

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Avaliação da Degradação do Meio Físico por Áreas de Empréstimo
Usando Geoindicadores e Sistema de Informações Geográficas
- Área Urbana de Ilha Solteira (SP) -**

SUEILA PEREIRA DA CRUZ

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Lollo

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil -
Recursos Hídricos e Tecnologias
Ambientais, Unesp, Faculdade de
Engenharia, Campus de Ilha Solteira.**

ILHA SOLTEIRA, 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

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

C957a

Cruz, Sueila Pereira da.

Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo usando geoindicadores e sistema de informações geográficas - área urbana de Ilha Solteira (SP) / Sueila Pereira da Cruz. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2008. 161 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. 129-134

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 Usando Geoindicadores e Sistema de Informações Geográficas Área Urbana de Ilha Solteira (SP)

AUTORA: SUEILA PEREIRA DA CRUZ

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

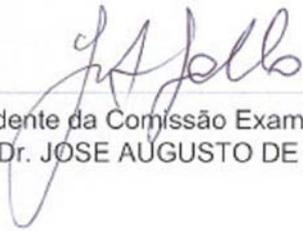
Prof. Dr. JAIR CAMACHO

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SERGIO ANTONIO RÖHM

Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de Sao Carlos

Data da realização: 03 de setembro de 2008.



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

***“Aos meus amores,
meu pai Francisco Severo e minha mãe Neurides Pereira”***

AGRADECIMENTOS

Quero iniciar esse agradecimento escrevendo um versículo bíblico...

*“Conheça o amor de Deus que excede todo o entendimento”
(Efésios 3: 19)
Bíblia Sagrada*

Obrigada Deus por me conceder chegar até aqui...

Gostaria de fazer meus agradecimentos em duas etapas, na primeira...

Agradeço em especial ao meu orientador Professor Doutor José Augusto de Lollo, um mestre, um amigo... Obrigada pela primeira oportunidade em 2002, quando eu ainda era uma aluna da Graduação em Engenharia Civil... Obrigada por me ensinar a trilhar os caminhos da pesquisa científica. Obrigada por sua compreensão e apoio em todos os momentos!

Quero agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) por ter acreditado nesse projeto e concedido bolsa de mestrado e auxílio à pesquisa, sem dúvida, esse apoio financeiro foi primordial para o desenvolvimento desse trabalho.

Meu agradecimento aos professores do Departamento de Engenharia Civil da Unesp de Ilha Solteira, pela contribuição na minha formação ao longo da graduação e do mestrado, em especial aos professores Jair Camacho e Maurício Augusto Leite por suas valiosas sugestões no Exame Geral de Qualificação.

Agradeço aos colaboradores nos levantamentos de campo e ensaios de laboratório:
*Elson Júnior, bolsista de treinamento técnico da Fapesp;
Adilson Bahia, estagiário do laboratório de Engenharia Civil da Unesp;
Mário Roberto Correa Ferreira e Gilson Correa, técnicos do laboratório de Engenharia Civil da Unesp,
Lílian Campos e Gabriele Silva, alunas do curso de Engenharia Civil.*

Em especial quero agradecer Aline Botini Tavares, minha grande amiga, que também trabalhou nesse projeto e que o fruto será uma outra dissertação de mestrado, obrigada por seu companheirismo e solidariedade durante todas as fases desse nosso trabalho.

Na segunda etapa do agradecimento...

Eu não poderia finalizar algo tão importante sem expressar esses sentimentos...

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus que me proporcionou a vida e conviver com pessoas tão especiais, sem Deus nada é possível... É Ele que governa tudo e eu não tenho nenhuma dúvida disso, por isso, obrigada Deus! Obrigada por me permitir iniciar um mestrado e muito obrigada por me permitir concluí-lo.

Foi o Senhor Deus que me ensinou que antes de tudo temos que conhecê-lo, porque só assim seremos completos e realizados! Só assim seremos realmente felizes! Aprender o seu amor é maior e melhor do que tudo nessa vida!

Foi esse nosso Deus que me concedeu nascer em um lar tão especial, e nesse lar receber os primeiros cuidados, receber amor e princípios tão sólidos, nos longínquos tempos da região São José...

E é nesse momento tão importante que gostaria de agradecer minha família...

O Sr. Francisco Severo da Cruz, meu pai, com quem aprendi que podemos transformar 'suor em ouro', antes mesmo de Bernardinho lançar seu livro "Transformando Suor em Ouro", há poucos meses eu tive a oportunidade de ler esse livro, e foi impossível não me emocionar, com as semelhanças de propósito, pois meu pai, na sua simplicidade, e a seu modo sempre me disse que temos que trabalhar e dar o melhor de nós para atingirmos nossos objetivos!

"Pai, obrigada por me amar incondicionalmente. Eu também amo muito o senhor"

Agradeço também minha mãe, Sra. Neurides Pereira da Cruz, uma mulher de fibra, companheira em todos os momentos. Uma verdadeira fortaleza!

"Mãe, obrigada por nunca deixar que as minhas 'asas' caíssem e eu parasse de voar."

E eu não poderia deixar de falar de minha querida irmã Stael Pereira da Cruz Godoy, a base de nossa família, simplesmente um 'anjo' que Deus colocou em nosso lar para nos abençoar e nos proteger... Sou feliz porque tenho o privilégio de dizer minha irmã!

"Minha irmã, obrigada por me compreender, por ter me ensinado tantas coisas da vida, obrigada por seus conselhos, enfim, obrigada por ser tão bondosa comigo".

E aqui também quero agradecer meu cunhado e amigo Josivaldo da Silva Godoy por suas sábias palavras sempre!

Agradeço aos meus tios Wilson Franco e Eunice Pereira juntamente com seus filhos Kadygia Souza, Grace Kelly Souza e Gil César Franco, pela receptividade em férias e feriados, quando eu sempre passo para visitá-los em Jataí - GO...

Aos meus amigos Edni Marques e Ray Marques pela atenção, confiança, e a preciosa amizade!

A minha grande amiga Maria Lidiane Marques, a mais presente... Desde os tempos de Jataí, desde os tempos de Escola Técnica Federal, do curso técnico em Edificações que tanta saudade nos deixou, e onde esse sonho começou... Obrigada por estar sempre por perto, em todos os momentos!

Agradeço também aos meus amigos de Ilha Solteira, alguns desde os tempos da graduação e outros que vieram depois... Ana Paula Fugii, Pâmela Macedo, Eliane Leonora, Netúlio Fioratti, Marcelo Botini, Elter Botini, Pedro Hortoloni, Luis Filipe, Leandro Santos, Everton José, Fernando Bertequini, Camilo Mizumoto, Liane, Gilberto Júnior, Fernanda Borges, Sandro Oliveira, e reforçando Maria Lidiane Marques e Aline Botini Tavares. Obrigada pela amizade de todos vocês!

Aos meus grandes amigos de Jataí, que estão espalhados por esse nosso país, Tatiane Assis, Rafael Alves, Cláudio Gabriel e Gisely Assis.

E para finalizar agradeço aos meus queridos amigos de Belo Horizonte Juliana Araújo, Sandra Valadares, Gerson Campera, Alexandre Rodrigues, Patrícia Lima, Zuleica Rezende, Carolina Saviotte, Roberto Bestechi, Eduardo Navarro, Edison Mello e Viviane Costa. Obrigada pelo apoio e confiança!!!

Sueila Pereira da Cruz

CRUZ, Sueila Pereira da. **Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo usando geoindicadores e sistema de informações geográficas - Área Urbana de Ilha Solteira (SP)**. 2008. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

RESUMO

A necessidade de crescimento econômico tem fomentado diversas atividades que provocam exploração em grande escala dos recursos naturais, resultando degradações ambientais. O uso do solo como matéria-prima em obras de engenharia faz com que áreas sejam exploradas intensivamente e degradadas, muitas vezes sem um projeto de recuperação após o encerramento das atividades exploratórias. O trabalho propõe uma lista de geoindicadores para avaliação de impactos ambientais e a implementação da análise será feita em ambiente computacional apoiando-se em Sistema de Informação Geográfica – SIG. A análise de degradação ambiental foi feita em antigas áreas de empréstimo de solo da área urbana do município de Ilha Solteira (SP) com base numa lista de geoindicadores propostos especificamente para esta finalidade. Para o tratamento das informações foi utilizado o sistema de informações geográficas *Spring*, o qual atuou como interface entre os dados espaciais (áreas de empréstimo) e não espaciais (avaliação dos geoindicadores para cada área de empréstimo analisada). De posse dos resultados foi possível a geração de informações objetivas e de fácil acesso quanto ao nível de degradação das áreas para definição de prioridades de intervenção, propostas de recuperação e planejamento urbano-ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Área de Empréstimo, Degradação de Solo, Geoindicadores e Sistema de Informações Geográficas.

CRUZ, Sueila Pereira da. **Evaluation of the environment degradation for loan areas using ge indicators and geographic information system - urban area of Ilha Solteira (SP)**. 2008. 161 f. Dissertation (Master degree in Civil Engineering, Area of Concentration in Hydric Resources and Environmental Technologies) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

ABSTRACT

Human communities growth and its necessities implies in several classes of activities exploring natural resources in large scale, causing environmental degradations. Use of the soil as raw material in engineering works demands intensive exploration resulting degradation. Its situation became more problematic when exploration activities do not involve projects to restore area environment. This work intends to develop a method for environmental impacts evaluation based on ge indicators technique and supported by Geographic Information System (GIS). The main innovations in this propose are surveying method and analysis process. The analysis of environmental degradation will be made in old soil loan areas of the district of Ilha Solteira (SP), located in the urban areas of Ilha Solteira district based on a ge indicators list proposed specifically for this purpose. In order to treat the collected data and information, will be used geographic information system, *Spring*. This GIS perform the interface among the spatial (soil loan areas) and non spatial data (evaluation of the ge indicators for each soil loan area analyzed). With the results to go permitting easy access to objective information and degradation levels definition which can result in support decision for areas recovery and environmental planning.

