, visto que tais vias nas duas áreas se encontram em estado de conservação ruim.

### 6.3.7 PROCESSOS GEODINÂMICOS

#### Erosão

Foram avaliados os tipos de erosão existentes nas áreas estudadas, no que diz respeito à sua dimensão e estágio evolutivo. A Tabela 26 apresenta tal ponderação.

**TABELA 26:** PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À EROÇÃO

EROSÃO (EROSA)	PONDERAÇÃO
Não existe/ não ativo	0
Sulco	1
Ravina	2
Voçoroca	3

#### Assoreamento

Esse geoindicador encontra-se abordado no trabalho, mesmo que em nosso caso não ocorra em nenhuma das áreas.

De grande complexidade em sua avaliação, tal geoindicador deve ser estudado com cautela no caso de existir, pois o assoreamento pode ter outras causas. Se houver assoreamento os sedimentos da área de empréstimo e os sedimentos que causaram o assoreamento devem ser analisados para se verificar se são ou não provenientes da área de empréstimo.

Devem ser feitas comparações entre os compostos presentes nos sedimentos do rio e da área. A “Área fonte” é indicada então de acordo com a composição dos sedimentos. É importante que se analise esse item porque os sedimentos provenientes da área de empréstimo poderiam assorear algum curso d’água, causando impacto ambiental (Tabela 27).

**TABELA 27: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES A ASSOREAMENTO**

ASSOREAMENTO (ASSOR)	PONDERAÇÃO
Não existe	0
Canal pouco assoreado (20%)	1
Canal muito assoreado (até 70%)	2
Canal totalmente assoreado	3

O resultado da ponderação dos geoindicadores para processos geodinâmicos bem como a soma total das ponderações referente a esse componente pode ser observado na Tabela 28.

**TABELA 28: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AOS PROCESSOS GEODINÂMICOS**

ÁREAS	PROCESSOS GEODINÂMICOS		
	EROSA	ASSOR	SGEOD
MOTOCROSS	0	0	0
ROTATÓRIA	0	0	0

A ponderação 0 foi adotada para as duas áreas de estudo e para os dois geoindicadores aqui avaliados de acordo com as observações feitas em cada caso, na definição das ponderações.

### 6.3.8 GEOMETRIA DA CAVA

#### Taludes da Cava

A coluna taludes da cava foi ponderada somente considerando os cantos da cava porque o interior já foi abordado no item Declividade dos Terrenos no Fundo da Cava.

Esse geoindicador depois de avaliado nos fornece respostas referentes à estabilidade dos taludes. Seria como uma “medida” do potencial de ocorrência de ruptura desses taludes ou da observação dos taludes já rompidos.

É importante observar que os limites das classes foram estabelecidos em função das características das áreas estudadas. É importante afirmar que os valores da Tabela 29 se referem, portanto, à região de estudo (Ilha Solteira). Para outras áreas deve ser avaliado o valor a ser atribuído para tais limites. Foi considerado para tanto, o talude mais íngreme de cada área.

Vale ressaltar que nas áreas estudadas as rupturas em taludes, quando ocorrem, possuem uma geometria tipicamente translacional mobilizando apenas uma fina camada de solo laterizado superficial, mesmo quando tais taludes são expostos em cortes com ângulos de 90°.

Na composição da valoração foram consideradas a inclinação e a altura dos taludes e depois se faz com os dois valores obtidos, uma média aritmética, obtendo-se assim as ponderações encontradas na matriz.

**TABELA 29: MATRIZ DE IMPACTOS REFERENTES AOS TALUDES DA CAVA**

TALUDES DA CAVA (TALCA)		PONDERAÇÃO
Altura	$< 2\text{m}$	1
	$2\text{m} \leq \text{altura} \leq 6\text{m}$	2
	$> 6\text{m}$	3
Inclinação	$\alpha < 30^\circ$	1
	$30^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$	2
	$\alpha > 45^\circ$	3

### Tamanho da Área

Como princípio, considerou-se que quanto maior a área, maior o dano ao meio. Os valores usados para limites das classes na Tabela 30 foram adotados de acordo com o tamanho das áreas estudadas. Para outras áreas devem ser considerados os dados locais.

**TABELA 30: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES AO TAMANHO DAS ÁREAS**

TAMANHO DA ÁREA (TAREA)	PONDERAÇÃO
$TAREA < 100000\text{m}^2$	1
$100000\text{ m}^2 \leq TAREA \leq 200000\text{m}^2$	2
$TAREA > 200000\text{ m}^2$	3

O resultado da ponderação dos geoindicadores para geometria da cava bem como a soma total das ponderações referente a esse componente pode ser observado na Tabela 31.

**TABELA 31: PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES REFERENTES À GEOMETRIA CAVA**

ÁREAS	GEOMETRIA DA CAVA		
	TALCA	TAREA	SGEOM
MOTOCROSS	3	3	6
ROTATÓRIA	3	1	4

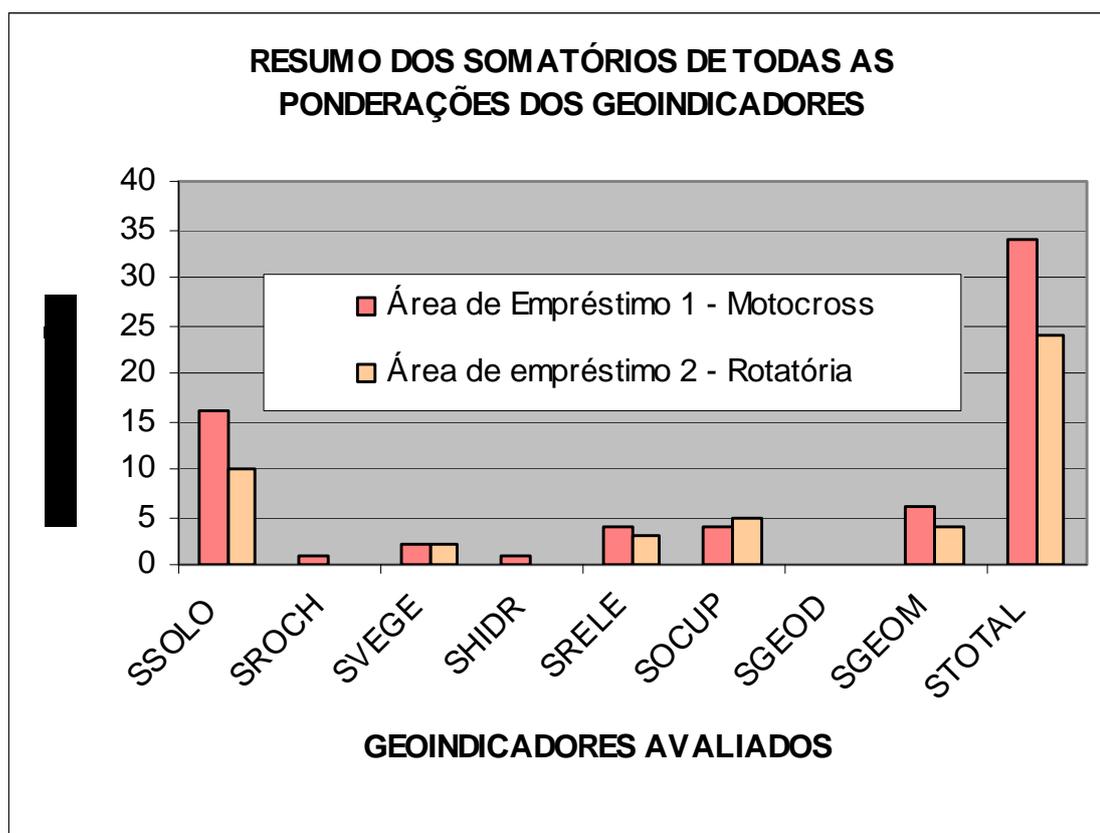
A seguir encontra-se apresentado na Tabela 32 um resumo de todos os somatórios referentes às ponderações dos geoindicadores, bem como também o somatório total (STOTAL) de todas as valorações de todas as colunas para cada área. Analisando tal somatório podemos ter uma idéia de quais áreas se encontram mais degradadas.

**TABELA 32: RESUMO DOS SOMATÓRIOS DE TODAS AS PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES**

ÁREAS	SOMATÓRIO DE TODAS AS PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES								
	SSOLO	SROCH	SVEGE	SHIDR	SRELE	SOCUP	SGEOD	SGEOM	STOTAL
MOTOCROSS	16	1	2	1	4	4	0	6	34
ROTATÓRIA	10	0	2	0	3	5	0	4	24

Os valores totais sugerem dois níveis de degradação para as áreas de empréstimo estudadas. O mais alto deles corresponde à maior área de empréstimo estudada (Área de Empréstimo 1 - Motocross), para a qual todos os componentes considerados apresentam valores significativos para a degradação ponderada. O valor de ponderação 24 compreende a Área de Empréstimo 2 - Rotatória, na qual a ponderação dos componentes: solo, uso e ocupação e geometria da cava tiveram papel determinante no nível de degradação observado.

O Gráfico 7 representa os resultados da Tabela 32 em forma de barras com o intuito de uma melhor visualização e comparação dos resultados obtidos.



**GRÁFICO 7:** GRÁFICO DE BARRAS DO RESUMO DOS SOMATÓRIOS DE TODAS AS PONDERAÇÕES DOS GEOINDICADORES

A importância relativa do componente solo é óbvia uma vez que o processo tratado (exploração de áreas de empréstimo) envolve exatamente a remoção do solo das áreas. As alterações do relevo são relevantes no processo de degradação quando representam mudanças na declividade dos terrenos que podem ter influência marcante na dinâmica da evolução do modelado local.

Os tipos de ocupação mais danosos, caso houvesse ocupações nas áreas correspondem às áreas de empréstimo que passam a ser usadas pela população ou pelo poder público municipal para lançamento ou disposição de resíduos sólidos (tanto resíduos de construção como resíduos domiciliares).

Da mesma forma que para o componente relevo, as alterações na geometria da cava são importantes no processo de degradação quando potencializam os processos de dinâmica superficial, especialmente com a execução de taludes muito íngremes ou muito altos.

## **6.4 REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DOS RESULTADOS**

Interpretados os resultados e ponderados os geoindicadores, a fase seguinte consistiu-se do tratamento das informações no Sistema de Informações Geográficas.

As atividades a seguir descritas foram desenvolvidas no Sistema de Informações Geográficas Spring, versão 4.3.2, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

### **6.4.1 MAPAS DE SÍMBOLOS PROPORCIONAIS**

Uma das formas clássicas de representação espacial de informações de diferentes pontos quando se pretende efetuar comparações entre resultados são os mapas de símbolos proporcionais, pois os mesmos ilustram, por classes de tamanho dos símbolos, as classes do impacto representado.

Os mapas de símbolos proporcionais foram utilizados como alternativa de comparação e representação espacial dos diferentes valores de degradação obtidos para as áreas de empréstimo estudadas, tanto no total como por componente, como se observa a seguir.

A primeira representação de símbolos proporcionais que se apresenta na Figura 11 ilustra a participação relativa da degradação mensurada para cada componente avaliado em termos da degradação total valorada.

Os diferentes tamanhos dos círculos representam o total de impactos, ou seja, no total a Área de Empréstimo 1 - Motocross apresenta mais impactos que a Área de Empréstimo 2 - Rotatória. As fatias representam o percentual dos impactos em cada componente (solo, por exemplo) com relação ao total de impactos ocorridos.

Para a Área de Empréstimo 1 – Motocross, o valor total obtido para os geoindicadores (34 pontos) foi resultado principalmente das grandes dimensões da área e do fato da exploração ter sido muito mais intensa, com escavações profundas (até mais de 10m de profundidade) e com taludes íngremes (até 90°) chegando mesmo a tingir a camada de cascalho.

A Área de Empréstimo 2 – Rotatória, com menor valor total de degradação (24 pontos) apesar de a degradação medida ser significativa, o fato de ser uma área com

menores dimensões e menor profundidade de escavação resultou em valor global não tão significativo.

A Figura 11 ilustra também que determinados componentes tiveram participação mais importante na medida da degradação obtida, em particular os componentes: solo (cor marrom), relevo (cor amarela), acessos, uso e ocupação do solo (cor vermelha) e geometria da cava (cor laranja). Dada tal disparidade de importância relativa dos componentes no processo, cada um deles será discutido na seqüência.

O componente solo (Figura 12) foi sem dúvida o mais importante no processo de definição da degradação. O resultado não poderia ser diferente visto que o trabalho trata exatamente de degradação do solo. Tal componente teve papel muito relevante nas áreas estudadas, fato devido especialmente à exploração intensa (em termos de escavação) ou extensa (em termos de área utilizada).

As alterações identificadas no componente relevo (Figura 13) tiveram como seria de se esperar em função das escavações efetuadas, papel importante na valoração final da degradação nas áreas.

Na Área de Empréstimo 2 - Rotatória a importância relativa das alterações no relevo foi menos importante. As alterações paisagísticas foram menos significativas em função da menor área escavada.

Para a Área de Empréstimo 1 - Motocross, as alterações paisagísticas foram as intervenções mais significativas no relevo.

As alterações em acessos, uso e ocupação (Figura 14) foram constatadas nas duas áreas de empréstimo analisadas e mostraram resultados marcantes.