KEY WORDS: Soil Loan Areas, Soil Degradation, Ge indicators, Geographic Information System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo Pressão – Estado – Resposta.....	26
Figura 2: Esquema estrutural para avaliação ambiental.....	29
Figura 3: Localização do município de Ilha Solteira.....	52
Figura 4: Geologia da Bacia do Rio Paraná.....	53
Figura 5: Unidades geológicas presentes na área urbana de Ilha Solteira e seu entorno.....	54
Figura 6: Distribuição das formas de relevo na área urbana e de expansão urbana de Ilha Solteira.....	55
Figura 7: Localização das áreas de empréstimo.....	59
Figura 8: Imagem IKONOS da Área de Empréstimo 1 – Fapic.....	60
Figura 9: Vista geral da Área de Empréstimo 1 – Fapic.....	61
Figura 10: (a) Testemunho da Área de Empréstimo 1, e (b) Detalhe do perfil de solo no testemunho exposto....	61
Figura 11: Imagem IKONOS da Área de Empréstimo 2 – Ginásio de Esportes.....	62
Figura 12: Vista geral da Área de Empréstimo 2 – Ginásio de Esportes.....	63
Figura 13: Testemunho da Área de Empréstimo 2.....	63
Figura 14: Estrada existente no interior da Área de Empréstimo 2.....	64
Figura 15: Imagem IKONOS da Área de Empréstimo 3 – Novo Horizonte.....	64
Figura 16: Vista geral da Área de Empréstimo 3 – Novo Horizonte.....	65
Figura 17: Testemunho da Área de Empréstimo 3.....	65
Figura 18: Aterro sendo executado na Área de Empréstimo 3.....	66
Figura 19: Detalhe do aterro sendo construído – interface entre talude de corte e talude de aterro.....	66
Figura 20: Área de Empréstimo 3 sendo usada para despejo de lixo e entulho.....	67
Figura 21: Croqui de localização dos trabalhos de campo executados nas áreas: (a) Área de Empréstimo 1, (b) Área de Empréstimo 2, e (c) Área de Empréstimo 3.....	85
Figura 22: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada fora da Área de Empréstimo 1 (Fapic) no primeiro metro do perfil.....	87
Figura 23: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada dentro da Área de Empréstimo 2 (Ginásio de Esportes) no primeiro metro do perfil.....	87
Figura 24: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada dentro da Área de Empréstimo 3 (Novo Horizonte) no primeiro metro do perfil.....	88
Figura 25: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada dentro da Área de Empréstimo 3 (Novo Horizonte) no segundo metro do perfil.....	88
Figura 26: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada fora da Área de Empréstimo 3 (Novo Horizonte) no primeiro metro do perfil.....	89
Figura 27: Imagens da microscopia eletrônica de varredura e resultados dos ensaios de energia dispersiva - Área de Empréstimo 1 (Fapic).....	91
Figura 28: Imagens da microscopia eletrônica de varredura e resultados dos ensaios de energia dispersiva - Área de Empréstimo 2 (Ginásio de Esportes).....	92
Figura 29: Imagens da microscopia eletrônica de varredura e resultados dos ensaios de energia dispersiva - Área de Empréstimo 3 (Novo Horizonte).....	93
Figura 30: (a) Horizonte A – Fora da área de empréstimo, e (b) Horizonte A – Dentro da área de empréstimo....	94

Figura 31: (a) Horizonte B – camadas superiores, e (b) Horizonte B – camadas inferiores	94
Figura 32: (a) Horizonte C – camada superior, e (b) Horizonte C – camada inferior.....	95
Figura 33: Horizontes dos perfis das áreas de empréstimo em estudo.....	96
Figura 34: Representação proporcional da degradação por áreas de empréstimo e por componente avaliado..	116
Figura 35: Representação proporcional da degradação para solo.....	118
Figura 36: Representação proporcional da degradação para rocha/cascalho.....	118
Figura 37: Representação proporcional da degradação para vegetação	119
Figura 38: Representação proporcional da degradação para recursos hídricos.....	120
Figura 39: Representação proporcional da degradação para o componente relevo	121
Figura 40: Representação proporcional da degradação – uso e ocupação do solo.....	122
Figura 41: Representação proporcional da degradação – geometria da cava.....	123
Figura 42: Nível de degradação das áreas de empréstimo estudadas.....	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais tipos de degradação do solo por processos naturais no Brasil	21
Quadro 2: Principais tipos de degradação do solo por interferências humanas no Brasil	21
Quadro 3: Impactos mais comuns em atividades de mineração	22
Quadro 4: Impactos mais comuns em áreas de empréstimo de solo	23
Quadro 5: Resumo do padrão dos geoindicadores da lista de checagem	28
Quadro 6: Lista de geoindicadores básicos proposta por Berger	30
Quadro 7: Relevância dos geoindicadores para assuntos abordados na Agenda 21	32
Quadro 8: Geoindicadores propostos por Coltrinari	33
Quadro 9: Influência das forças naturais e das tensões humanas nos geoindicadores	35
Quadro 10: Geoindicadores para rios e vales de rios em locais de clima tropical úmido	36
Quadro 11: Geoindicadores para avaliação de áreas urbanas tropicais	41
Quadro 12: Proposta de geoindicadores para rápidas mudanças no ambiente urbano	42
Quadro 13: Descrição dos elementos de terreno com respectivo perfil de alteração de solo	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista de geoindicadores proposta para avaliação da degradação das áreas de empréstimo.....	78
Tabela 2: Relação da identificação das amostras com as áreas em estudo	85
Tabela 3: Massa específica dos sólidos das amostras ensaiadas	86
Tabela 4: Resultados das análises granulométricas	86
Tabela 5: Resultados dos ensaios de limites de consistência	90
Tabela 6: Profundidade do nível de água (NA) nas áreas de empréstimo	97
Tabela 7: Ponderação dos geoindicadores	98
Tabela 8: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico solo	109
Tabela 9: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico rocha/cascalho	109
Tabela 10: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico vegetação.....	109
Tabela 11: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico recursos hídricos	110
Tabela 12: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico relevo	110
Tabela 13: Valores de ponderação referentes ao uso e ocupação	110
Tabela 14: Valores de ponderação referentes aos processos geodinâmicos.....	110
Tabela 15: Valores de ponderação referentes à geometria da cava.....	111
Tabela 16: Ponderação final dos geoindicadores	111

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APP – Área de Preservação Permanente

CAD - Computer Aided Design

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

CESP - Companhia Energética de São Paulo

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

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

IPTU - Imposto Territorial Urbano

IUGS - International Union of Geological Sciences

GPS - Global Positioning System

LE - Latossolo Vermelho Escuro

LR - Latossolo Roxo

MNT - Modelos Numéricos de Terreno

OGEOENVIRONMENT - Comissão de Ciências Geológicas para Planejamento Ambiental

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development

OMS – Organização Mundial de Saúde

PL - Podzólico - Lins

PM - Podzólico - Marília

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SPT – Standard Penetration Test

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 2 - OBJETIVO.....	18
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Degradação Do Solo.....	19
3.1.1 Introdução.....	19
3.1.2 Degradação Causada por Mineração	22
3.1.3 Degradação Causada por Empréstimo de Solo.....	23
3.2 Geoindicadores.....	25
3.2.1 Introdução.....	25
3.2.2 Princípios dos Geoindicadores	27
3.2.3 Utilidade dos Geoindicadores.....	34
3.2.4 Aplicações dos Geoindicadores	36
3.2.4.1 Aplicações no Mundo.....	36
3.2.4.2 Aplicações no Brasil.....	43
3.2.4.3 Considerações Acerca dos Exemplos Apresentados.....	45
3.2.4.4 Estudo de Caso – Áreas de Empréstimo de Solo	46
3.3 Sistema de Informações Geográficas	47
3.3.1 Introdução.....	47
3.3.2 Princípios do Spring (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas).....	49
CAPÍTULO 4 - ÁREA EM ESTUDO.....	52
4.1 Características Gerais.....	52
4.2 Áreas de Empréstimo de Solo.....	59
CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA	68
5.1 Princípios da Metodologia Proposta	68
5.1.1 Levantamentos Bibliográficos e de Campo.....	69
5.1.2 Proposição de Geoindicadores.....	69
5.1.3 Avaliação dos Geoindicadores Propostos.....	70
5.1.4 Registro e Tratamento das Informações.....	70
5.1.5 Proposta Metodológica.....	71
5.2 Metodologia Utilizada para Implementação da Proposta.....	71
5.2.1 Caracterização Geotécnica	71
5.2.1.1 Ensaio de Caracterização	71
5.2.1.2 Massa Específica dos Sólidos.....	72
5.2.1.3 Granulometria.....	72
5.2.1.4 Limites de Consistência	72

5.2.2 Sondagens	73
5.2.2.1 Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT).....	73
5.2.2.2 Sondagem Trado	74
5.2.2.3 Sondagem Elétrica Vertical	74
5.2.3 Microscopia Eletrônica	76
CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
6.1 Resultados Provenientes da Metodologia Proposta	77
6.2 Resultados Obtidos para Implementação da Proposta - Ensaios de Campo e Laboratório Realizados.....	84
6.2.1 Ensaios de Caracterização.....	85
6.2.1.1 Ensaio de Granulometria.....	86
6.2.1.2 Limites de Consistência	89
6.2.2 Microscopia Eletrônica e Ensaios de Energia Dispersiva.....	90
6.2.3 Sondagens	95
6.3 Ponderação dos Geoindicadores.....	97
6.3.1 Solo	101
6.3.2 Rocha/Cascalho.....	103
6.3.3 Vegetação	104
6.3.4 Recursos Hídricos.....	104
6.3.5 Relevô	105
6.3.6 Acessos, Uso e Ocupação	106
6.3.7 Processos Geodinâmicos.....	107
6.3.8 Geometria Final da Cava	108
6.4 Resultados da Avaliação dos Geoindicadores	109
6.5 Discussão dos Geoindicadores Propostos.....	111
6.5.1 Solo	111
6.5.2 Rocha/Cascalho.....	112
6.5.3 Vegetação	112
6.5.4 Recursos Hídricos.....	113
6.5.5 Relevô	113
6.5.6 Acessos, Uso e Ocupação	114
6.5.7 Processos Geodinâmicos.....	114
6.5.8 Geometria da Cava.....	114
6.6 Mapas de Símbolos Proporcionais	115
6.7 Avaliação da Degradação das Áreas em Estudo	123
6.8 Representação da Sistemática.....	126
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES.....	127
REFERÊNCIAS	129
ANEXO A - RELATÓRIO DE SONDAJENS SPT	135
ANEXO B - RELATÓRIO SONDAJEM ELÉTRICA VERTICAL.....	144

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A implantação de projetos que dependam de terraplenagem para sua construção carece sempre de solo como matéria-prima. O solo necessário a essas operações 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.

Dentre os processos comuns de degradação ambiental, destacam-se os relacionados à degradação física do solo: erosão, compactação, redução do horizonte não saturado e remoção da camada agricultável do solo.

Os danos causados ao meio ambiente pela exploração de recursos minerais compreendem matéria conhecida do meio técnico, mas a proposição de alternativas geralmente se concentra nas áreas rurais, exceção para exploração de areia em grandes metrópoles.

No município de Ilha Solteira, em função da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira e de obras auxiliares, diversas parcelas do terreno foram utilizadas como área de empréstimo, algumas delas situadas em locais que atualmente fazem parte da área urbana ou de expansão urbana. Esse fato representa danos que tornam mais complicado o aproveitamento futuro dessas áreas para finalidades mais nobres como o uso residencial.

Com o intuito de propor e testar procedimentos de análise dos impactos gerados em áreas de empréstimo é apresentado o presente trabalho, que pretende utilizar a técnica de geoindicadores para avaliar tais impactos e implementar a análise em ambiente computacional apoiando-se em sistema de informações geográficas.

Além disso, é prevista uma classificação das áreas avaliadas em relação ao nível de degradação, de forma a permitir a proposição de alternativas de uso, constituindo-se em benefício direto para o município de Ilha Solteira.

Do ponto de vista metodológico, a técnica pode vir a ser útil tanto em situações similares (mineração) como em outras situações nas quais se faça necessária a avaliação de impactos ao meio físico, decorrentes do uso de recursos naturais.

CAPÍTULO 2 - OBJETIVO

Os objetivos desse trabalho foram:

- 1) Utilizar geoindicadores como base para identificação e descrição das condições ambientais de áreas anteriormente exploradas como áreas de empréstimo de solos;
- 2) Utilizar sistema de informações geográficas para armazenar e tratar as informações obtidas, facilitando a execução das etapas seguintes da proposta;
- 3) Caracterizar o estado das áreas estudadas, de forma a permitir sua classificação em termos da intensidade dos impactos sofridos;
- 4) Definir, a partir do processo de hierarquização citado no item anterior, diferentes opções de uso e ocupação para as áreas estudadas;
- 5) Propor, com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores, sistemática para levantamento, avaliação e classificação dos impactos decorrentes do uso do terreno como áreas de empréstimo.

CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DEGRADAÇÃO DO SOLO

3.1.1 Introdução

O solo é um material proveniente da desagregação e decomposição de rocha, sem fragmentos. Sua formação é a combinação dos efeitos físicos, químicos, biológicos, e de processos antropogênicos, resultando na formação dos horizontes do solo.

Os solos ocorrem na paisagem compondo unidades ou compartimentos delimitáveis por meio da distinção de características morfológicas (cor, textura, estrutura, consistência, cerosidade, nódulos e concreções) dos horizontes pedológicos, observáveis no campo, e características físicas e químicas, determinadas por meio de ensaios de laboratório e *in situ*. A espessura dos horizontes, e a transição vertical e lateral entre estes são igualmente importantes, e utilizados na caracterização, classificação e mapeamento do solo (SALOMÃO e ANTUNES, 1999).

De acordo com Brasil (1986), meio ambiente é “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

O meio ambiente é composto pelos meios físico, biológico e sócio-econômico, sendo os componentes do meio físico, segundo Brasil (1986, p. 3), “o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas e as correntes atmosféricas”. Nesta visão, o solo é parte integrante do meio físico.

A degradação de uma determinada área é verificada quando ocorrem impactos ambientais negativos, tais como: alterações das suas propriedades físicas (estrutura ou grau de compactação e a perda de matéria devido à erosão), e a alteração de características químicas, devido a processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida e a introdução de poluentes.

Impacto ambiental é 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:

- A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- As atividades sociais e econômicas;
- A biota;
- As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- A qualidade dos recursos ambientais.

(BRASIL, 1986, p. 1)

Degradação da qualidade ambiental é “alteração adversa das características do meio ambiente” (BRASIL, 1981, p. 2).

Segundo Brasil (1989, p. 1) “degradação é o conjunto de processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais”.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1989, p. 16) define degradação de solo como a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto os potenciais”.

Para Barrow (1991, p. 1) “degradação do solo pode ser definida como a perda de sua utilidade ou potencial de utilidade, ou ainda, a redução, perda ou mudanças nas características ou organismos do solo que não podem ser restauradas”.

Para o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (1990) a degradação do solo ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas ou removidas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, vindo a inviabilizar a área.

Bitar et al. (1993) afirmam que a degradação solo causa uma diminuição de seus componentes formadores, perda de elementos físicos, químicos e/ou biológicos, podendo restringir sua capacidade produtiva, alteração adversa das características do solo em relação aos seus vários usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto os potenciais.

Conforme Barrow (1991) a degradação do solo implica na redução de seu nível, por exemplo, degradação e/ou perda do solo, ou uma mudança na composição da fauna e/ou flora, ou ainda, uma diminuição na qualidade das formas orgânicas que o compõem.

O autor apresenta as principais causas da degradação do solo como sendo riscos naturais devidos a condições próprias do solo e condições climáticas e tectônicas,

remoção da cobertura vegetal do solo, ocupação de áreas impróprias ou sem os cuidados técnicos apropriados, uso intensivo ou incorreto dos recursos naturais.

Noffs, Galli e Gonçalves (2000) descrevem como principais conseqüências da degradação o empobrecimento dos solos, assoreamento dos rios, assoreamento de reservatórios e açudes e sedimentação em depressões e várzeas.

Segundo Zuquette, Pejon e Collares (2003) diferentes tipos de degradação do solo ocorrem fruto de processos naturais e interferências humanas. O Quadro 1 (degradação decorrente de processos naturais) e o Quadro 2 (degradação devida a interferências humanas) sintetizam tais mudanças na visão dos autores.

Quadro 1: Principais tipos de degradação do solo por processos naturais no Brasil

Processos Naturais			
Solo/Rocha	Geomorfologia	Água	Vegetação
Diminuição da biodiversidade	Mudanças na morfometria	Mudanças na morfometria	Diminuição da biodiversidade
Cimentação	Mudanças nos canais	Mudanças nos canais	Infestação
Desertificação	Mudanças na densidade dos canais	Mudanças na densidade dos canais	Mudanças na biomassa

Fonte: Modificado de Zuquette, Pejon e Collares (2003, p. 409)

Quadro 2: Principais tipos de degradação do solo por interferências humanas no Brasil

Interferência Humana			
Agricultura	Urbana	Indústria	Mineração
Poluição da água e do solo	Poluição do ar, solo e água	Poluição do ar, solo e água	Poluição do ar, solo e água
Compactação do solo	Compactação do solo	Chuva ácida	Taxa de erosão do solo
Taxa de erosão do solo	Taxa de erosão do solo	Retirada da cobertura vegetal	Mudanças no escoamento
Formação de crostas	Mudanças no escoamento	Mudanças no escoamento	Retirada da cobertura vegetal
Salinização da água	Retirada da cobertura vegetal	Inundações	Carga de sedimento
Lixiviamento	Carga de sedimento		Mudanças na densidade do canal
Decréscimo biomassa, carbono biodiversidade	Mudanças na densidade do canal		Mudanças geomorfológicas
Desertificação	Morfometria do canal		Movimentos de massa
Assoreamento	Movimentos de massa		Mudanças no relevo
Retirada da cobertura vegetal	Inundação		
	Mudanças no relevo		
	Assoreamento		

Fonte: Modificado de Zuquette, Pejon e Collares (2003, p. 409)

Para Barrow (1991) na avaliação da degradação deve ser avaliado o grau do dano e se tal degradação é passível de controle ou reversão. Pode ser caracterizada por estudos desenvolvidos em diferentes escalas, a escala depende da extensão alcançada, condições biológicas afetadas e materiais geológicos, intensidades e uso do solo.

3.1.2 Degradação Causada por Mineração

A degradação de uma área por mineração é inerente ao processo minerário e sua intensidade depende do volume, tipo, e rejeitos produzidos, sendo que a recuperação da área deve integrar o processo. Geralmente essas áreas degradadas estão localizadas no entorno de áreas urbanas e obras de engenharia, e aleatoriamente na zona rural.

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 afetada.

No caso dos impactos ambientais em áreas de mineração, a literatura técnica costuma apresentar uma divisão dos impactos em físicos, químicos e na biota, sendo os impactos físicos subdivididos naqueles ocasionados por dragagem ou por desmonte. O Quadro 3 apresenta os impactos mais comuns encontrados na literatura segundo Ambiente Brasil (2005), Farias (2005) e Teixeira (1992).

Quadro 3: Impactos mais comuns em atividades de mineração

Físicos		Químicos	Biota
Dragagem	Desmonte		
Instabilidade de encostas	Supressão de vegetação	Alteração no pH	Destruição da fauna e da flora
Alterações dos cursos d'água	Descaracterização do relevo	Salinidade das águas	Destruição de áreas de preservação
Destruição dos fundos dos rios	Erosão	Contaminação dos recursos hídricos	
Assoreamento de rios	Escorregamentos	Perda das camadas férteis dos solos	
	Formação das cavas		
	Assoreamento de rios		
	Vibrações		

Fonte: Ambiente Brasil (2005), Farias (2005) e Teixeira (1992)

Conforme Ambiente Brasil (2005) a extração de seixos, rocha e solo são atividades consideradas altamente impactantes ao meio ambiente. Essa exploração tradicionalmente provoca intensa degradação, uma vez que sempre é acompanhada de remoção da camada vegetal, do solo e das rochas.

A atividade mineral não pode deixar de existir uma vez que seus produtos são de grande importância para a sociedade. O grande desafio é produzir bens minerais sem degradar o meio ambiente e para isso, é preciso haver uma conscientização do empreendedor para o mínimo de agressão e o melhor aproveitamento dos recursos.

3.1.3 Degradação Causada por Empréstimo de Solo

Áreas de empréstimo são locais onde se promovem retiradas substanciais de substratos para diferentes fins. Constituem áreas degradadas, pois não apresentam capacidade de resiliência e são passivos ambientais de importância desconhecida para a sociedade, uma vez que não se tem contabilizado o dinamismo dos processos erosivos.

O Quadro 4 apresenta a listagem dos principais impactos ocasionados em áreas de empréstimo de solo, obtida dos trabalhos de Christófar e Nunes (1999), Kesselring e Kesselring (1999) e Pereira et al. (1999), sendo tais impactos classificados quanto ao meio físico, químico, biótico, e antrópico.