Na Área de Empréstimo 1 – Motocross, as alterações ocorridas inviabilizaram usos futuros a menos que se façam grandes investimentos com remediação. Já a Área de Empréstimo 2 – Rotatória, encontra-se em exploração de solo ativa com grande potencial de ampliação da área escavada.

As características definidas no tópico “geometria da cava” mostraram-se bastantes significativas no processo de avaliação da degradação (Figura 15), especialmente no que diz respeito à inclinação dos taludes (importante para as duas áreas) e dimensões da cava (especialmente para a área denominada Motocross).

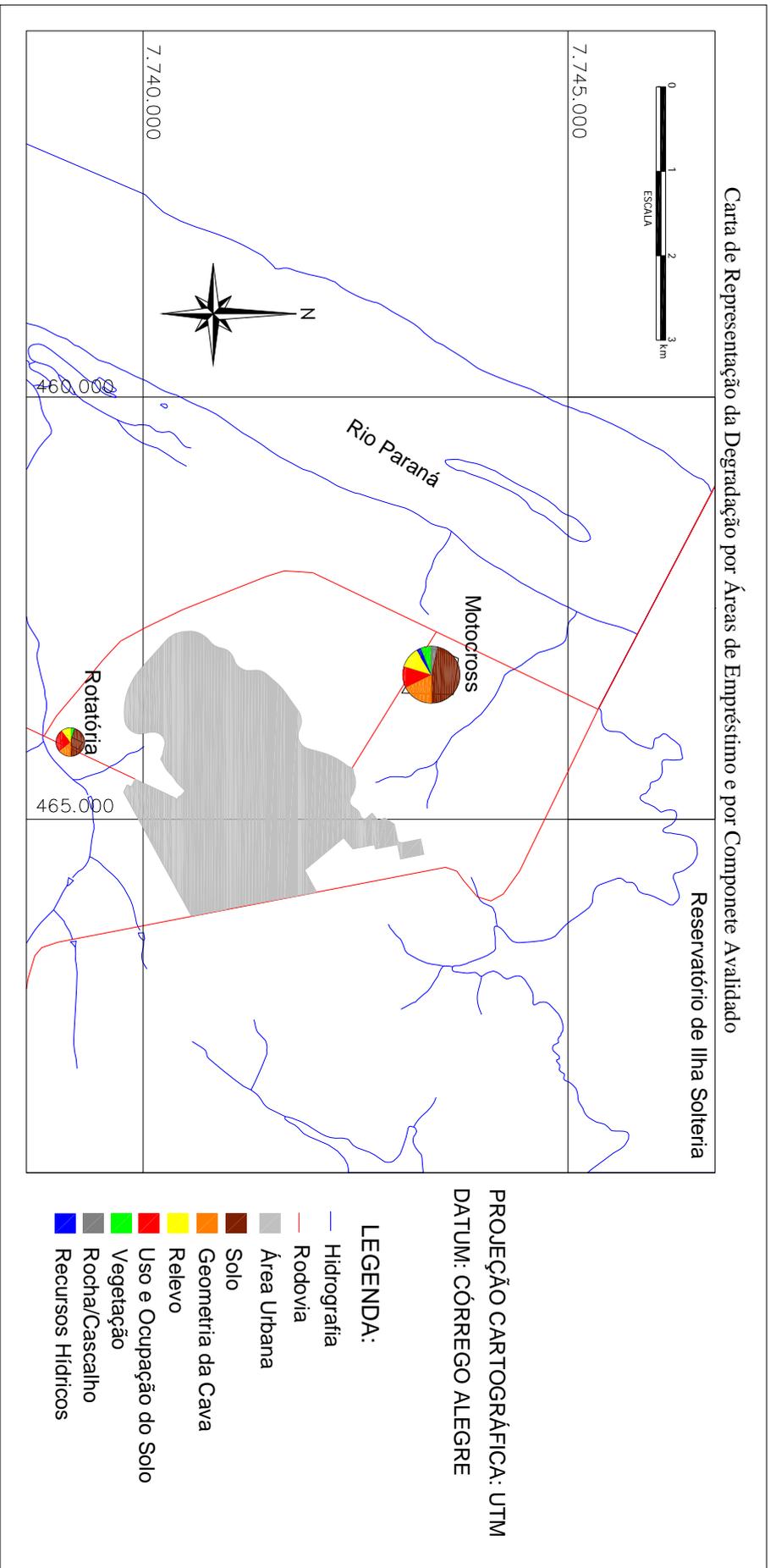
As análises dos componentes que tiveram menor relevância nas áreas encontram-se apresentada a seguir.

Como não foram constatados processos erosivos ou de assoreamento nas áreas avaliadas, não houve valoração para os geoindicadores propostos para processos geodinâmicos. No entanto, é fundamental que se destaque que se trata de uma peculiaridade das áreas estudadas, especialmente em função do predomínio de baixas declividades no relevo local e da grande distância das áreas de empréstimo aos cursos d'água.

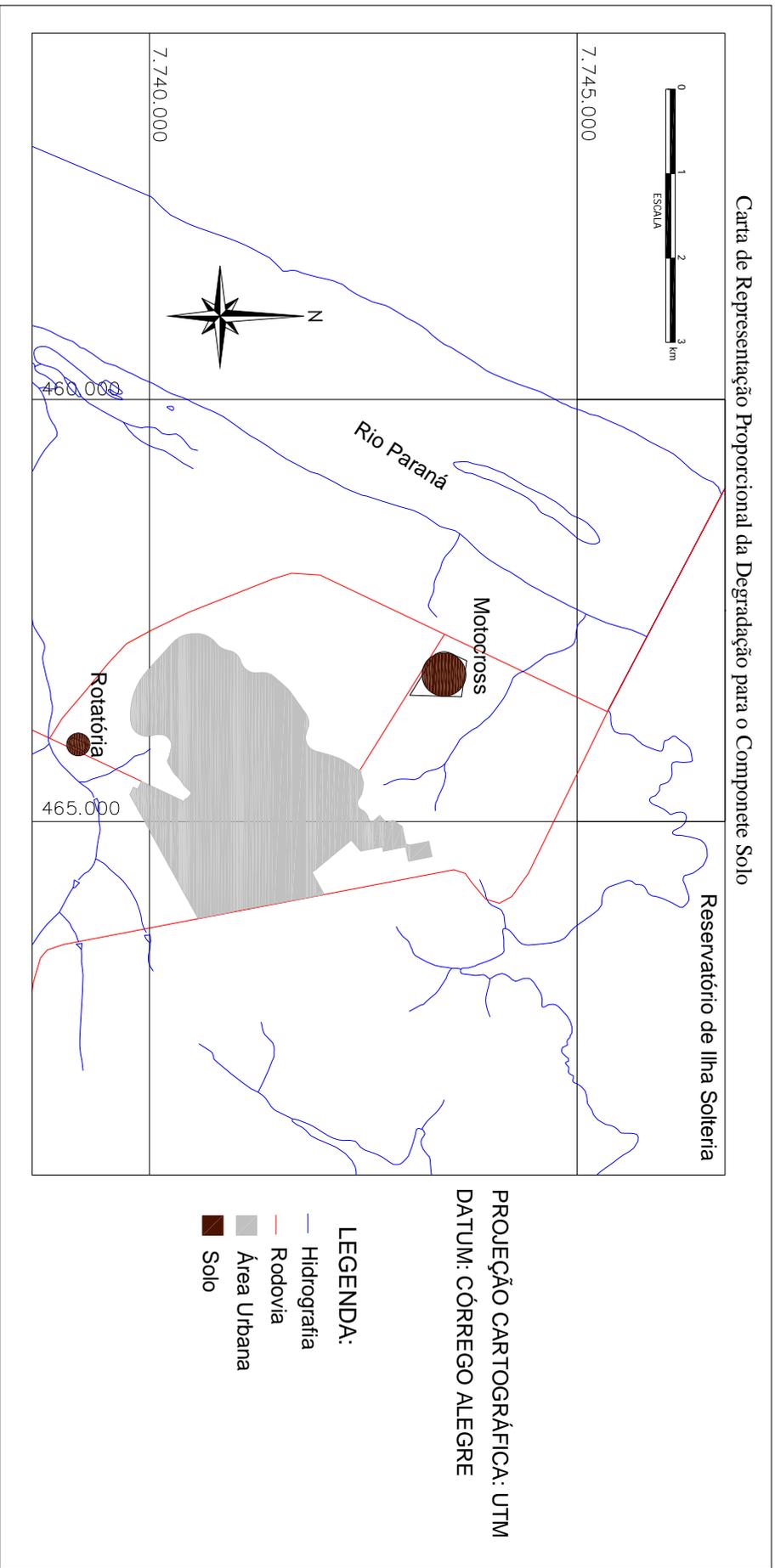
O componente rocha/cascalho (Figura 16) foi importante apenas na avaliação da degradação da Área de Empréstimo 1 - Motocross, tendo se manifestado nessa área por consequência da escavação a qual prosseguiu até expor a camada de cascalho na base do perfil.

A valoração dos geoindicadores do componente Vegetação (Figura 17) mostrou-se igualmente importante para as áreas de empréstimo em análise. Tal geoindicador reflete a remoção da cobertura vegetal pré-existente e não recebeu valoração mais significativa porque ambas as áreas antes da exploração do solo já haviam sofrido com a remoção de sua vegetação original para desenvolvimento de atividade de pecuária.

Os resultados obtidos com a valoração dos geoindicadores para recursos hídricos (Figura 18) não foram muitos significativos, resultando em valores apenas para a Área de Empréstimo 1 - Motocross. Tal fato se justifica porque a Área de Empréstimo 2 – Rotatória se situa em área onde a profundidade do nível freático é superior a 14m, havendo pouca possibilidade de perda de qualidade dos recursos hídricos subsuperficiais por escavação.



**FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO POR ÁREAS DE EMPRÉSTIMO E POR COMPONENTE AVALIADO**



**FIGURA 12:** REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA O COMPONENTE SOLO

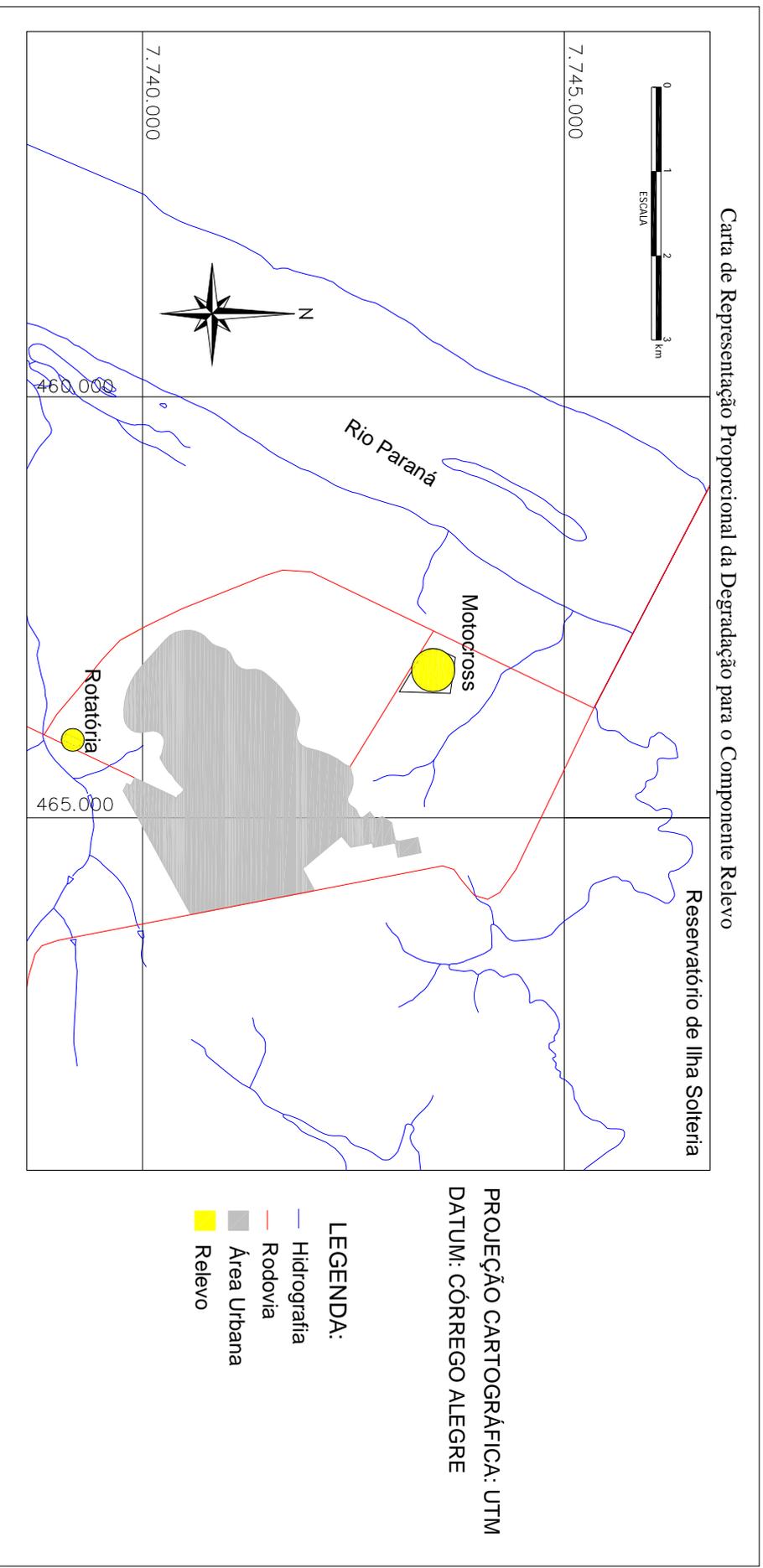


FIGURA 13: REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA O COMPONENTE RELEVO