Quadro 4: Impactos mais comuns em áreas de empréstimo de solo

Físicos	Químicos	Biótico	Antrópico
Descaracterização do relevo	Perda das camadas férteis do solo	Desmatamento	Impacto visual
Compactação	Mudanças na textura	Alterações na flora	Alterações na forma de uso dos solos
Processos erosivos	Salinidade nas águas	Alterações na fauna aquática e terrestre	Menor produtividade dos ecossistemas
Assoreamento do rio	Mudanças no pH		Perda de patrimônio
Remoção da cobertura superficial do solo			Presença de máquinas expõe população e operários da obra durante a execução das atividades.
Retenção de água			

Fonte: Christófar e Nunes (1999), Kesselring e Kesselring (1999), e Pereira et al. (1999)

Corrêa e Leite (1998), considerando estudo feito no Parque Nacional de Brasília, mostram que a intensidade dos impactos ambientais em áreas de empréstimo está relacionada principalmente à profundidade da escavação.

Segundo os autores numa análise comparativa entre áreas onde houve apenas a supressão da vegetação e áreas onde houve escavação, o resultado é o seguinte, em áreas onde há escavação, a vegetação apresenta-se de forma esparsa, e em áreas onde houve apenas desmatamento o estrato herbáceo é mais denso.

Em relação à infiltração de água, quanto mais profunda a escavação menor essa infiltração, esse fato se deve aos solos mais profundos terem uma maior capacidade; sendo que em alguns casos pode existir um aumento de infiltração em relação às áreas de vegetação nativa, devido camadas de solos depositadas no local, proveniente de erosões (CORRÊA e LEITE, 1998).

Ainda conforme os autores, a umidade em áreas vegetadas 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.

O aumento da densidade global afeta a disponibilidade de água, o que explica o comportamento da menor capacidade de retenção de água nos locais onde acontecem escavações e que implicam no mau desempenho da re-vegetação.

A concentração de matéria orgânica é menor em áreas escavadas quando comparadas com áreas vegetadas ou apenas desmatadas, isso em função da pobreza de vegetação existente, conseqüentemente a não produção de matéria orgânica.

Para Corrêa e Leite (1998) a erosão é o principal problema em áreas que foram mineradas e abandonadas, pois devastam parte do ecossistema. A perda de partículas acarreta aumento da compactação e diminuição da capacidade de armazenamento de água nos solos e substratos. Além disso, tal fato diminui as chances de re-vegetação natural, pois toda perda de partículas é acompanhada da perda de nutrientes.

A erosão ainda afeta o meio físico, não apenas pela remoção da camada de solo, mas porque carrega materiais que irão se sedimentar nos corpos d'água gerando assoreamento. Outro impacto importante em áreas rurais e suburbanas é a perda de solo com potencial agropecuário, exigindo muitas vezes investimentos vultosos para sua correção (CORRÊA e LEITE, 1998).

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

A literatura técnica indica certo consenso em relação aos componentes do meio físico afetados pela operação de áreas de empréstimo, no entanto não indica os métodos de caracterização de tais levantamentos de tais condições no empreendimento, e raramente faz referências a métodos de avaliação de degradação ou propõe usos para áreas de empréstimo.

O presente trabalho pretende sanar essa deficiência usando a técnica de geoindicadores para levantar dados, e conseqüentemente analisar as áreas quanto à

intensidade de degradação, e com base nisso, propor formas de uso e aproveitamento para as mesmas.

3.1.4 Recuperação de Áreas Degradadas

Segundo Brasil (1989), a recuperação de área degradada 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 à obtenção da estabilidade do meio ambiente.

Bitar et al. (1993) destacam que o conceito de recuperação de uma área está diretamente relacionado com o uso de indicadores quantificáveis que permitam traduzir o grau de degradação. No contexto geológico, 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, medida da magnitude dessa degradação.

Atualmente a legislação federal exige que os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais devem apresentar Estudo de Impacto Ambiental – EIA, Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, e plano de recuperação de área degradada (BRASIL, 1989).

A partir do Decreto nº 97.632 em 1989, os estados e os municípios passaram a incorporar essas normas às suas legislações, por meio de resoluções, lei do plano diretor, lei de uso e ocupação do solo dentre outras.

As propostas de recuperação de áreas degradadas por exploração de recursos naturais para regiões urbanas são as mais variadas, por exemplo, disposição de resíduos, indústria, lazer, loteamento, sistema viário, educação e hotelaria (BITAR, 1997).

3.2 GEOINDICADORES

3.2.1 Introdução

A Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, das Nações Unidas, (Rio-92), conduziu a um consenso geral a respeito do chamado desenvolvimento sustentável, conceito que passou a ser amplamente utilizado mundialmente.

Com isso houve o crescimento entre as nações no interesse em verificar seu desempenho ambiental, bem como em implementar políticas ambientais voltadas ao desenvolvimento sustentável.

No entanto, o conhecimento do estado do ambiente (informação nem sempre disponível) é fundamental para o perfeito planejamento das políticas ambientais, bem como da avaliação de sua eficácia. O desenvolvimento de indicadores ambientais veio suprir o meio técnico-científico de parâmetros capazes de fornecer as informações de estado necessárias.

Um marco no conceito de indicadores ambientais foi denominado de Pressão – Estado – Resposta, elaborado pela *Organisation for Economic Co-operation and Development* – *OECD*, e considerado como o mais simples e suficientemente geral que serve como alicerce para a construção de qualquer Sistema de Indicadores Ambientais, como ilustrado na Figura 1.

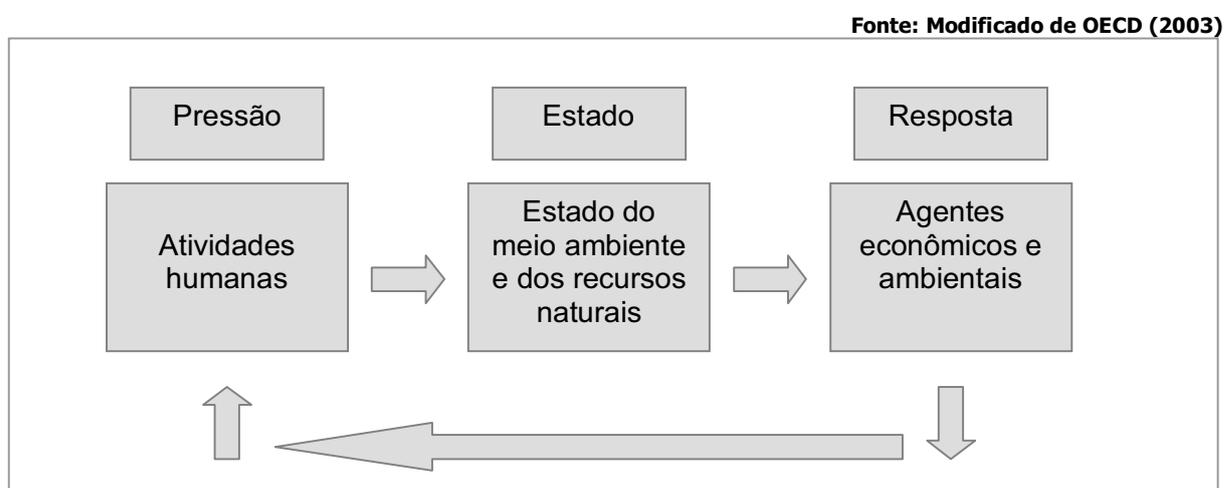


Figura 1: Modelo Pressão – Estado – Resposta

Segundo OECD (2003, p. 5), “indicadores são parâmetros, ou valores calculados a partir de informações, dando indicações sobre ou descrevendo o estado de um fenômeno, ou de uma área geográfica”.

Para Neimanis e Kerr (1996, p. 369) indicadores “são parâmetros que fornecem informações e direções das condições de um fenômeno e tem significado estendido além de associações com as propriedades da estatística”, e indicadores ambientais “são parâmetros que representam ou resumem aspectos do estado do ambiente, e a relação entre as atividades humanas e os recursos naturais”.

Segundo Giraldo (1999) citado por Rufino (2002) existem diversos tipos de indicadores de estado do ambiente, apresentados a seguir:

- Indicadores Físico-Químicos: são utilizados para avaliar as condições físico-químicas da água podendo ser utilizadas para algumas medições do solo e do ar.

- Indicadores Hídricos: esses indicadores são variáveis abióticas que indicam um processo ou estado do ecossistema aquático, caracterizando-o através de variáveis físico-químicas e suas variações no espaço e no tempo.
- Indicadores Climáticos: indicam variações das condições atmosféricas no que diz respeito à composição e presença de determinadas substâncias contaminantes, além de incluir variáveis do tipo meteorológicas.
- Bioindicadores: tratam de variáveis biológicas, ecológicas, espécies, ou populações que ao darem respostas às mudanças de um gradiente físico-químico, mostram um grau de tolerância, ou então, entra em condições de resistência, stress ou morte.
- Indicadores Bacteriológicos: indicam a presença ou a ausência de microorganismos patogênicos.
- Indicadores Edafológicos: indicam as condições ambientais dos solos.
- Indicadores Paisagísticos: indicam o aspecto estético e cultural de um determinado local.
- Indicadores Sociais: indica o nível de desenvolvimento de uma determinada região.
- Indicadores Geológicos e Geomorfológicos (Geoindicadores): são definidos como magnitudes e tendências dos processos geológicos e fenômenos que acontecem num intervalo de tempo de um século, ou menos, na superfície terrestre, sujeitos as variações de importância para compreender as rápidas mudanças ambientais.

Os indicadores ambientais devem ser definidos por meio da sua efetividade em termos de validade científica, dados avaliados, extensão geográfica, responsabilidade nas mudanças ambientais, representatividade, entendimento por não especialistas e relevância.

3.2.2 Princípios dos Geoindicadores

A International Union of Geological Sciences – IUGS criou, em 1992, na Comissão de Ciências Geológicas para Planejamento Ambiental, um grupo de pesquisa para desenvolver indicadores geológicos. Esse grupo foi presidido por Antony R. Berger, e a partir desse trabalho veio à introdução do conceito de geoindicadores, resultando no *Geoindicators: Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems*¹.

¹ BERGER, A. R.; IAMS W. J. *Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam: Balkema, 1996. 466p.

O resultado dessa comissão foi uma lista com 27 geoindicadores, cujo formato padrão encontra-se disponível na internet no endereço eletrônico <http://www.lgt.lt/geoin/topic.php?tid=checklist>. Esse formato possibilita saber onde, quando e como cada parâmetro pode ser medido, sua significação para avaliação ambiental, a causa e outras informações adicionais, o Quadro 5 apresenta um resumo do padrão de apresentação de tais geoindicadores.

Quadro 5: Resumo do padrão dos geoindicadores da lista de checagem

Nome	Do geoindicador
Descrição breve	Relação com processos e fenômenos geológicos
Significado	Porque deve ser monitorado
Causa natural ou humana	Diferença entre causas humanas e 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
Freqüência de medida	Quão freqüente deve ser o monitoramento
Limitações de dados	Dificuldades em obter e usar os dados
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 ao monitoramento ambiental e sustentabilidade

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

Desde 1999, as atividades do grupo de trabalho se transformaram na “Iniciativa Geoindicadores”, que vinculada a IUGS vem realizando esforços na divulgação do termo no meio científico, porém, o assunto ainda é pouco difundido e conhecido.

Para Berger (1996, p. 5 e 6) “geoindicadores são medidas de magnitude, freqüência, taxa e tendência de processos geológicos e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre ou próximo a esta, e que representam mudanças significativas no ambiente no período de 100 anos ou menos”.

Ainda conforme o autor, os geoindicadores descrevem eventos catastróficos ou graduais, colaboram na determinação do que está acontecendo no ambiente, fornecendo indicativos do que a administração pode fazer para combater esses processos.

Nesta visão, cabe aos geoindicadores o papel de descrever e caracterizar as relações entre as tensões provocadas pelas atividades humanas e as respostas de tais interferências nos componentes do meio físico (solo/rocha, água) e do meio biológico, completando a lacuna de informações necessárias, sendo que a Figura 2 ilustra essa estrutura.

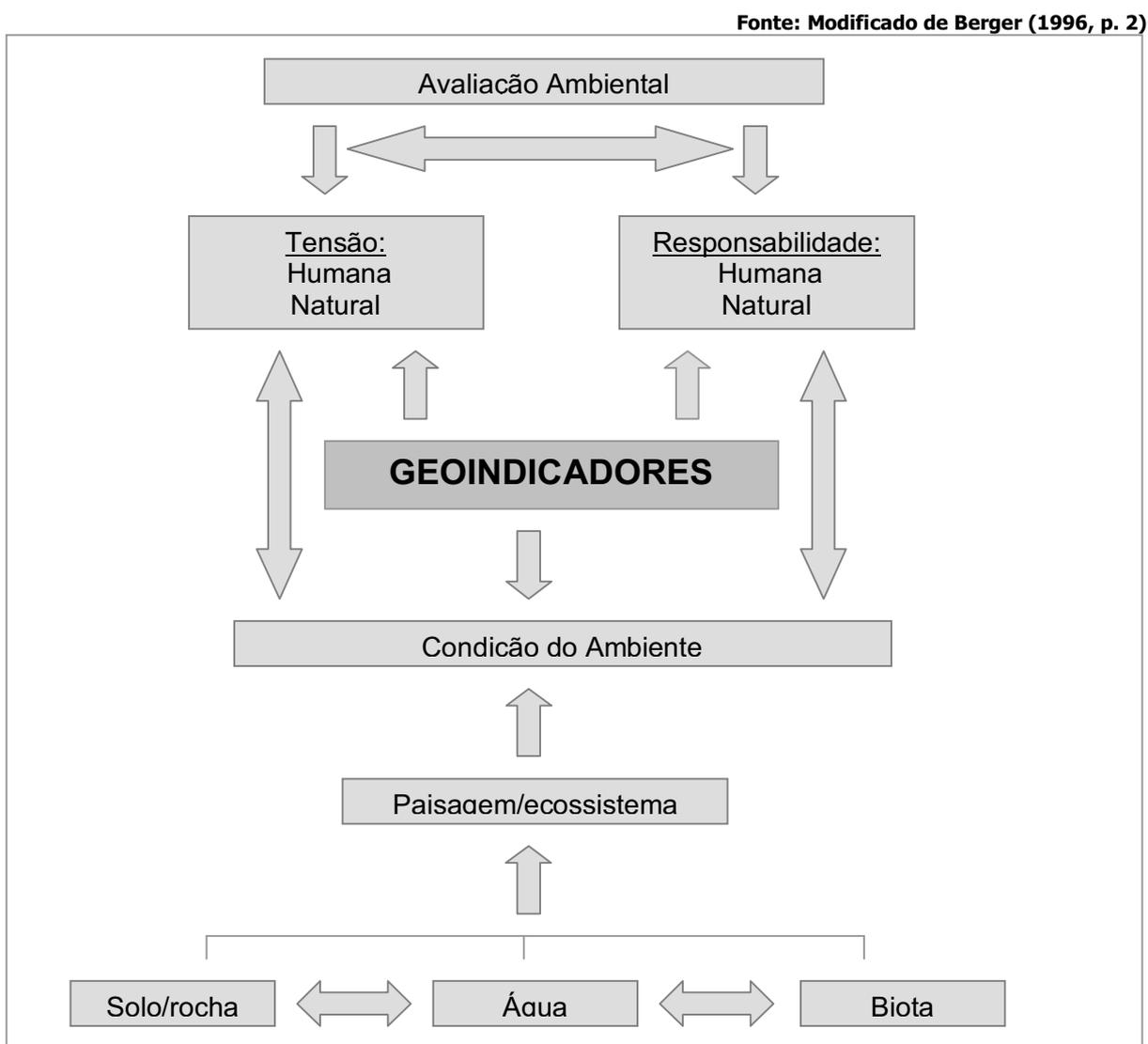


Figura 2: Esquema estrutural para avaliação ambiental

O Quadro 6 apresenta a lista de checagem com 27 geoindicadores, abrangendo os mais diferentes ambientes. Essa lista tem o propósito de facilitar o monitoramento dos processos geológicos importantes na sustentabilidade ambiental.

Quadro 6: Lista de geoindicadores básicos proposta por Berger

Geoindicadores	Mudanças ambientais
Química do coral e padrão do crescimento	Temperatura da água de superfície e salinidade
Crostras e fissuras em superfície desértica	Aridez
Formação e reativação de dunas	Velocidade e direção dos ventos, umidade, aridez e disponibilidade de sedimentos
Magnitude, duração e freqüência de tempestade 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 salinidades 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 de solos e sedimentos	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 do subsolo	Clima, fluxo de calor, uso do solo e cobertura vegetal
Deslocamentos crustais	Soerguimento e subsidência, falhas e extração de fluídos
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 terras úmidas	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 Berger (1997), um problema de listas de checagem como esta, é dar a entender que cada compartimento é separado e que há pouca interação entre eles. Embora a ênfase dada pelos geoindicadores às mudanças abióticas, os sistemas biológico e geológico interagem intimamente no tempo e no espaço. Além disso, esses sistemas freqüentemente são bastante afetados por influências humanas. Não obstante estes aspectos, a lista de checagem otimiza o início das pesquisas, na busca de uma melhor compreensão das mudanças ambientais que estão ocorrendo.

Para o autor a maior parcela dos geoindicadores tem um alcance local (até 10 km), outra parcela representa efeitos regionais (de 10 a 100 km), enquanto alguns, como os relativos ao nível do mar e atividades vulcânicas têm dimensões continentais e globais.

Os geoindicadores apresentam indícios de mudanças ambientais para vários dos assuntos identificados na Agenda 21, resultado da Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento. O Quadro 7 relaciona os geoindicadores da lista de checagem e sua influência nos diversos assuntos tratados na Agenda 21.

Quadro 7: Relevância dos geoindicadores para assuntos abordados na Agenda 21

Geoindicadores	HH	USW	ND	FW	CZ	LR	Ds	MD	Ag	For	Bidv	A/C	E	ME	R
Química do coral e padrão do crescimento	○	○	○	○	□	○	○	○	○	○	□	■	■	○	○
Crostras e fissuras em superfície desértica	○	○	○	○	○	□	■	○	○	○	○	■	□	○	○
Formação e reativação de dunas	○	□	○	○	□	□	■	○	○	○	■	■	■	○	○
Magnitude, duração e frequência de tempestade 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 salinidades de lagos	□	□	○	■	○	□	■	○	■	○	■	■	■	□	■
Nível relativo do mar	○	□	□	○	■	■	○	○	○	○	○	■	■	○	○
Seqüência e composição de sedimentos	□	□	○	○	□	○	□	□	○	○	■	■	■	■	■
Sismicidade	○	■	■	○	■	○	○	■	○	○	○	○	□	□	■
Linha da costa	○	□	■	○	■	■	○	○	○	○	□	■	■	○	○
Deslizamento de encostas	○	■	■	○	■	□	○	■	□	■	□	□	■	■	■
Erosão de solos e sedimentos	○	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■
Qualidade do solo	■	■	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	□	□
Fluxo de corrente	□	□	■	■	□	□	○	□	■	■	□	□	■	■	■
Morfologia de canal	○	□	□	○	□	□	○	○	□	○	○	○	■	○	■
Armazenamento e carga de fluxo de sedimento	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	□	■	□	■
Regime de temperatura de subsuperfície	○	○	○	○	○	○	○	○	□	□	□	■	■	○	○
Deslocamentos crustais	○	■	■	○	■	○	○	■	○	□	■	□	□	■	□
Qualidade de água de superfície	■	■	○	■	■	○	○	■	■	■	■	■	■	■	■
Atividade vulcânica	■	■	■	□	□	□	○	■	□	○	□	■	□	○	○
Extensão, estrutura e hidrologia de áreas alagadas	■	■	□	■	■	■	○	○	■	□	■	■	■	□	■
Erosão eólica	○	□	○	○	□	■	■	□	■	○	□	■	■	○	○

Obs. 1: HH = Saúde Humana (Cap. 6); USW = Ambiente Urbano (Cap. 7); ND = Desastres Naturais (Cap. 7); FW = Água Doce (Cap. 18); CZ = Áreas Costeiras (Cap. 17); LR = Solo (Cap. 10); Ds = Desertificação (Cap. 12); MD = Formação de Montanhas (Cap. 13); Ag = Agricultura (Cap. 14); For = Destruição de Florestas (Cap. 11); Bidv = Biodiversidade (Cap. 15); A/C = Atmosfera/Clima (Cap. 9); E = Ecossistemas; ME = Exploração de Minas/Petróleo/Gas; R = Reservatórios/Irrigação.