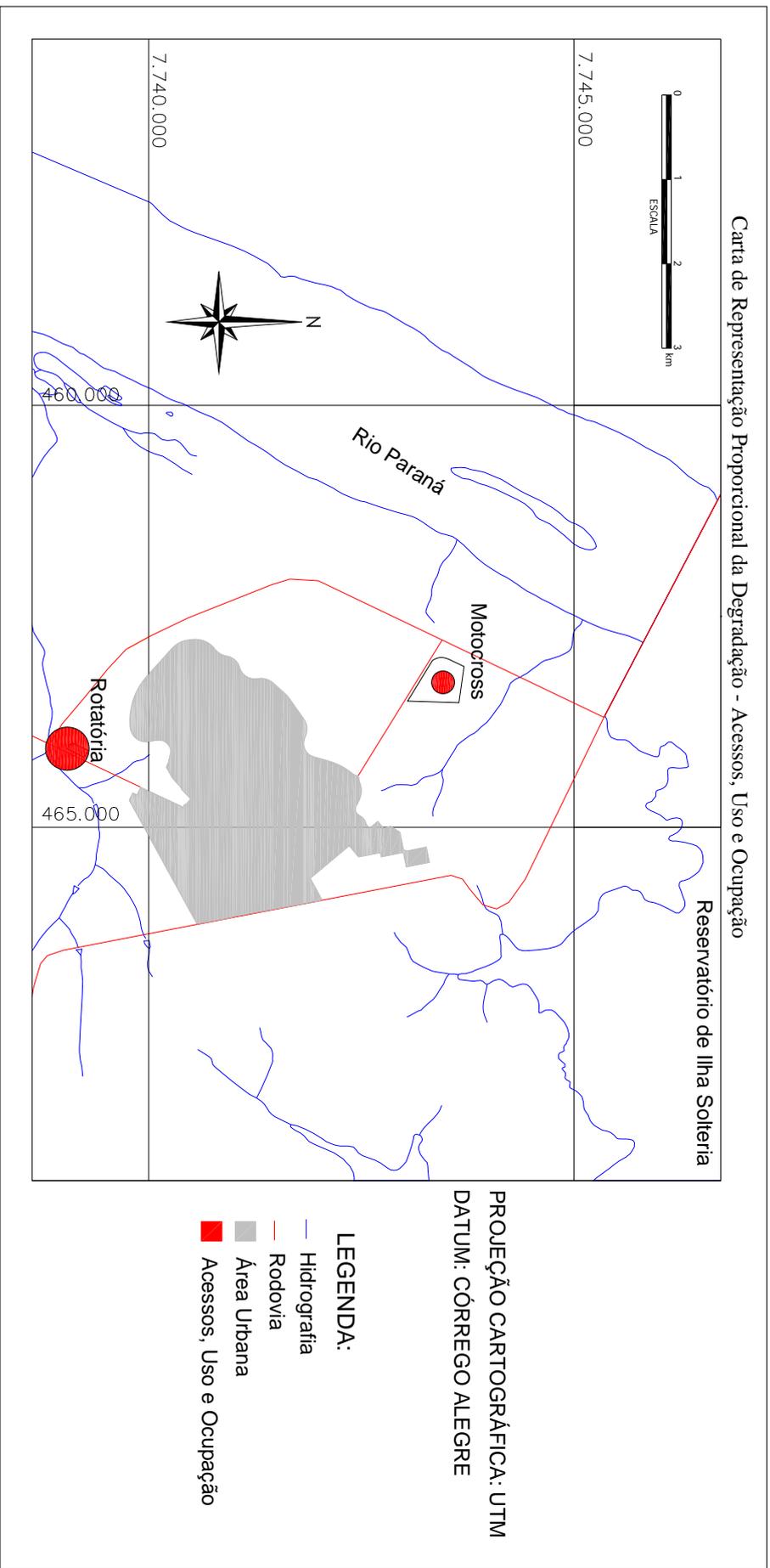
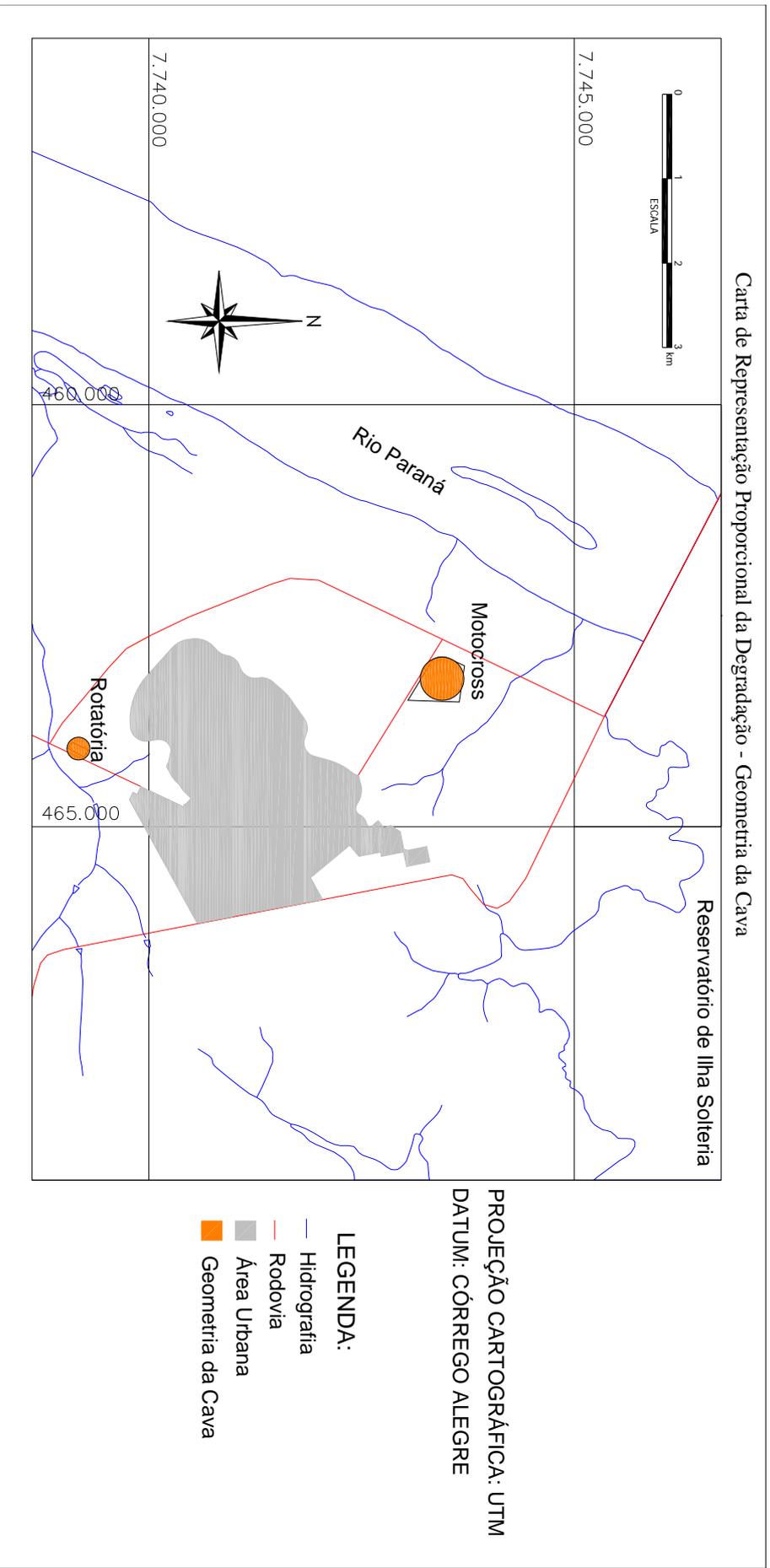
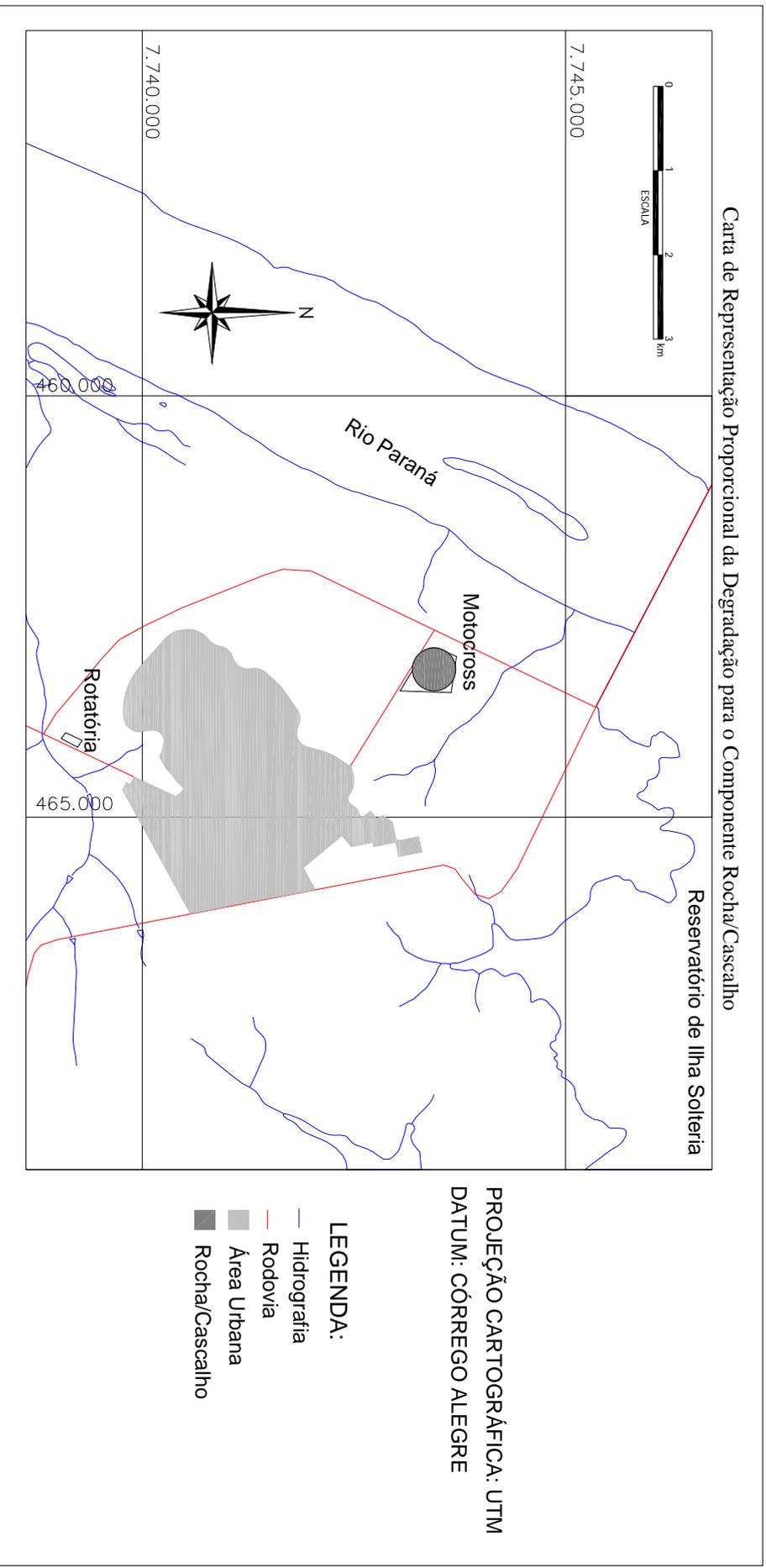