Obs. 2: ■ Maior relevância; □ Potencial relevância; ○ Relevância imediata limitada à área

Fonte: Modificado de Berger (1997, p. 41)

Coltrinari (1996) apresenta um resumo de geoindicadores, Quadro 8, apropriados para os trópicos úmidos, que devem ser monitorados em escala espacial e temporal, variando de acordo com seu tamanho, extensão, alcance, duração e periodicidade.

Quadro 8: Geoindicadores propostos por Coltrinari

Geoindicadores
Expansão da exposição da superfície do solo
Variações na carga de sedimentos nos rios
Erosão nas nascentes dos rios
Coluvião e aluvião
Mudanças na morfometria e na morfologia da encosta
Taxa de falhas nas encostas e sinais de falhas potenciais
Mudanças no fluxo do canal
Descarga de fluxo e aumento do sedimento
Mudanças quantitativas e qualitativas na vegetação
Taxa de perda da cobertura vegetal

Fonte: Modificado de Coltrinari (1996, p. 41)

Conforme a autora, tanto os processos naturais como antropogênicos induzem mudanças nos geoindicadores, por exemplo, distribuições de chuva, ciclo de vegetação, e ciclo anual de retirada da cobertura vegetal por queimadas.

As fontes de dados para tais geoindicadores podem ser: (1) Geometria e tipo de solo nas ravinas; (2) Instrumentação de processos climáticos e geomorfológicos; (3) Levantamento e amostragem de solo e sedimento; (4) Perfil da encosta e análise de mapas; (5) Monitoramentos meteorológicos em áreas com remoção da cobertura vegetal; (6) Levantamentos de campo da vegetação (COLTRINARI, 1996).

A autora acrescenta ainda que, para completar a análise dos dados de campo e avaliar mudanças em escalas regionais / continentais ao longo de anos ou décadas, pode-se lançar mão do uso de imagens de satélite; fotografias aéreas; análise multitemporal; comparação entre mapas atuais e passados de vegetação, topografia, geologia, geomorfologia e solo; dados meteorológicos e hidrológicos; testes físicos e químicos; e estudos micromorfológicos de solos e depósitos superficiais.

3.2.3 Utilidade dos Geoindicadores

Os geoindicadores baseiam-se em conceitos e procedimentos padrões podendo ser usados para evidenciar mudanças nos mais diferenciados ambientes, por exemplo, fluvial, costeiro, desértico, montanhoso e glacial, têm o objetivo de auxiliar no início das pesquisas e em muitos casos necessita da integração de vários ao mesmo tempo (BERGER, 1997).

O autor ainda acrescenta que o conceito de geoindicadores reúne ferramentas normativas em geomorfologia, hidrologia, geoquímica, geofísica, sedimentologia, e outras áreas, em um formato útil aos profissionais ambientais e administradores; destacando a importância de processos geológicos rápidos e determinando a condição de paisagens e ecossistemas, avaliando impactos ambientais, monitorando ecossistemas e inspecionando o desenvolvimento de atividades como mineração, silvicultura, e construção.

Alguns desses geoindicadores são complexos e de obtenção dispendiosa, outros são relativamente simples e fáceis para aplicar; podem ser utilizados como indicativos de soluções para investigações paleoambientais, dessa forma provêm uma importante linha de referência para o entendimento das tensões induzidas pelo homem ou ocasionadas naturalmente.

Os geoindicadores têm sido designados pela IUGS como uma ferramenta para descrever a situação do ambiente e para monitoramentos ecológicos de longa duração (BERGER, 1997).

Para o autor, reconhecer a realidade da mudança ambiental natural e a distinção desta das ações antrópicas é tarefa muito difícil, principalmente depois da sua ocorrência. O Quadro 9 é uma tentativa de mostrar a importância relativa das forças naturais, em contraste com as tensões induzidas pelo homem, nas causas das mudanças que determinado geoindicador representa.

Quadro 9: Influência das forças naturais e das tensões humanas nos geoindicadores

Geoindicadores	Forças naturais	Tensões humanas
Química do coral e padrão do crescimento	■	■
Crosta e fissuras em superfície desértica	■	□
Formação e reativação de dunas	■	□
Magnitude, duração e frequência de tempestade 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 salinidades de lagos	■	■
Nível relativo do mar	■	□
Seqüência e composição de sedimentos	■	■
Sismicidade	■	□
Linha da costa	■	■
Deslizamento de encostas	■	■
Erosão de solos e sedimentos	■	■
Qualidade do solo	□	■
Fluxo de corrente	■	■
Morfologia de canal	■	■
Armazenamento e carga de fluxo de sedimento	■	■
Regime de temperatura de subsuperfície	■	□
Deslocamentos crustais	■	□
Qualidade de água de superfície	■	■
Atividade vulcânica	■	○
Extensão, estrutura e hidrologia de terras úmidas	■	■
Erosão eólica	■	□
Obs.: ■ Forte influência, □ Pode influenciar, e ○ Pouca influência		

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

Os geoindicadores devem responder a quatro questões básicas: “o que está acontecendo no ambiente? (condições e tendências), por que está acontecendo? (causas), por que é importante? (efeitos ecológicos, econômicos e na saúde), e o que se pode fazer acerca disso? (planejamento e nas políticas)” (BERGER, 1997, p. 36).

3.2.4 Aplicações dos Geindicadores

3.2.4.1 Aplicações no Mundo

Osterkamp (2002) define geindicadores para monitoramento de rio e vale de rio nos trópicos úmidos, considerando três subdivisões do ambiente fluvial. Em áreas planas usa geindicadores relacionados ao escoamento superficial, movimento de solo e rupturas de talude, e densidade de drenagem; para baixadas ou vales propõe o uso de taxas de testemunho de sedimento; e para grandes fluxos, propõe geindicadores como descargas de água, sedimento, e sólidos dissolvidos.

Para o autor, as principais características desses ambientes são: ocorrência de tempestades, ausência de ciclos de gelo-degelo e relação com processos de intemperismo físico, intenso intemperismo bioquímico, movimentos de massa e baixa variabilidade nas características da água e dos rios. Com base nessas características a lista de geindicadores para o monitoramento de rios e vales de rios em locais de clima tropical úmido segue apresentada no Quadro 10.

Quadro 10: Geindicadores para rios e vales de rios em locais de clima tropical úmido

Geindicadores
Taxa e mudança de taxas na provisão de água e sedimento Relação chuva-escoamento Movimento de solos e rupturas em taludes Rastejo de solo Deslizamento de solo Densidade de drenagem
Mudança no armazenamento de sedimentos Morfologia fluxo-canal Tipos de depósitos sedimentares Chumbo 210 Césio 137 Pólen
Fluxo de água e produtos do intemperismo nos canais Corrente de fluxo Relação estágio evolutivo - descarga Duração de fluxo e frequência de inundação Descarga de sedimentos e avaliação da granulometria do sedimento Sólidos dissolvidos

Fonte: Modificado de Osterkamp (2002, p. 726)

Para Tavares, Cruz e Lollo (2007) ao tratar do ambiente fluvial e, corretamente, priorizar a dinâmica do modelado do vale na definição de geoindicadores, Osterkamp 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.

Giedtraiene et al. (2002) apresentaram os resultados de um programa que monitora a qualidade da água subterrânea na fronteira entre a Polônia e a Lituânia, uma região agrícola com uso extensivo de fertilizantes, destacando que a análise da composição química da água é um geoindicador para monitoramento de água subterrânea eficiente na avaliação de impactos ambientais.

Também na Lituânia, Klimas e Gregorauskas (2002) vêem a qualidade da água subterrânea como um valioso geoindicador de condição ambiental. Além disso, os autores consideraram como importantes geoindicadores, as mudanças em níveis de água subterrânea e as interações água-rocha (resultando em carstificação e subsidência).

Outro trabalho para monitoramento de ambientes de água subterrânea é o de Edmunds (1996), no qual o autor considera que as mudanças ambientais vêm sendo ocasionadas, principalmente por disposição de esgoto incorreta, contaminação do solo, mudanças no uso do solo, reflorestamento, aridez e desertificação, salinização, urbanização, abandono de minas e acidificação.

Os geoindicadores propostos para monitoramento de tal ambiente, segundo Edmunds (1996), estão relacionados aos fatores anteriormente citados, e são: (1) Mudanças piezométricas, (2) Dissolução mineral, (3) Reações de redução e oxidação, (4) Salinidade, (5) Tempo de residência, (6) Presença de radioatividade ambiental, (7) Presença de insumos agrícolas, (8) Poluição industrial e urbana, (9) Taxas de recargas, (10) Atenuação ácida, e (11) Impactos de atividade de mineração.

Para Tavares, Cruz e Lollo (2007), Edmunds 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 os quais trocam água a todo o momento.

Bush et al. (1999) apresentam três áreas de estudo na Carolina do Norte (EUA) em que os geoindicadores foram utilizados para avaliação de riscos litorâneos e mitigação dos impactos gerados. A proposta contempla uma lista preliminar abrangendo grande quantidade de geoindicadores, muitos dos quais passíveis de avaliação apenas em campo, sendo a mesma uma lista de checagem e elaborada com o objetivo de conter todas as possibilidades identificadas pelos autores para o ambiente litorâneo e, a partir disso são selecionados os geoindicadores considerados apropriados para o estudo em questão.

Os geoindicadores selecionados para o estudo das áreas na Carolina do Norte, foram: (1) Porte da vegetação, (2) Mudanças na linha de praia, (3) Largura da praia, (4) Declividade e espessura dos depósitos de praia, (5) Zona de espraiamento, (6) Foz de rio, (7) Geometria das dunas, (8) Geometria da escarpa, (9) Forma da costa, (10) Vegetação, (11) Drenagem, (12) Planície de lavagem, (13) Platôs em mar aberto, (15) Outras feições, e (16) Taxa geral de risco. Além disso, os autores propõem um conjunto de medidas mitigadoras consideradas úteis para os problemas identificados na área.

Nesje (1996) em seu trabalho sobre geoindicadores para áreas glaciais observa que esses locais respondem rapidamente às alterações ocorridas em seu ambiente climático pelo aumento ou diminuição do volume de gelo.

O autor descreve ainda geoindicadores para monitoramento de geleiras utilizando diferentes parâmetros glaciais: (1) Balanço específico, (2) Balanço específico cumulativo, (3) Relação de acúmulo de área, (4) Equilíbrio da linha de altitude, 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). Para tais áreas concluiu os seguintes geoindicadores: (1) Regime de temperatura no ponto mais alto, (2) Distribuição de congelamento sazonal e descongelamento sazonal, (3) Processos catastróficos de encostas, (4) Formação de blocos de gelo, (5) Erosão termal e dissolução de calcário em ambiente periglacial, e (6) Camada ativa.