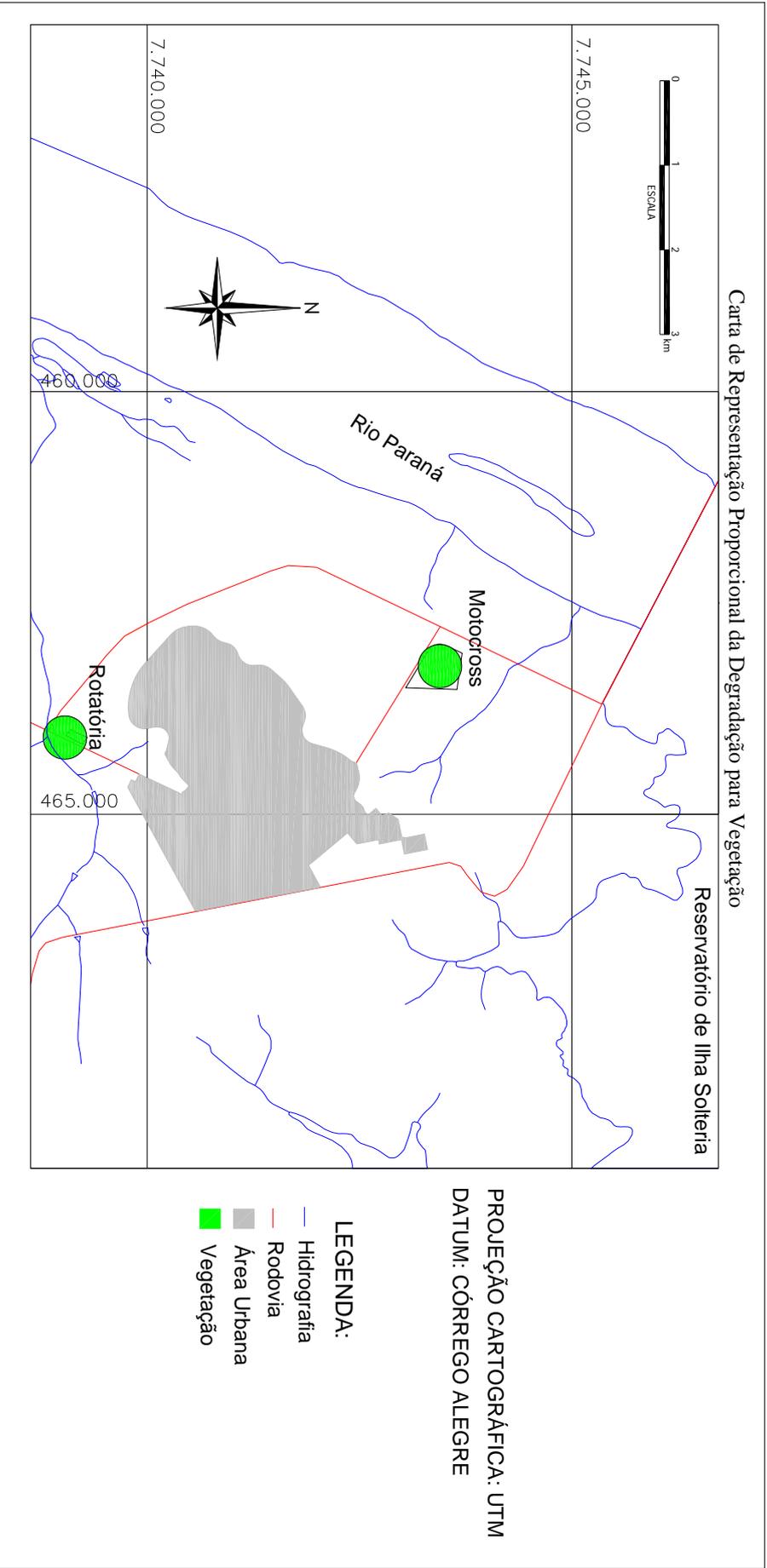
FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO – ACESSOS, USO E OCUPAÇÃO



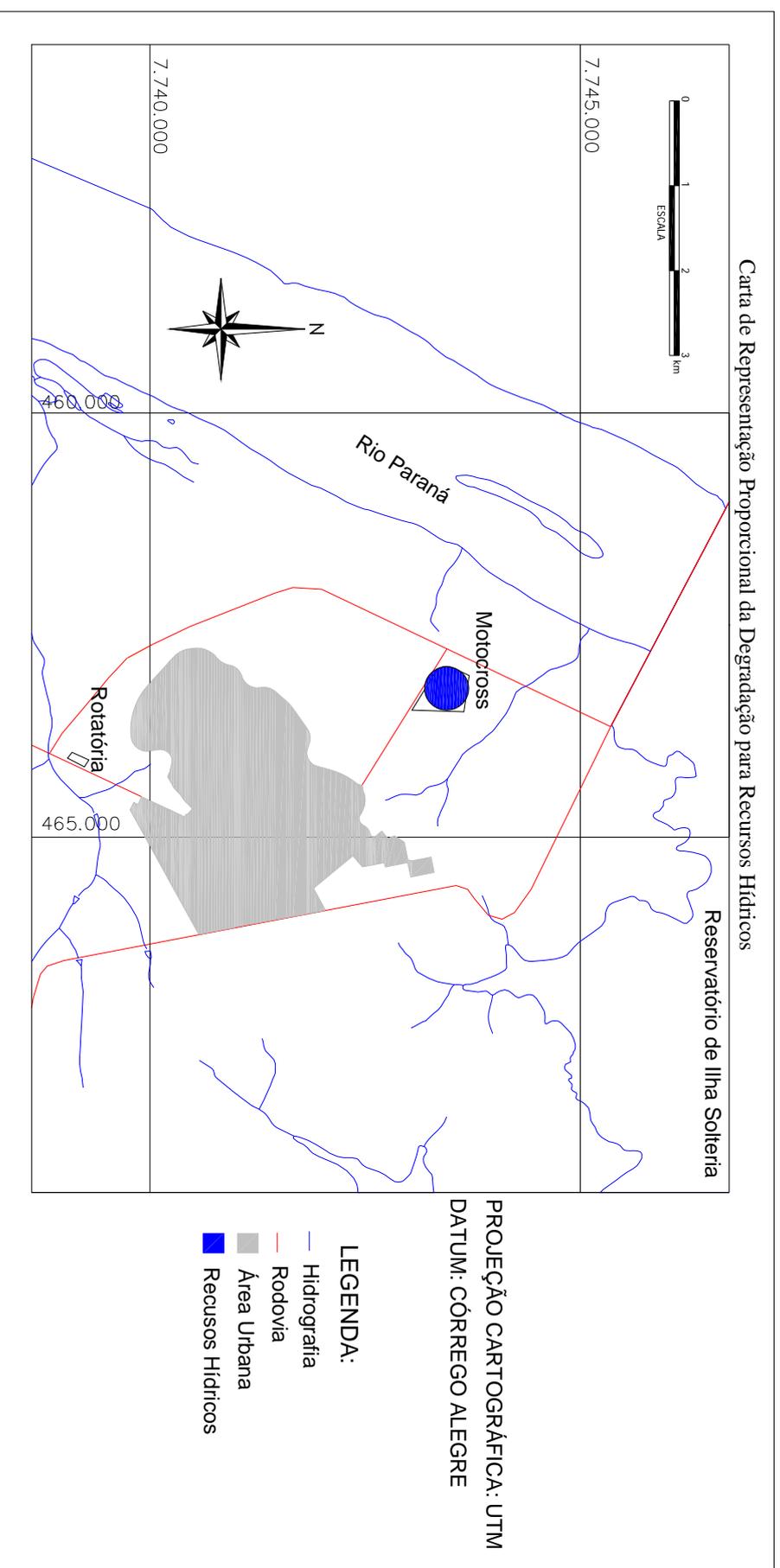
**FIGURA 15:** REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO – GEOMETRIA DA CAVA



**FIGURA 16:** REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA O COMPONENTE ROCHA/CASCALHO



**FIGURA 17: REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA VEGETAÇÃO**



**FIGURA 18:** REPRESENTAÇÃO PROPORCIONAL DA DEGRADAÇÃO PARA RECURSOS HÍDRICOS

A partir da observação da Tabela 32 bem como também dos resultados obtidos por meio dos mapas de símbolos proporcionais, pode-se classificar as áreas em muito degradada, no caso da Área de Empréstimo 1 – Motocross, e degradada Área de Empréstimo 2 – Rotatória.

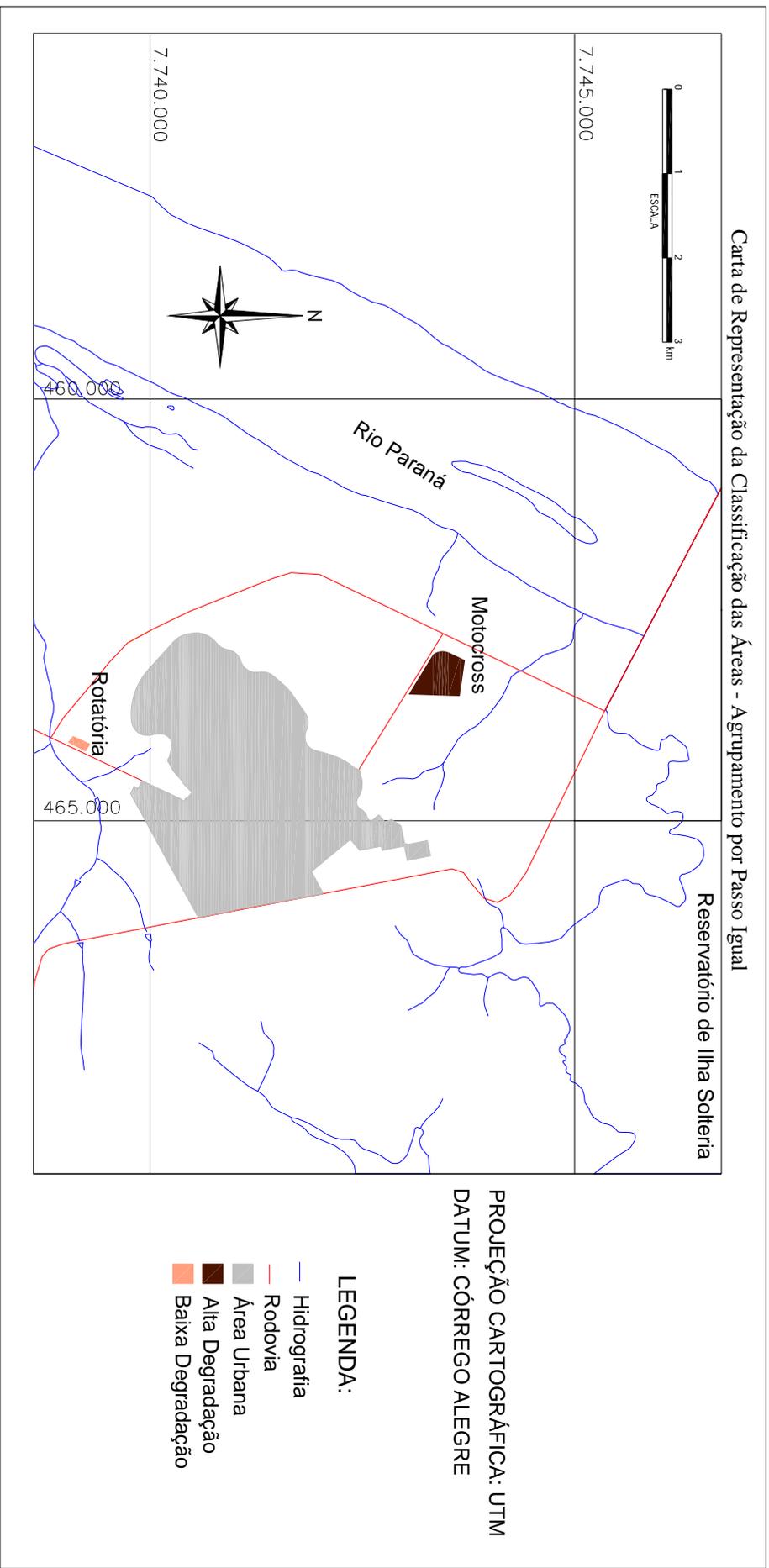
#### **6.4.2 AGRUPAMENTO POR PASSO IGUAL**

Outra forma possível de apresentação dos resultados da valoração da degradação em termos dos geoindicadores usados é a distribuição das áreas de empréstimo em classes em função da degradação total estabelecida. Em tais circunstâncias o usual é a divisão dos objetos em classes em termos relativos de resultado obtido.

A forma de classificação aplicada nesse caso foi a divisão das áreas em classes de acordo com a degradação total mensurada utilizando-se a ferramenta de agrupamento por passos iguais do Spring. O programa não permitiu a utilização de três classes (uso comum no meio técnico-científico com as designações “alta”, “média”, e “baixa” para as classes) visto que só estavam sendo avaliadas 2 áreas. Isso seria, portanto possível se houvessem três áreas sendo avaliadas, visto que o algoritmo interno do programa só permite que sejam adotados número de classes igual ao número de itens contidos na amostra em estudo.

A definição das classes no agrupamento por passo igual gera “n” classes contendo o mesmo intervalo de variação dos valores em cada grupo. O intervalo é definido a partir da relação  $\text{Intervalo} = (\text{Valor Máximo} - \text{Valor Mínimo}) / \text{Número de Classes}$ . Para o presente caso isso resultou em dois intervalos para degradação assim distribuídos: (Baixa Degradação) 24-28 e (Alta Degradação) 29-34.

A classificação resultante de tal processo (ilustrada na Figura 19) incluiu na classe “alta degradação” (cor marrom) a Área 1 – Motocross e para o intervalo “baixa degradação” a Área 2 – Rotatória (cor-de-rosa claro).



**FIGURA 19:** CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS OBTIDA EM AGRUPAMENTO POR PASSO IGUAL

A Área de Empréstimo 1 – Motocross enquadrrou-se, portanto, na classe “Degradação Alta”. Apesar de se tratar de constatação óbvia, já que tal área mostra o maior valor para o somatório dos geoindicadores utilizados e que tal soma é bastante superior à soma da Área 2 – Rotatória, deve-se observar que os maiores valores obtidos para a degradação nessa área se devem aos geoindicadores propostos para o componente solo (que responde por quase a metade do somatório - 16) e, de forma secundária, aos componentes ambientais relevo, ocupação e geometria da cava.