Segundo o autor os geoindicadores “permafrost” 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, ambiente, evolução, atividade e intensidade dos processos criogênicos.

Outro geoindicador de reposta às mudanças ambientais, estudado por Canuti et al. (2004) são os deslizamentos de solo, bastante importante em regiões montanhosas, e foi avaliado em um trabalho desenvolvido para a Itália.

Os autores discutem a importância dos fatores uso do solo, clima e vegetação na frequência de deslizamentos de solos em diferentes escalas de tempo utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

Ainda conforme Canuti et al. (2004) os deslizamentos de solos bastante frequentes na Itália são de grande importância nas análises porque os depósitos decorrentes dos processos podem ser facilmente identificados.

A análise temporal dos processos, tendo como base as mudanças no uso do solo para movimentos de massa em áreas com altas declividades, resgatam a importância

da avaliação do fator tempo nos processos, tanto os naturais como, especialmente, aqueles decorrentes da ação humana (TAVARES, CRUZ e LOLLO, 2007).

Para ambientes áridos, Lancaster (1996) diz que as mudanças nas formas desérticas resultam da combinação de eventos como chuva, vento, temperatura e gravidade. Mudanças na magnitude desses eventos influenciam nos movimentos de massa, e na descarga e deposição de sedimentos, contribuindo para modificações na paisagem, que em alguns casos ocorrem rapidamente e podem ser indicadores sensíveis de mudanças ambientais.

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 (playas) - tipo de superfície e frequência de inundação, e (4) Feições eólicas - frequência e magnitude de tempestades de areia e vegetação em dunas.

Vance e Wolfe (1996) discutem geoindicadores para 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; e para o monitoramento das dunas geoindicadores relacionados à taxa de migração de areia, atividade regional das dunas e morfologia da duna.

O crescimento da população urbana em muitos países tem causado diversas mudanças ambientais na hidrologia, geomorfologia, clima, vegetação, e qualidade do ar e da água. Tais mudanças podem ser representadas por geoindicadores, que embora não tenham sido desenvolvidos para o ambiente urbano podem ser de grande utilidade em tais áreas.

Segundo Gupta (2002), em cidades situadas em regiões de clima tropical e subtropical os problemas se agravam pela combinação dos seguintes fatores: (1) O crescimento urbano se dá com rápida expansão das áreas construídas, sem a implantação das obras de controle; (2) Muitas cidades estão localizadas em áreas de risco, seja de enchentes, de terremotos ou de movimentos de massa; e (3) Os altos índices de precipitação pluviométrica aumentam os riscos existentes.

Os geoindicadores podem ser usados para representar as mudanças na qualidade do ambiente geológico urbano, e para tomar as devidas decisões administrativas, especialmente no que diz respeito às áreas de risco (GUPTA, 2002).

Mediante essa problemática o autor desenvolveu uma lista de geoindicadores, apresentada no Quadro 11, para avaliação de áreas urbanas tropicais, sendo essa lista selecionada de acordo com a efetividade na avaliação de impactos ambientais e o tipo de dados requeridos para o seu uso.

Para McCall (1996) o ambiente urbano não pode ser ignorado na definição de geoindicadores, pois devido a grande concentração de pessoas em tais ambientes, o mesmo é alvo da maior parte da poluição ambiental antropogênica, e os processos envolvidos não estão restritos apenas à área urbana, mas se estendem ao ambiente externo.

Em seu trabalho o autor apresenta ainda uma proposta de geoindicadores para monitoramento ambiental de áreas urbanas, descrevendo o problema, o processo que deve ser avaliado, o indicador e a ferramenta utilizada para tal avaliação, Quadro 12.

McCall (1996) considera ainda que o uso de geoindicadores para avaliação de mudanças ambientais em áreas urbanas deve ser feito com cuidado, uma vez que, por definição, geoindicadores são designados primeiramente para medir mudanças no ambiente geológico, sendo assim a completa e correta avaliação das mudanças que englobem o ambiente urbano e a interação entre ambientes, considerando os efeitos da atividade humana, incluiria tratar os diferentes ambientes como sistemas abertos, que trocam matéria e energia com os sistemas vizinhos.

Quadro 11: Geoindicadores para avaliação de áreas urbanas tropicais

Nome	Significado	Causa	Medida	Escala espacial	Escala temporal	Precisão	Aplicação	Limiar
Inundação	Condições drenagem	Natural/humana	Intensidade, magnitude, frequência	km	seg. - anos	cm	Prevenção de riscos	Margem do canal
Água subterrânea	Diminuição	Humana	Diminuição, transferência, recarga	km	dias - anos	cm	Provisão de água, subsidência	Região determinada
Encostas	Estabilidade	Natural/humana	Magnitude, comprimento.	m	semanas - anos	grau	Mitigação de riscos, planejamento	Região determinada
Canal de rio	Mudanças hidrológicas	Humana	Largura seção	km	casual ou ano	cm	Controle de inundação	Uso do solo local
Clima	Mudanças hidrológicas	Humana	Temperatura, precipitação, evapotranspiração	km	min. - anos	mm	Planejamento	Região determinada
Uso do solo	Mudanças ambientais	Humana	Mapas, fotos e imagens de satélite	m ²	anos	m ²	Avaliação ambiental	Região determinada
Qualidade ar	Saúde	Humana	Análise de amostras	Variável	horas - anos	µg m ⁻³	Administração ambiental	OMS ou nações
Disposição de esgoto	Poliuição da água	Humana	Análise de amostras	pontos	diário	variável	Qualidade da água	OMS e nações
Áreas baixas do relevo	Possível inundação	Natural/humana	Delimitação da área	km	sazonal	cm	Riscos, saúde, subsidência	Região determinada
Perturbações sísmicas	Risco	Natural/humana	Dados de campo	m	casual	cm	Mitigação de riscos	Região determinada
Atividade vulcânica	Risco	Natural	Dados de campo	km	casual	não aplicável	Mitigação de risco	Região determinada
Acúmulo areia/dunas	Risco e poluição	Natural/humana	Dados de campo	m ²	dias	m	Potencial de poluição	Uso do solo local

Obs.: OMS – Organização Mundial de Saúde

Fonte: Modificado de Gupta (2002, p. 739)

Quadro 12: Proposta de geoindicadores para rápidas mudanças no ambiente urbano

Problema	Processo	Indicador	Ferramenta
Instabilização	I) Sismicidade	Atividade sísmica	Sismógrafo, pesquisas históricas
	II) Vulcanismo		Malha de instrumentos, pesquisas históricas
Inundação	I) Intrusão marina	Mudanças no nível do mar	Medição
	II) Excesso de precipitação	Chuva	Medição
	III) Transbordamento de rio	Mudança no nível do rio	Medição
	IV) Ruptura de reservatórios e represas	Pequenos abalos	Sismógrafo
Tsunamis	Inundação em costas causadas por terremotos distantes e erupções submarinas	Abalos registrados na área costeira	Sismógrafo
Deslizamentos de solo	Colapso gravitacional	Movimentos de formações rochosas superficiais	Medida de estabilidade de encosta, mapeamento, monitoramento por meio do uso de pontos de referência e registros históricos.
Subsidência	Colapso gravitacional ou abatimento	Movimento vertical de solo superficial	Nivelar instrumentos em pontos de referência
Contaminação e poluição	Poluição da água subterrânea e superficial, solo e ar	Excesso de substâncias prejudiciais	Monitoramento regular, amostragem e análises
Elevação do nível da água	I) Interrupção de bombeamento de aquíferos na área urbana	Mudanças no nível da água (positivo) e aparente poluição perto da superfície, danos e inundações das estruturas de proteção	Medição do nível da água, análise químicas e microbiológicas da água e controle no retorno da irrigação
	II) Irrigação (interações água-esgoto/fossa séptica, danos em fundações, inundação de construções subterrâneas)		
Rebaixamento no nível da água	Subsidência difusa (extração de fluidos)	Mudanças no nível da água (negativa) redução do nível do solo	Medição do nível da água e medição do nível do solo usando pontos de referência
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 prédios e materiais 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)

3.2.4.2 Aplicações no Brasil

No Brasil já existem estudos desenvolvidos utilizando geoindicadores como ferramenta de avaliação de condições ambientais.

Zuquette, Pejon e Collares (2004) avaliaram a degradação do solo em áreas de drenagem no ambiente costeiro da região metropolitana de Fortaleza (CE), sendo as principais causas de tal degradação, a agricultura, a urbanização, a destruição de florestas e a mineração.

Os autores desenvolveram essa avaliação em duas etapas, uma de caracterização dos componentes ambientais por meio de trabalho de campo e laboratório, e a outra foi o estudo detalhado das áreas degradadas com uso de sensoriamento remoto.

Os geoindicadores definidos foram: (1) Posição da margem da praia, (2) Erosão (solo e sedimento), (3) Mudanças no relevo, (4) Mudanças no canal, (5) Qualidade da água superficial, (6) Assoreamento, (7) Mudanças em dunas, (8) Rupturas em taludes, (9) Mudanças na geometria do canal, (10) Mudanças na vegetação, (11) Qualidade da água subterrânea, (12) Frequência de fontes poluidoras, (13) Intensidade e frequência de inundações, (14) Danos em construções e na infra-estrutura urbana, (15) Rebaixamento do nível de água subterrânea, (16) Alteração na direção da vazão da água subterrânea, (17) Alteração na direção da vazão da água superficial, (18) Destruição de matéria orgânica, e (19) Intrusão de água salina em aquíferos rasos (ZUQUETTE, PEJON e COLLARES, 2004).

A escolha de tais geoindicadores para o estudo, segundo os autores, foi devido ao baixo custo dos ensaios de laboratório e trabalhos de campo associados, sendo todos os dados relacionados com hidrologia, geomorfologia, clima e componentes geológicos, bem como vegetação, qualidade de água, e padrão de uso do solo.

Os autores analisaram os geoindicadores em termos de presença, frequência e intensidade nas bacias de drenagem delimitadas na área. Em termos de presença, as classes foram definidas pela quantidade de geoindicadores da lista verificados na área; a frequência foi considerada como o número de áreas onde foi detectado o geoindicador; e a intensidade foi a combinação entre volume e extensão de cada área onde o geoindicador foi detectado. Finalmente, as áreas de drenagem foram classificadas com nível de degradação baixa, intermediária, ou alta; considerando as classes presença, frequência, e intensidade.