A Área de Empréstimo 2 – Rotatória apresentou a classificação “Baixa Degradação”. Esse resultado se deve às condições ambientais da área, que apesar de apresentar área de exploração limitada, se encontra ainda em fase de exploração. Em função dessa condição, a área apresenta valores bastante significativos de degradação para os componentes ambientais solo e uso e ocupação do solo.

### **6.4.3 DISCUSSÃO DOS GEOINDICADORES PROPOSTOS**

#### **6.4.3.1 Solo**

Os geoindicadores propostos para o componente solo mostraram-se adequados à caracterização do estado da degradação nas áreas e sua valoração expressou bem as diferenças entre as áreas de empréstimo avaliadas. Houve necessidade de se lançar mão de técnicas de maior custo, como sondagens e ensaios de laboratório, para confirmação das interpretações oriundas das observações de campo.

No entanto, os resultados obtidos confirmaram as interpretações de campo, mostrando que um levantamento de campo cuidadoso em taludes de corte da cava e em áreas vizinhas é suficiente para definir as características do solo na área.

Naturalmente, tal tarefa será facilitada em áreas com relevo mais íngreme, onde as maiores declividades favorecerão as observações de campo, ou em áreas de várzeas e fundos de vale (com desmonte hidráulico) onde a exposição do perfil será mais evidente.

O uso de alternativas de prospecção de maior custo, especialmente sondagens mecânicas e geofísicas e ensaios de microscopia eletrônica, se fez necessário no presente trabalho, visto se tratar de uma proposta metodológica que precisava de confirmação das interpretações.

#### **6.4.3.2 Rocha/Cascalho**

A definição do horizonte impenetrável exposto (seja ele rocha alterada ou cascalho, como no caso presente) e o grau de intemperismo do substrato são informações de fácil obtenção quando a escavação se estendeu até tais profundidades, e têm grande importância na avaliação do potencial das áreas para uso futuro, pois influi decisivamente no suporte à cobertura vegetal.

No caso presente, sua definição foi fundamental já que possibilita não só o conhecimento do estado da área, mas uma avaliação do potencial de exploração que a área apresenta sem grande ampliação dos danos, caso se julgue mesmo necessária sua exploração em defesa de outra área ainda não escavada.

#### **6.4.3.3 Vegetação**

A avaliação da cobertura vegetal atual foi tarefa de execução simples no campo, porém a definição dos percentuais das áreas ocupados por cada tipo de cobertura vegetal (quando havia mais de um tipo) foi um pouco mais difícil e só foi possível graças à existência de imagens aéreas com alta resolução espacial.

Na definição da vegetação que ocupava anteriormente a área ou da distribuição espacial dos tipos de cobertura vegetal existentes em áreas de empréstimo com dimensões muito grandes, a inexistência de produtos de sensores remotos com resolução espacial maiores que 20m acarretaria a realização de trabalhos de campo mais detalhados, com a realização de levantamentos de áreas no campo utilizando-se ferramentas de topografia.

#### **6.4.3.4 Recursos Hídricos**

O reconhecimento dos mananciais próximos à área ou internos a ela, é tarefa bastante fácil e pode ser efetuada em trabalhos de escritórios com consultas a mapas ou produtos de sensores remotos, mas requer uma visita ao campo para que se possa confirmar a perenidade dos mesmos e suas condições atuais.

Tais observações permitirão ainda a verificação da existência de processos de assoreamento, ou mesmo outros que possam comprometer a qualidade dos recursos hídricos superficiais em função da existência da área de empréstimo.

A determinação da profundidade do nível freático, no entanto, pode requerer o uso de técnicas mais caras e sofisticadas (como sondagens de simples reconhecimento ou geofísicas) quando as informações anteriores (poços, por exemplo) consultadas não permitirem tal determinação.

Como se trata de geoindicador fundamental para avaliação da qualidade dos mananciais subsuperficiais, tal informação pode ser obtida por perfurações com menores custos, como sondagens a trado ou escavação de poços manuais.

#### **6.4.3.5 Relevô**

Assim como o solo, o relevo é um dos componentes geralmente mais alterados em áreas de empréstimo, sendo as mudanças na declividade dos terrenos a intervenção mais comum nesses casos. A obtenção de tais mudanças na declividade é geralmente um procedimento de baixo custo, mas que pode ser demorado em função do processo adotado. Levantamentos expeditos de campo, com técnicas de topografia podem acelerar tal processo, especialmente quando se lança mão de técnicas de geoprocessamento.

As alterações paisagísticas dependem apenas de trabalhos de campo para sua observação e podem ser um instrumento bastante interessante, não só para definição da intensidade de exploração da área, como de alternativas de remediação.

O geoindicador “posição na bacia” pode ser de grande utilidade para previsões de dinâmica superficial dos terrenos, mas pode perfeitamente ser substituído por outros cujo entendimento pelos usuários da metodologia seja mais natural; como landform, ou unidade de terreno, por exemplo.

#### **6.4.3.6 Acessos, Uso e ocupação**

A caracterização de uso e ocupação do solo é tarefa de execução fácil dada à diversidade de alternativas para sua obtenção, tais como trabalhos de campo, consulta a informações anteriores como mapas, técnicas de sensoriamento remoto, e mesmo consultas às autoridades do poder público e mesmo moradores vizinhos. Além disso, é informação de alta relevância para a destinação futura da área considerando-se seu uso passado, atual, previsto e os usos nas imediações, que refletem os interesses imediatos da população vizinha.

Com base no conhecimento de que as vias de acesso a áreas de empréstimo são geralmente fontes de impactos ambientais, uma vez que são executadas sem projeto ou técnicas construtivas adequadas já que são caminhos provisórios, esse geoindicador foi incluído no presente trabalho.

Com relação à Área 2- Rotatória tal situação não se confirmou por se tratar de uma área muito próxima à área urbana e que, portanto se valeu de vias já existentes, as quais haviam sido executadas de forma apropriada. A Área 1 – Motocross, pelo contrário, apresenta um acesso mal conservado.

#### **6.4.3.7 Processos Geodinâmicos**

Nas áreas avaliadas no presente trabalho tais processos não tiveram manifestação significativa, em particular em virtude das baixas declividades e da distância a corpos de água. No entanto, a literatura mostra que esses são os danos ambientais mais comuns em áreas de empréstimo e imediações, especialmente quando a exploração se dá por desmonte hidráulico, indicando que tal avaliação não pode ser desconsiderada.

Vale dizer também que dadas as condições locais não foram previstos neste trabalho geoindicadores para avaliar impactos devidos à movimentos gravitacionais de massa ou identificação de áreas com potencial de ocorrência de tais processos, mas que em outros locais, onde processos dessa natureza sejam comuns, devem ser previstos geoindicadores para avaliar tal questão.

#### **6.4.3.8 Geometria da cava**

A avaliação das condições geométricas da cava, especialmente em termos dos taludes de escavação, é fundamental não só para avaliar a degradação existente como para definição do potencial de ocorrência de processos danosos (em particular, movimentos gravitacionais de massa).

Nas áreas de empréstimo aqui avaliadas tal geoindicador não teve papel relevante na diferenciação entre as áreas, mas a identificação das condições dos taludes é condição fundamental em projetos de recuperação / remediação.

Quanto a dimensão da área, vale dizer que só tem sentido a adoção de tal geoindicador nas condições em que se pretenda avaliações comparativas (caso deste trabalho,

por exemplo). Em situações em que se pretenda avaliar uma área específica tal geoindicador só seria útil na avaliação para estudos de novas destinações para a área.

#### **6.4.4 PROPOSTA METODOLÓGICA**

A seguir se encontram descritas as etapas constituintes da proposta metodológica a ser aplicada para avaliação de impactos em áreas sujeitas à extração de recursos naturais.

##### **A. Levantamento de Informações e Materiais**

Coleta de informações de fontes bibliográficas, cartográficas e produtos de sensores remotos. Ajuste ou elaboração de base cartográfica.

##### **B. Trabalhos de campo**

- a. Levantamentos provenientes de observação
- b. Levantamentos provenientes de atividades de prospecção geotécnica

##### **C. Coleta de Amostras e Ensaio**

##### **D. Proposição de Geoindicadores**

##### **E. Tratamento das informações**

- a. Montagem do Banco de Dados
- b. Registro em SIG

##### **F. Avaliação da degradação**

- a. Valoração de geoindicadores
- b. Definição da intensidade da degradação

##### **G. Proposição de medidas**

## 7 CONCLUSÃO

O uso de geoindicadores permitiu uma definição confiável do nível de degradação nas áreas de empréstimo estudadas. O fato da lista de geoindicadores ser bastante vasta, contendo dezoito geoindicadores no total, permitiu que os resultados refletissem a importância relativa dos componentes do meio considerados na degradação ambiental em cada caso.

A possibilidade de classificação das áreas em função do nível de degradação, tanto em termos de valores totais quanto de componentes ambientais mais afetados, permite que se priorizem ações de intervenção por áreas de empréstimo ou por componente ambiental a ser recuperado, favorecendo a aplicação racional dos recursos técnicos e financeiros.

Nesse caso, conclui-se que a área que possui maior prioridade de intervenção é a Área de Empréstimo 1 - Motocross, por se apresentar em nível de degradação maior com relação à Área de Empréstimo 2 – Rotatória.

A Área de Empréstimo 2 – Rotatória apresenta melhores condições de intervenção com técnicas de engenharia por possuir dimensões menores e solo com maior potencial de uso atual.

Na Área de Empréstimo 1 – Motocross as intervenções ficam mais restritas, pelo fato do nível de degradação ter sido tão alto. Seria quase que impossível uma restauração da área por meio de remediação, ou seja, seria muito difícil fazer com que a área voltasse ao seu estado original, principalmente pelo fato dela apresentar cascalho exposto.

Observando os resultados da microscopia eletrônica e análise química semi-quantitativa (Ensaio de Energia Dispersiva), chegou-se à conclusão de que ambas as áreas apresentam aproveitamento agropastoril limitado devido à compactidade do solo, à exposição de cascalho e à acidez do solo, muito comum nos solos da região, fato que seria solucionado, no caso da Área de Empréstimo 2 – Rotatória, com a aplicação de insumos e correção da acidez do solo.

A Área de Empréstimo 1 - Motocross, de acordo com as conclusões aqui apresentadas possui prioridades de intervenção, porém tais intervenções seriam dispendiosas e os custos com remediações seriam altíssimos, tornando a possibilidade de restauração da área praticamente impraticável, visto que a área encontra-se em alto nível de degradação.

Seria possível que tal área fosse reabilitada, ou seja, aproveitada para outros usos, como por exemplo, atividades de lazer para os moradores das propriedades rurais da vizinhança, com a implantação de quadras poliesportivas. A área em questão poderia também ser utilizada em educação ambiental, ou seja, servindo de exemplo em aulas práticas relacionadas a meio ambiente, em que o professor leva seus alunos em visita e propõe aos mesmos que analisem os problemas presentes na área, bem como também façam sugestões de aproveitamento para a mesma.

Com relação à Área de Empréstimo 2 – Rotatória, podemos considerar que embora parte dela encontre-se em processo de exploração ainda, observando-a em sua totalidade no atual momento, conclui-se que se caso a cidade se expandisse chegando a tomar essa área, seria possível o seu aproveitamento para tal finalidade, visto que a escavação não foi tão profunda.

Tal área também seria bem empregada para finalidades agropastoris, desde que tal propósito fosse realizado com técnicas confiáveis de recuperação e posterior manutenção da área quanto à sua conservação. Para utilidade com fins agrícolas, seria importante a correção do solo quanto à acidez, como dito anteriormente. Nas práticas pecuárias, seria importante o cuidado com o pasto, de tempos em tempos, para que assim se evite degradação da área com relação ao componente solo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**. solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**. solo – sondagens de simples reconhecimento com SPT - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**. solo – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**. solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8223**. tabelas de sondagem/ulagem. Rio de Janeiro, 1992.

BARROW, C. J. Land Degradation: An overview. **Land degradation**, New York: Cambridge University Press, p. 1-12. 295p., 1991.

BERGER, A. R. Assessing rapid environmental change using geoindicators. **Environment Geology**, Berlin, v. 32, n. 1, p. 35–44, 1997.

BERGER, A. R. The geoindicator concept and its application: An introduction. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 1, p. 1-14.

BITAR, O. Y. **Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. 1997. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BITAR, O.Y.; AUGUSTO FILHO, O.; IWASA, O.Y.; CUNHA, M.A.; FORNASARI FILHO, N. Indicadores geológico-geotécnicos na recuperação ambiental de áreas degradadas em regiões urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7, 1993, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: ABGE, 1993a. v. 2, p.177-183.

BLAIKIE, P.; BROOKFIELD, H. Defining and debating the problem. In: BLAIKIE, P.; BROOKFIELD, H. **Land degradation and society**. USA and Canada: Routledge, 1987. Cap.1, p. 1-26.

BLUM, W. E. H. Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W. E. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC press LLC, 1998. Cap. 1, p. 1-16. (Advances in soil science)

BORGHETTI, N. R. B; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: S.n, 2004. Cap. 2, p. 97-123.

BRASIL. **Decreto nº 97.632**, de 10 de abril de 1989. Regulamentação do artigo 2º, Inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/97632-89.htm>>. Acesso em: 9 abr. 2007.

BRASIL. **Resolução CONAMA 001**, de 23 de janeiro de 1986. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 48 do Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983, para efetivo exercício das responsabilidades que lhe são atribuídas pelo artigo 18 do mesmo decreto, e considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, resolve. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 20 mar. 2007.

BRASIL. **Resolução CONAMA 303**, de 20 de maio de 2002. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de

1990, e tendo em vista o disposto nas Leis nos 4.771, de 15 de setembro e 1965, 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e o seu Regimento Interno, e

Considerando a função sócio-ambiental da propriedade prevista nos arts. 5º, inciso XXIII, 170, inciso VI, 182, § 2º, 186, inciso II e 225 da Constituição e os princípios da prevenção, da precaução e do poluidor-pagador;

Considerando a necessidade de regulamentar o art. 2º da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, no que concerne às Áreas de Preservação Permanente;

Considerando as responsabilidades assumidas pelo Brasil por força da Convenção da Biodiversidade, de 1992, da Convenção Ramsar, de 1971 e da Convenção de Washington, de 1940, bem como os compromissos derivados da Declaração do Rio de Janeiro, de 1992;

Considerando que as Áreas de Preservação Permanente e outros espaços territoriais especialmente protegidos, como instrumentos de relevante interesse ambiental, integram o desenvolvimento sustentável, objetivo das presentes e futuras gerações, resolve. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 01 ago. 2008.

BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S.; PILKEY, O. H. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, Amsterdam, v. 42, p. 647-670, 1999.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Unicamp, 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Cap. 1, p. 1-5.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Introdução. In: CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Cap. 2, p. 1-33.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, New York, v.20, n.3, p. 395-403, 1996.

CAMPAGNOLI, F. **A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na bacia do alto Tietê, SP.** 2002. 192 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CANUTI, P.; CASAGLI, N.; ERMINI, L.; FANTI, R.; FARINA, P. Landslide activity as a geoindicator in Italy: significance and new perspectives from remote sensing. **Environment Geology**, Berlin, v. 45, p. 907-919, 2004.

CHRISTÓFARO I. S. I.; NUNES, J. H. Reabilitação de Caixas de empréstimo laterais – uma abordagem interdisciplinar. In: SEMINÁRIO NACIONAL: A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS, 1999, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1999. p.311-328.

COLTRINARI, L. Natural and anthropogenic interactions in the Brazilian tropics. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems.** Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 17, p. 295-310.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO - CESP. **Ilha Solteira: a cidade e a usina.** São Paulo: CESP, 1988. 93p. ( Fascículos de História da Energia Elétrica em São Paulo, v. 2).

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA IRRIGAÇÃO NA REGIÃO DE URUBUPUNGÁ – CINDIRU. **Minuta do termo de Referência para o Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Social para o desenvolvimento da Agricultura Irrigada na Região de Urubupungá.** Ilha Solteira, 1995. 32p.

CORRÊA, R. S. Degradação e recuperação de áreas no Distrito Federal. In: CORRÊA, R. S.;MELO FILHO, B. **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado.** Brasília: Paralelo 15, 1998a. Cap. 1, p. 13-20.

CORRÊA, R. S. Manejo de substratos e de áreas escavadas. In: CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Paralelo 15, 1998b. Cap. 7, p. 117-138.

CORRÊA, R. S.; LEITE, L. L. Desmatamento e mineração em unidade de conservação. In: CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Paralelo 15, 1998. Cap. 3, p. 29-48.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Cap. 3, p. 1-35. ( INPE-10506-RPQ/249 ).

DIAS, E. G. C. S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo**: a etapa de acompanhamento. 2001. 283 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DISSANAYAKE, C. B. Assessing environmental geochemistry and health in the tropics. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 7, p. 119-133.

EDMUNDS, W. M. Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 8, p.135-150.

ENGEVIX. UHE de Barra Grande – Relatório de impacto ao meio ambiente. Disponível em: <[www.engevix.com.br](http://www.engevix.com.br)>. Acesso em: 10 set. 2005.

GIEDRAITIENE, J.; SATKUNAS, J.; GRANICZNY, M.; DOKTOR, S. The chemistry of groundwater: a geindicator of environmental change across the Polish-Lithuanian border. **Environment Geology**, Berlin, v. 42, p. 743-749, 2002.

GOOGLE EARTH. Google Earth. Disponível em: <<http://earth.google.com.br/>>. Acesso em: 25 de mai. 2007.

GOOGLE EARTH. Google Earth. Disponível em: <<http://earth.google.com.br>>. Acesso em: 20 de jul. 2008.

GUPTA, A. Geoindicators for tropical urbanization. **Environment Geology**, Berlin, v. 42, p. 736-742, 2002.

HIGGINS, R. D.; WOOD, J. Geoindicators: a tool for monitoring the ecosystem and understanding resources. In: CONFERENCE ON RESEARCH AND RESOURCE MANAGEMENT IN PARKS AND ON PUBLIC LANDS, 11, 2001, Hancock. **Crossing boundaries in park management**. Hancock, Michigan: The George Wright Society, 2001. p. 239-244.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. IBGE cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 25 mai. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Georeferenced Information Processing System. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em: 17 fev. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 2v.

INTERGRAPH MAPPING AND GEOSPATIAL SOLUTIONS. **Working with GeoMedia Professional**. Disponível em: <<http://support.intergraph.com/documents/DJA0807A0.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2007.

INTERNATIONAL UNION GEOLOGICAL SCIENCES – IUGS. International Union of Geological Sciences. Disponível em: <<http://www.lgt.lt/geoin/topic.php?tid=checklist>>. Acesso em: 10 jan. 2007.

JOHNSON, D. N.; LAMB, P.; SAUL, M.; WINTER-NELSON, A. E.; SAUL, M.; JOHNSON, D. L.; AMBROSE, S. H.; BASSETT, T. J.; BOWEN, M. L.; CRUMMEY, D. E.; ISAACSON, J. S. Meanings of environmental terms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, n.3, p. 581-589, 1997.

KESSELRING, A. E. B.; KESSELRING, R. C. S. Reabilitação de caixas de empréstimo laterais: uma abordagem interdisciplinar. In: SEMINÁRIO NACIONAL: A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS. Foz do Iguaçu, 1999. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1999. p. 347-364.

KLIMAS, A.; GREGORAUSKAS, M. Groundwater abstraction and contamination in Lithuania as geoindicators of environmental change. **Environment Geology**, Berlin, v. 42, p. 767-772, 2002.

LANCASTER, N. Geoindicators from desert landforms. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 15, p. 265-282.

LIMA, E. A. C. F.; SILVA, H. R.; ALTIMARE, A. L. Uso atual da terra no município de Ilha Solteira, SP, Brasil: riscos ambientais associados. **HOLOS Environment**, Rio Claro, v.4, n.2, p.81-96, 2004.

LOLLO, J. A. Caracterização geotécnica da área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP) com o uso de formas de relevo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABGE, 1998. (CD-ROM).

McCALL, G. J. H. Geoindicators of rapid environmental changes: the urban setting. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 18, p. 311-318.

MELO, A. C.; SILVA, F. M.; MENEGUETTE, A. A. C. Atlas interativo urbano: implementação e disponibilização via www de um protótipo para Presidente Prudente, SP. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v.1, n.2, p. 63-78, 2003.

MORTON, A. R. Geoindicators of coastal wetlands shorelines. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 12, p. 207-230.

MORTON, R. A. Coastal geoindicators of environmental change in the humid tropics. **Environment Geology**, Berlin, v. 42, p. 711-724, 2002.

NEIMANIS, V.; KERR, A. Developing national environmental indicators. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 22, p. 369-376.

NESJE, A. Geological indicators of rapid environmental change: glacier fluctuations and avalanche activity. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 3, p. 31-45.

OSTERKAMP, W. R. Geoindicators for river and river-valley monitoring in the humid tropics. **Environment Geology**, Berlin, v. 42, p. 725-735, 2002.

OSTERKAMP, W. R.; SCHUMM, S. A. Geoindicators for river and river-valley monitoring. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 6, p. 97-114.

PEREIRA, A. P. O.; TACON, K. M.; SINAY, L.; SINAY, M. C. F.; NAKED, R. L. Estudo de impacto ambiental para licenciamento de projetos rodoviários. In: SEMINÁRIO NACIONAL: A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS. Foz do Iguaçu, 1999. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1999, p. 335-346.

PIMENTEL, V. C. R. **Alternativas de solução para os impactos físicos de barragens**. 2004. 360 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos - SP, com auxílio de geoprocessamento**. 2006. 233 f.

Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PORTO, O. M. **Cartas Temáticas Digitais do Município de Ilha Solteira/Sp para Auxílio à Gestão Territorial**. 2001. 33f. Monografia (Curso de Licenciatura Plena e Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS - Campus de Três Lagoas – CEUL, 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA. **Plano diretor participativo-2007**. Disponível em: <<http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/planodiretor/>>. Acesso em: 15 de maio 2007.

RASCH, M.; CHRISTIANSEN, H. H.; HANSEN, B. U.; HASHOLT, B.; HUMLUM, O.; JAKOBSEN, B. H.; NIELSEN, N. Greenland landscapes elements as indicators of rapid environmental change. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 5, p. 69-92.

REGO NETO, C. B. **A integração de geoindicadores e reparcelamento do solo na gestão ambiental urbana**. 2003. 231 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.73-80, 2007.

RÖHM, S. A. O que é sistema de informações geográficas. **Ngeo-UFSCar**. São Carlos: USP/EESC, 2005. (Curso de Especialização em Geoprocessamento, Apostila - Módulo 1).

ROMANOVSKII, N. N.; GRAVIS, G. F.; MELNIKOV, E. S.; LEIBMAN, M. O. Periglacial processes as geoindicators in the cryolithozone. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap. 4, p. 47-68.

SANTO, E. L. ; SÁNCHEZ, L. E. GIS applied to determine environmental impact indicators made by sand mining in a floodplain in southeastern Brazil. **Environment Geology**, Berlin, v. 41, p. 628-637, 2002.

SHEN, G. T. Rapid change in the tropical ocean and use of corals as monitoring systems. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 9, p. 155-169.

STOCKING, M. Measuring land degradation. In: BLAIKIE, P.; BROOKFIELD, H. **Land degradation and society**. USA and Canadá: Routledge, 1987. Cap.3, p. 49-63.

STOCKING, M. Soil erosion in developing countries: where geomorphology fears to tread! **Catena**, Amsterdam, v. 25, p. 253-267, 1995.

TAVARES, A. B.; CRUZ, S. P.; LOLLO, J. A. Geoindicadores para a caracterização de estado de diferentes ambientes. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 5, n. 2, p. 42-57, 2008.

TEIXEIRA, J.A.G. Impactos ambientais da atividade mineral na RMSP. In: SEMINÁRIO SOBRE PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 1, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS/ABGE/SBG-SP, 1992. p. 63-75.

VANCE, R. E.; WOLFE, S. A. Geological indicators of water resources in semi-arid environments: Southwestern interior of Canada. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 14, p. 251-263.

WEST, L. T.; BOSCH, D. D. Scaling and extrapolation of soil degradation assessment. In: LAL, R.; BLUM, W. E. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC press LLC, 1998. p. 359-376. (Advances in soil science).

YOUNG, R. S.; BUSH, D. M.; PILKEY, O. H. Evaluating shoreline change and associated risk from coastal hazards: an inexpensive qualitative approach. In: BERGER, A. R.; IAMS

W. J. **Geoindicators:** assessing rapid environmental changes in earth systems. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 11, p. 193-206.

ZUQUETTE L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras.** 1987. 3.v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; COLLARES, J. Q. S. Land degradation assessment based on environmental geoindicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceará, Brazil. **Environment Geology**, Berlin, v. 45, p. 408-425, 2004.

## **ANEXO 1**

### **RELATÓRIO DE SONDAGENS DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT**

INTERESSADO

173

José Augusto de Lollo

*código*

**R078/06**

PROJETO

Avaliação da Degradação do Meio Físico por Áreas de Empréstimo em Ilha Solteira (SP) Usando Geoindicadores e Sistema de Informações Geográficas

PESQUISA

Avaliação de Degradação Ambiental

*ata*

Relatório de sondagens à percussão

**8/12/06**

**PROJETO: AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO MEIO FÍSICO POR ÁREAS DE EMPRÉSTIMO UTILIZANDO GEOINDICADORES E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE ILHA SOLTEIRA (SP)**

**Local: ILHA SOLTEIRA /SP**

**Código do Empreendimento: R078/06**

**Assunto: RELATÓRIO DE SONDAGENS DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT**

**Data: 18/12/2006**

## MEMORIAL DESCRITIVO

### 1 INTRODUÇÃO

As sondagens foram executadas pelo processo à percussão, de acordo com a NBR 6484/01 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT (Standard Penetration Test) – Método de Ensaio, cujas finalidades, para a aplicação em Engenharia Civil, são:

- a) Determinação dos tipos de solo;
- b) Posição do nível d'água;
- c) Índices de resistência à penetração(N).

O método consiste na cravação de amostrador padrão, sendo medidas as resistências oferecidas pelo terreno à sua cravação, a cada metro, resultando na determinação do tipo de solo e do índice de resistência, bem como do nível do lençol freático.

Os resultados obtidos das medidas SPT expressos em número de golpes de um peso de 65 kg (caindo de uma altura de 75 cm) necessários à cravação dos 45 cm do amostrador encontram-se indicados nos perfis anexos a este relatório, bem como as demais especificações, conforme as normas técnicas.

### 2 PROCEDIMENTOS

#### 2.1 Execução das sondagens

Inicialmente foi feita, para cada perfuração, a limpeza de uma área para permitir o desenvolvimento de todas as operações sem obstáculos.

As sondagens foram iniciadas utilizando-se trado cavadeira manual até a profundidade 1 m de profundidade, e nas operações subsequentes da perfuração, intercaladas às de ensaio de amostragem, foi utilizado trado helicoidal.

Quando o avanço da perfuração com o emprego do trado helicoidal foi inferior a 50 mm após 10 minutos de operação, passou-se ao método de perfuração com circulação d'água, denominado lavagem.

A operação de perfuração por circulação d'água foi realizada utilizando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação. O material foi removido por meio da circulação de água realizada por bomba motorizada, por meio da composição da perfuração.

Durante a lavagem foi utilizado tubo de revestimento para a realização dos ensaios subseqüentes, alternadamente com a operação de perfuração e circulação de água (lavagem).

A sondagem a percussão foi dada por terminada quando ocorreu a condição de impenetrabilidade do solo ou quando solicitada pelo contratante.

O nível d'água do lençol freático não foi detectado nos furos executados, até as profundidades investigadas.

### **3 CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO**

O equipamento padrão utilizado nas perfurações, compõe-se dos seguintes elementos: torre com roldana, tubos de revestimento ( $d = 64$  mm), trado concha ou cavadeira, trado helicoidal, trépano de lavagem, amostrador padrão tipo Terzaghi e Peck, cabeças de batente, martelo padronizado para a cravação do amostrador, baldinho, medidor de nível d'água, trena, recipientes para armazenamento das amostras, bomba d'água, caixa d'água e ferramentas gerais necessárias para a operação da aparelhagem.

### **4 ENSAIOS DE PENETRAÇÃO**

O ensaio de penetração consiste na cravação do barrilete amostrador no solo por meio de quedas sucessivas do martelo. A cada metro, a partir do primeiro metro de profundidade, foi registrado o número de golpes necessários para a penetração dos 45 cm do amostrador padrão SPT, por meio da queda de um peso de 65 kg, caindo de uma altura de 75 cm.

As dimensões e detalhes construtivos do penetrômetro estão rigorosamente de acordo com as normas da ABNT.

### **5 AMOSTRAGEM**

As amostragem são representativas dos materiais atravessados. As amostras obtidas das sondagens a percussão foram dos seguintes tipos:

a) Amostras do barrilete amostrador SPT, constituídas pela parte inferior do material obtido no amostrador; e

b) Amostra do trado, constituídas por material obtido durante a perfuração e coletadas na parte inferior da broca do trado.

As amostras de cada metro de profundidade foram cuidadosamente acondicionadas e enviadas para a empresa para a classificação tátil-visual.

## **6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Os resultados finais de cada sondagem estão apresentados na forma de perfis individuais a seguir.



Interessado : José Augusto de Lollo						SONDAGEM A PERCUSSÃO SP2 - MOTOCROSS COTA -330					
Projeto : Pesquisa						DATA DE INÍCIO - 11/12/06    TÉRMINO - 11/12/06 COORD. N - 7743215    E - 463459					
Local: Ilha Solteira - SP											
RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO - SPT NO. DE GOLPES/30CM				NUMERO DE GOLPES	PROF. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	CONSISTÊNCIA OU COMPACTIDADE	N. A. (m)	
40	30	20	10								
			30/08	308	0,38	0 0 0		PEDREGULHOS MÉDIOS E GRANDES		SECO	
							SEDIMENTOS ALUVIONARES	IMPENETRÁVEL: 0,38M			
Leitura	Data / Hora	N. A. (m)	Método	Início (m)	Fim (m)	Lavagem por tempo - 10min.		OBS:			
1	11/12/2006	SECO	T. Cavadeira	0,00	0,30	Prof. de início (m) :		N. A.: SECO			
2			T. Espiral			Estágio 1 (cm) :					
3			Lavagem			Estágio 2 (cm) :					
						Estágio 3 (cm) :					
PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO											
Relatório nº	Desenhista :	Escala :	Folha :								
078/06	ACF	1 : 100	11/11								
Resp. Técnico :			Data								
			18/12/2006								
ZEIDE NOGUEIRA FURTADO CREA: 600 653 251											
				 www.oesteengenharia.com.br							
Rua Regente Feijó, 415 - Araçatuba - SP - CEP: 16010540 Fone/Fax: 18-36236540 - e-mail: oeste@oesteengenharia.com.br											





**OESTE ENGENHARIA LTDA**

CREA 026275

**Marcelo Camargo Furtado**

CREA SP: 0 600 695180

**OESTE ENGENHARIA LTDA**

CREA 026275

**Zeide Nogueira Furtado**

CREA SP: 0 600 6532 51

**ANEXO 2**

**RELATÓRIO DOS LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS**

## **Relatório Técnico**



### **Levantamento geofísico**

**Execução: SIGEO – SOLUÇÕES INTEGRADAS EM GEOTECNOLOGIAS**

**Solicitante: José Augusto de Lollo**

**Janeiro de 2008**

## **Resumo**

Realizou-se nos dias 7 e 8 de janeiro de 2008, por solicitação do senhor José Augusto de Lollo, campanha de estudo geofísico por meio da caracterização geoeletrica dos materiais geológicos em subsuperfície, que tiveram como objetivo a determinação do perfil litológico das áreas de interesse.

Para alcançar esse objetivo foi utilizada a metodologia geofísica da eletrorresistividade, com a técnica da sondagem elétrica vertical, empregando o arranjo Schlumberger.

### **1. Introdução Teórica**

Segundo ORELLANA (1972) a prospecção geofísica é um ramo da física aplicada que estuda a localização de delimitação de estruturas em subsuperfície, devido ao contraste de alguma de suas propriedades físicas com relação ao meio circundante, por intermédio de observações realizadas na superfície da terra.

Dentre as diversas metodologias existentes na geofísica não se pode estabelecer relações de superioridade, pois a eficácia dessas metodologias depende da área a ser aplicado o método sobre o problema proposto.

#### **1.1. A Eletrorresistividade**

A eletrorresistividade é um método geoeletrico baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais, tendo sido utilizado nos mais variados campos de aplicação das geociências.

O método da eletrorresistividade baseia-se no estudo do potencial elétrico tanto dos campos elétricos naturais, existentes na crosta terrestre, como dos campos artificialmente provocados. A partir de medições do potencial elétrico na superfície pode-se determinar, no subsolo, a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas (Telford et al., 1990). Os campos elétricos estudados em prospecção são bastante variados.

Alguns minerais podem atuar como uma bateria e criar seu próprio campo elétrico, constituindo um método especial chamado de Potencial Espontâneo.

O mais freqüente é enviar energia ao terreno, criando assim, campos artificiais cuja deformação permite deduzir características geológicas ou minerais do subsolo.

Para tal, utiliza-se corrente contínua ou corrente alternada, sendo essa última a mais usada. As frequências utilizadas em prospecção são, preferencialmente, as mais baixas possíveis devido ao fato de que a profundidade de penetração diminui à medida que se aumenta a frequência.

Suas principais aplicações encontram-se nos mapeamentos geológicos, mineração, prospecção de água subterrânea, engenharia civil e meio ambiente.

Do ponto de vista econômico, a principal vantagem do método elétrico é o seu baixo custo. Na prospecção elétrica utilizam-se, em geral, três propriedades fundamentais:

- a) Resistividade: define a quantidade de corrente elétrica que atravessa uma camada quando aplicado uma diferença de potencial;
- b) Constante dielétrica: define a capacidade de armazenamento de cargas elétricas nos materiais, geradas pela introdução de corrente alternada de alta frequência no subsolo; e
- c) Atividade eletroquímica da rocha: responsável pelo aparecimento de correntes elétricas naturais geradas sem qualquer influência dos campos elétricos artificiais.

Qualitativamente, resistividade é uma medida de dificuldade que um determinado material impõe à passagem de uma dada corrente elétrica ou, o inverso, a condutividade é a facilidade com que a corrente elétrica passa através de certo material.

A resistividade é designada por ( $\rho$ ), dada em Ohm.m e a condutividade ( $\sigma$ ), dada em S/m, sendo a relação entre elas  $\rho = 1/\sigma$ . Numericamente, a resistividade é igual à resistência (em ohm) medida entre os lados opostos de um cubo do material que se desejar medir.

A resistividade elétrica das rochas e minerais é uma propriedade que depende de vários fatores. Por exemplo, a resistividade elétrica das rochas cristalinas (pouco porosas) é normalmente alta. No entanto, se esta rocha estiver muito fraturada, a água que circula através das fraturas contendo sais minerais dissolvidos diminuirá bastante a resistividade da rocha.

Além da presença de água em fraturas e poros das rochas, a presença de minerais condutivos faz baixar o valor da resistividade. No entanto, essa mudança só se faz notar quando a quantidade de minerais condutivos excede 10% do volume da rocha (Fernandes, 1984). A tabela 1 mostra algumas resistividades médias de algumas rochas.

**Tabela 1** - Resistividades médias de algumas rochas (Fernandes, 1984).

ROCHA OU SOLO	RESISTIVIDADE (ohm.m)
Granito	de $3 \times 10^2$ a $> 10^3$
Diabásio	de 20 a $2 \times 10^4$
Sienito	de $10^2$ a $10^5$
Folhelho	de 10 a $10^4$
Calcário	de 50 a $5 \times 10^5$
Areia	de 1 a $5 \times 10^3$
Silte	de 20 a $1,5 \times 10^3$
Argila	de 5 a $1,5 \times 10^3$

Ao introduzir uma corrente elétrica (I) através dos eletrodos A e B, e entre os eletrodos M e N medir a diferença de potencial criada ( $\Delta V$ ), resulta que as medidas pertinentes serão utilizadas para o cálculo da resistividade aparente pela fórmula:

$$\rho_a = K \cdot \Delta V / I \quad (\text{ohm.m})$$

sendo K um fator geométrico que só depende do espaçamento entre os quatro eletrodos, calculado da seguinte maneira:

$$k = 2\pi \cdot G \cdot X,$$

onde G é dado por,

$$G = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{n} \right) - \left( \frac{2}{n+1} \right) + \left( \frac{1}{n+2} \right) \right]}$$

e n é o nível de investigação.

Quando se realiza uma prospecção por meio da injeção de corrente no solo, têm-se os seguintes problemas: as dimensões do material através do qual passa a corrente varia com a geometria do arranjo usado para injetar a corrente e, o meio não é homogêneo pois engloba o solo, a rocha subjacente, a influência do nível freático e de outras rochas intercaladas (como no caso de um pacote de rochas estratificadas).

Num meio heterogêneo, os valores de área e comprimento já não podem ser definidos *a priori* porque dependem da geometria do arranjo dos eletrodos no terreno e são, portanto, substituídos na fórmula da resistividade por uma constante k, que será diferente para cada arranjo.

A resistividade medida dessa forma não será mais a resistividade de uma rocha ou de uma camada e sim uma resistividade média do pacote de rochas (incluindo o solo) e,

por isto, denomina-se *resistividade aparente*, que é uma expressão da resistividade que o meio teria se fosse homogêneo e não guarda nenhuma relação quantitativa absoluta com o valor da resistividade verdadeira. Ela reflete apenas as propriedades médias do meio pelo qual a corrente passou.

A resistividade aparente depende do tipo de arranjo usado na investigação; da natureza do solo e do subsolo atravessado pela corrente primária (corrente injetada no terreno); e da situação do corpo rochoso (pouco, muito ou não fraturado).

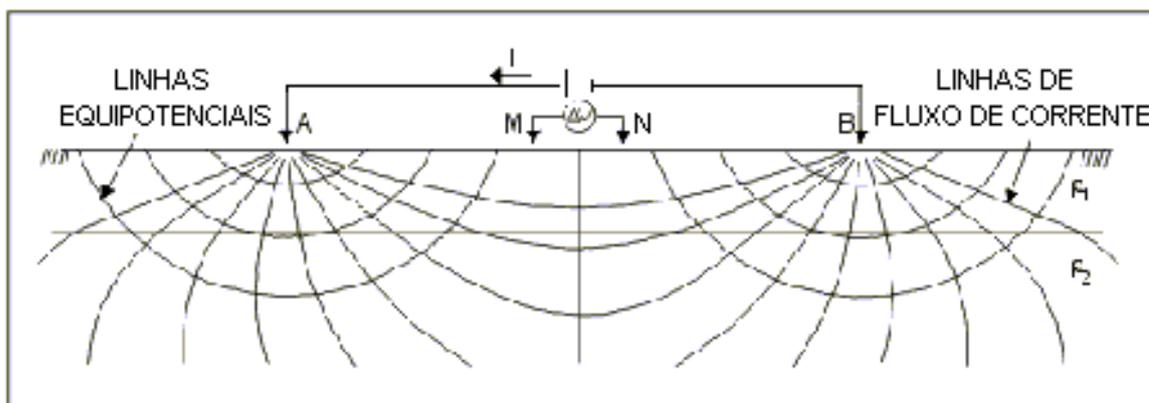
## **1.2. Técnicas de Aquisição de Dados**

No método da eletrorresistividade existem várias técnicas de levantamentos de campo, divididas basicamente em sondagem elétrica e caminhamento elétrico, dentro das quais existe uma grande variedade de configurações possíveis de eletrodos que confere ao método grande versatilidade.

Os dispositivos para medidas de resistividade consistem de um sistema de quatro eletrodos, sendo dois deles usados para enviar uma corrente elétrica ( $I$ ) ao solo (eletrodos A e B), e os outros dois (eletrodos M e N) usados para medir a diferença de potencial ( $\Delta V$ ) entre eles.

No arranjo Schlumberger, empregado principalmente em Sondagens Elétricas Verticais (SEV's), os quatro eletrodos são dispostos em linha, sendo que os eletrodos de potencial (MN) são colocados entre os de corrente (AB) e distribuídos simetricamente em relação a um ponto central, sendo que a distância MN deve ser menor que a distância AB/2 (Figura 1).

A corrente elétrica é injetada no solo por meio do contato direto feito por eletrodos metálicos ou porosos. A resposta é medida na forma de diferença de potencial (voltagem), observada também por meio de contato direto com o solo. Tendo-se os valores da corrente e do potencial registrado, é possível estimar a resistividade dos materiais do local investigado.



**Figura 1** - Arranjo Eletródico Schlumberger (Telford et al., 1990).

Para terrenos homogêneos e isotrópicos e considerando uma disposição de eletrodos simétricos, a resistividade aparente do meio pode ser obtida por meio da expressão:

$$\rho = k \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1.2)$$

O fator geométrico  $k$  do arranjo para uma disposição de eletrodos simétrica pode ser obtido pela equação (1.3).

$$k = \frac{2\pi}{\left[ \left( \frac{1}{AM} \right) - \left( \frac{1}{AN} \right) - \left( \frac{1}{BM} \right) + \left( \frac{1}{BN} \right) \right]} \quad (1.3)$$

## 2. Geologia

A geologia local é composta pelas rochas sedimentares do Grupo Bauru, constituído por arenitos de granulação de fina a média, com pouca matriz e maciços cor vermelho escuro.

E pela Formação Serra Geral constituída por rochas intrusivas associadas ao vulcanismo Serra Geral. Ocorrem sob a forma de diques e sills, e são caracterizadas por diabásios de afinidade toleítica, que afloram preferencialmente na parte norte da Província Magmática do Paraná, especialmente na porção oriental do Estado de São Paulo.

### 3. Trabalhos Executados

Nos locais de estudo foram executadas 4 SEV's, distribuídas em 2 áreas distintas como mostra a tabela a seguir.

**Tabela 2** – Denominação das SEV's realizadas.

Área 1	Área de empréstimo 1 – Motocross	SEV 1A e 1B
Área 2	Área de empréstimo 2 – Rotatória	SEV 2A e 2B

As SEV's denominadas A foram realizadas dentro das áreas de empréstimo de solo e as denominadas B estão situadas fora das áreas de empréstimo. A abertura máxima de AB/2 empregada para as SEV's foi de 80 metros.

O levantamento geofísico foi realizado utilizando-se um resistivímetro da marca Tectrol. Foram utilizados eletrodos de aço inoxidável com 12,5 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento. A conexão entre os eletrodos e o equipamento foi realizada por 4 carretéis com 250 m de fio cada, com isolação de 1000 V.

### 4. Processamento e Modelo Geológico

A partir dos dados obtidos foi plotada a curva de resistividade elétrica versus a distância AB/2 entre os eletrodos, para as 10 SEV's realizadas. Após a coleta dos dados em campo, os mesmos foram processadas com o auxílio do software Ipi.win, o que possibilitou a visualização e a determinação do modelo de camadas para os pontos de estudo.

As curvas em preto mostram os dados obtidos em campo, e em vermelho o modelo de resistividade elétrica interpretada. Abaixo são mostrados os modelos geológicos obtidos na interpretação das SEV's.

MODELO INTERPRETADO SEV 1A				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	564	0.66	0 – 0.66	Solo superficial
2	1694	1.15	0.66 – 1.81	Sedimentos arenosos e/ou cascalho
3	250	5.61	1.81 – 7.42	Sedimentos arenosos
4	20.3	29.1	7.42 – 36.52	Sedimentos arenosos saturados
5	141	-	36.52 - ∞	Basalto ou sedimentos grosseiros
N.A. 7.4 metros				

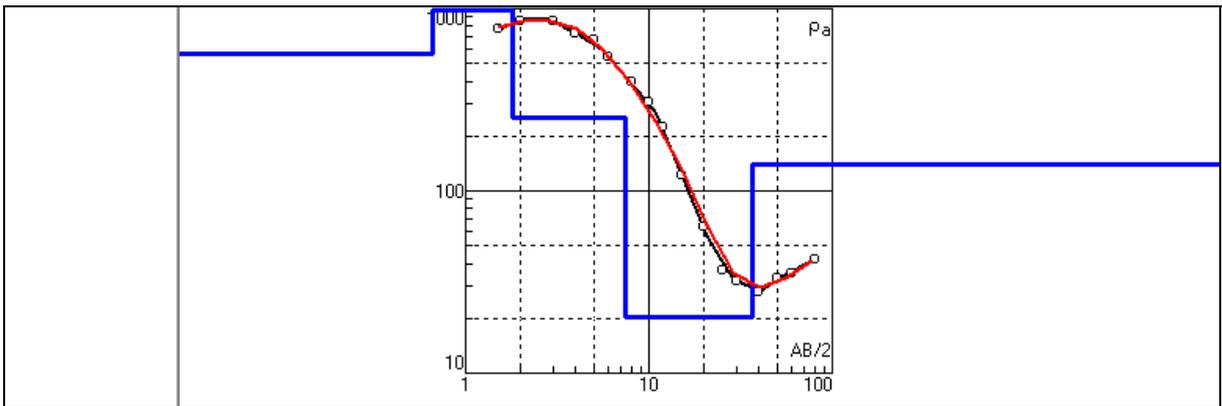
MODELO INTERPRETADO SEV 1B				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	539	0.65	0 – 0.65	Solo superficial
2	2136	6.33	0.65 – 6.98	Sedimentos arenosos
3	262	9.54	6.98 – 16.52	Sedimentos arenosos com argila
4	13.1	-	16.52 - ∞	Sedimentos arenosos saturados
N.A. 16.5 metros				

MODELO INTERPRETADO SEV 2A				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	97	0.85	0 – 0.85	Solo superficial
2	2759	1.63	0.85 – 2.48	Sedimentos arenosos
3	38.5	9.51	2.48 – 11.99	Sedimentos arenosos com argila
4	19.8	13.6	11.99 – 25.59	Sedimentos arenosos com argila saturados
5	580	-	25.59- ∞	Basalto ou sedimentos grosseiros
N.A. 11.99 metros				

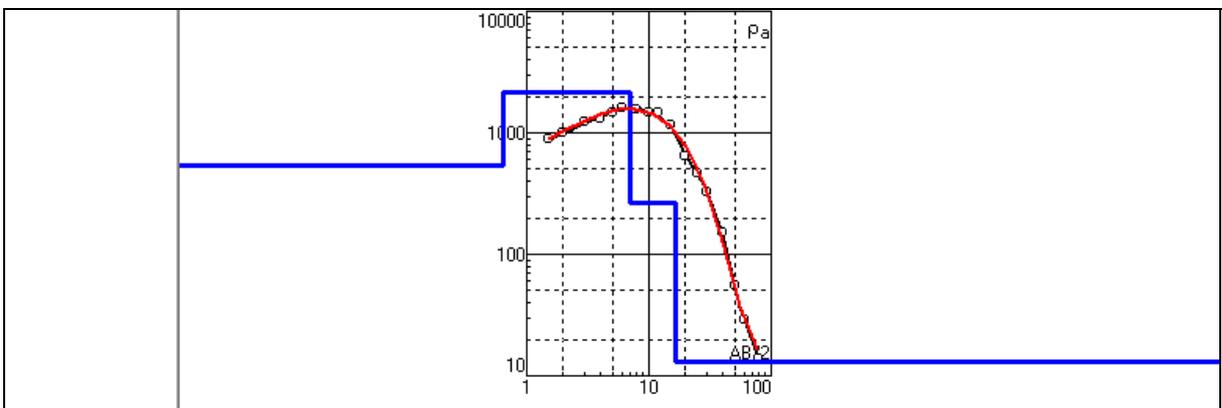
MODELO INTERPRETADO SEV 2B				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	74.1	1.3	0 – 1.3	Solo superficial
2	568	1.22	1.3 – 2.52	Sedimentos arenosos com argila
3	15.5	16.7	2.52 – 19.22	Sedimentos arenosos com argila
4	8.59	10.1	19.22 – 29.32	Sedimentos arenosos com argila saturados
5	529	-	29.32 - ∞	Basalto ou sedimentos grosseiros
N.A. 19.22 metros				

## 5. Modelos para as sondagens efetuadas

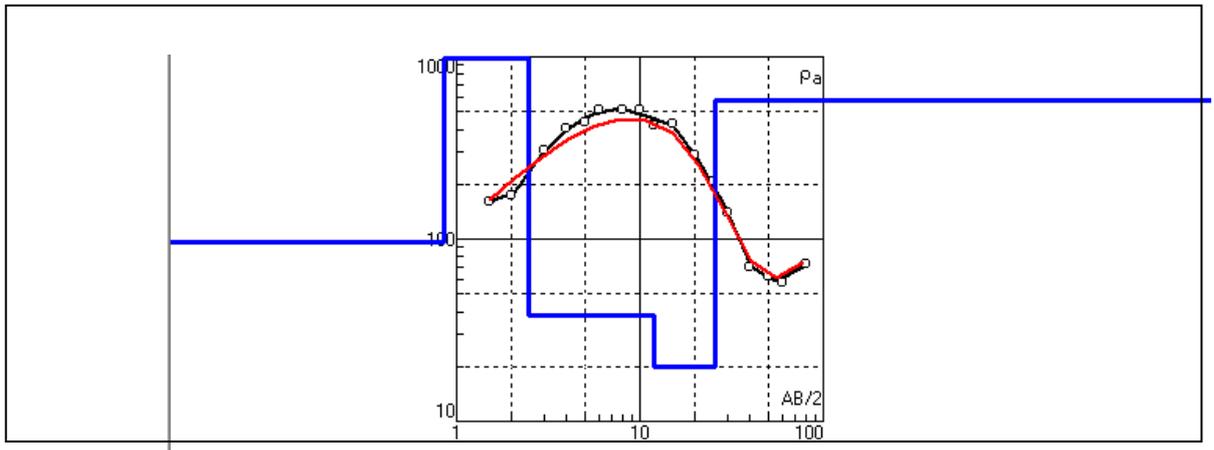
Os resultados obtidos pelas SEV's permitiram estabelecer o modelo geológico para os 4 pontos investigados.



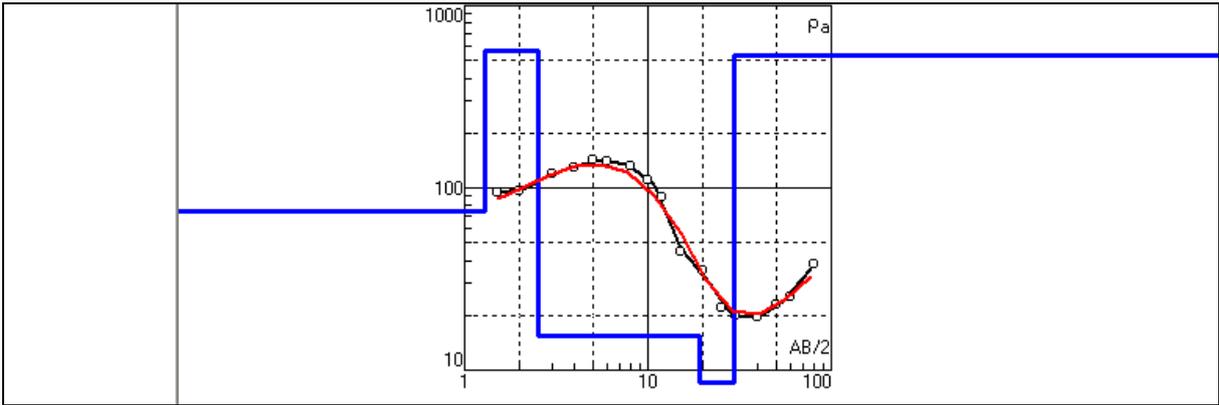
**Figura 2** – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 1A.



**Figura 3** – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 1B.



**Figura 4** – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 2A.



**Figura 5** – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 2B.