Zuquette, Pejon e Collares (2004) finalizam afirmando que os problemas de degradação do solo na região têm afetado a vida das pessoas e demandado grandes investimentos em programas de reabilitação de áreas degradadas.

Um trabalho bastante diferenciado com o uso de geoindicadores foi desenvolvido para o parcelamento do solo na gestão ambiental urbana, sendo escolhida

uma área de estudo situada em ambiente costeiro, o nordeste da Ilha de Santa Catarina, em Florianópolis (SC).

Segundo Rego Neto (2003) a escolha da área foi devido à importância do aquífero local, e foram considerados os geoindicadores nível da água subterrânea e qualidade da água subterrânea.

Por se tratar de região costeira o autor propõe ainda o geoindicador nível relativo do mar e, na região das praias, onde foi observada a movimentação de dunas sobre áreas ocupadas e a ação da abrasão marinha, os geoindicadores formação e reativação de dunas, e posição da linha de costa.

O autor destaca que o conceito de geoindicadores é recente e está em fase de maturação de suas reais potencialidades, sendo de fundamental importância na gestão ambiental urbana de áreas frágeis e/ou de forte dinâmica ambiental, por permitir uma melhor aproximação dos cenários ambientais futuros.

Rego Neto (2003) ressalta ainda que a integração do conceito de geoindicadores com as técnicas de re-parcelamento do solo pode ser a chave para resolver muitos problemas de gestão ambiental urbana, não só em cidades de nosso país, como em outras regiões.

O assoreamento foi estudado e proposto como geoindicador ambiental por Campagnoli (2002), reconhecendo a importância do assoreamento como processo de deposição sedimentar acelerada, que ocorre em corpos d'água de diversas naturezas, tais como córregos, rios, lagos, estuários e ambientes de praias. Sua ocorrência denota um desequilíbrio entre a produção de sedimentos de uma bacia e a capacidade transportadora de sua rede de drenagem.

Estudando o assoreamento em vários reservatórios, o autor propõe geoindicadores específicos para a caracterização das condições de assoreamento em função das dimensões do reservatório e das informações disponíveis.

O trabalho mostra ainda uma preocupação em definir geoindicadores e métodos de obtenção dos mesmos compatíveis com a escala de trabalho, considerando os níveis de abordagem: regional (escalas 1:100.000 e 1:250.000), local (1:10.000 e 1:25.000), de semi-detulhe (1:5.000), e detalhada (1:2.500).

Os geoindicadores variam ligeiramente em função da abordagem, mas podem ser assim sintetizados: (1) Área erodida, (2) Volumes de assoreamento, (3) Taxas de sedimentação, (4) Espessura dos depósitos, (5) Índices de contaminação, e (6) Poluição de sedimentos e águas.

O destaque dado a variável escala de trabalho fornece uma grande contribuição ao estudo dos geoindicadores, destacando a importância da escala no processo (TAVARES, CRUZ e LOLLO, 2007).

Outro trabalho desenvolvido por brasileiros foi o de Santo e Sánchez (2002), o qual avaliou indicadores de impactos ambientais usando SIG e fotografias aéreas. Os indicadores nesse trabalho foram determinados para avaliação dos impactos causados por exploração de minas de areia em planícies de inundação do Rio Paraíba do Sul.

Foram avaliados os seguintes geoindicadores: (1) Área total de mineração; (2) Áreas de solo agricultável convertida em área de mineração, com ênfase em áreas com exposição do nível freático; (3) Áreas de remoção da cobertura vegetal; (4) Modificações na morfologia do rio; (5) Crescimento de vegetação em áreas recuperadas; e (6) Mineração em áreas de proteção ambiental (SANTO e SÁNCHEZ, 2002).

Santo e Sánchez (2002) finalizam esse estudo salientando que os geoindicadores são aplicáveis na gestão ambiental, no planejamento do uso do solo, na avaliação de impactos ambientais e na avaliação da degradação do solo.

3.2.4.3 Considerações Acerca dos Exemplos Apresentados

Segundo Tavares, Cruz e Lollo (2007) a primeira observação relevante acerca das aplicações avaliadas diz respeito à estreita relação entre os geoindicadores propostos e a dinâmica dos ambientes considerados.

Também é digna de nota a preocupação dos autores 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, (TAVARES, CRUZ e LOLLO, 2007).

Quanto às formas de obtenção dos geoindicadores os autores destacam a preferência por técnicas que envolvem menores custos, especialmente aquelas baseadas em levantamentos de campo.

Tal situação é modificada quando os geoindicadores escolhidos para medir níveis de degradação física envolvem remoção ou deposição de materiais (com necessidade de trabalhos de campo extensivo, envolvendo maiores custos), ou níveis de degradação química (com medidas em laboratório de concentrações de materiais ou substâncias).

Com relação à reprodutibilidade das técnicas em ambientes com condições similares, Tavares, Cruz e Lollo (2007) colocam que a relativa flexibilidade dos geoindicadores propostos facilita tal iniciativa, já que os indicadores escolhidos se referem às 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.

Ainda conforme os autores, uma observação importante a se fazer com relação aos trabalhos existentes na literatura é que às vezes os autores na intenção de descrever de forma precisa o estado do ambiente estudado lançam mão de indicadores de natureza diversa (bioindicadores, por exemplo) como instrumentos complementares para descrever o meio geológico.

Tavares, Cruz e Lollo (2007) complementam dizendo que 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 frequentes e atitudes de recuperação do recurso.

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 sem que medidas de controle e mitigação não sejam aplicadas ou, dependendo do caso, medidas compensatórias que permitam a convivência da comunidade com o processo, (TAVARES, CRUZ e LOLLO, 2007).

Mesmo de posse de tantas formas de aplicação para os geoindicadores, muito ainda pode que ser feito para explorar suas potencialidades, considerando que cada estudo de caso tem suas particularidades. Mesmo quando se trata do mesmo tipo de ambiente, deve haver um cuidado em verificar se essas particularidades indicam a necessidade de definição de geoindicadores específicos.

3.2.4.4 Estudo de Caso – Áreas de Empréstimo de Solo

A partir de tantas aplicações para o uso de geoindicadores nos mais diferentes ambientes, a proposta em questão tem o objetivo de propor uma lista de geoindicadores que venha representar o estado ambiental das áreas definidas para o estudo, avaliar a degradação dessas áreas, e de posse disso propor formas de uso e prioridades de intervenções para as mesmas.

A aplicação da proposta se deu em ambiente urbano, em áreas onde foi explorado solo (áreas de empréstimo) para obras de engenharia, sendo avaliada a degradação do solo nesses locais.

Essas áreas de empréstimo foram escolhidas para o estudo por estarem situadas na área urbana ou contígua ao limite da área urbana de Ilha Solteira, representando áreas de ocupação potencial futuro, sendo que a proposição de usos para tais áreas levará em conta essa localização, ou seja, serão estudadas propostas que visem dar alguma utilização benéfica para a população urbana.

Outro aspecto interessante a se destacar é o fato que tais áreas foram exploradas em décadas passadas, numa época em que a legislação vigente não exigia projeto de recuperação de áreas degradadas por empréstimo de solo, por esta razão as áreas não foram submetidas a projetos de recuperação nem têm projetos previstos para tal finalidade.

Sendo assim, o presente trabalho é de fundamental importância para gerar o conhecimento que virá a ser necessário quando da discussão ou proposição de usos futuros para as áreas.

3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

3.3.1 Introdução

Geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de 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 (CÂMARA e DAVIS, 2007).

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 tipos de dados em geoprocessamento conforme Câmara e Monteiro (2007) são:

- Dados temáticos: descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia, por exemplo.
- Dados cadastrais: cada um de seus elementos é um objeto geográfico que possui atributos (armazenados em um banco de dados) e pode estar associado a várias representações gráficas, por exemplo, os lotes de uma cidade possuem atributos (dono, localização, imposto territorial urbano – IPTU).
- Redes: denotam as informações associadas a serviços de utilidade pública (água, luz e telefone), redes de drenagem (bacias hidrográficas), e rodovias. No caso de redes, cada objeto geográfico (cabo telefônico, transformador de rede elétrica, tubulação de água) possui uma localização

geográfica exata e estão sempre associados a atributos descritivos presentes no banco de dados.

- Modelos numéricos de 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.

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.

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

As imagens são armazenadas como matrizes, e cada elemento de imagem (denominado "pixel") têm um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

As principais características de uma imagem 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).

Conforme Câmara e Davis (2007) as ferramentas computacionais para o geoprocessamento, chamadas de sistema de informação geográfica, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados tornando ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Sistemas de Informação Geográfica são sistemas que 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; oferecem ao administrador uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, onde todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, relacionadas entre si com base no que lhes é fundamentalmente comum – a localização geográfica (CÂMARA e QUEIROZ, 2007).

Ainda conforme os autores, sistemas de informação geográfica são compostos de hardware, software, bancos de dados; e pessoal envolvido na operação, manutenção e administração do próprio sistema. Existem para tornar possível e facilitar um número de funções ou atividades que podem ser chamadas componentes do núcleo central

do SIG: aquisição e armazenamento de dados, estruturação de dados, manipulação e análise de dados, geração de informação e, finalmente, gerenciamento do SIG.

3.3.2 Princípios do Spring (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas)

Segundo Spring (1996) o produto *Spring* é um banco de dados geográfico de 2º geração, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Promove um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, capacidade de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho de alto desempenho.

Para alcançar esses objetivos, o *Spring* é baseado num modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações, (SPRING, 1996).

A motivação básica para o desenvolvimento do *Spring* baseia-se em duas premissas: integração de dados e facilidade de uso.

No primeiro caso, constatamos 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.

Ainda conforme Spring (1996) muitos dos sistemas disponíveis no mercado nacional apresentam alta complexidade de uso e demandam tempo de aprendizado muito longo. Os objetivos do sistema *Spring* são:

- Integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas;

- Utilizar modelo de dados orientado a objetos, que melhor reflete a metodologia de trabalho de estudos ambientais e cadastrais;
- Fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos.

Conforme Spring (1996), o software *Spring* está estruturado em três módulos, "Impima", "Scarta" e "Spring", com o objetivo de facilitar seu uso, compartimentando as funções.

O módulo "Impima" é utilizado somente para se obter uma imagem no formato GRIB, através da leitura de imagens em dispositivos como CD-ROM, CCT (Computer Compatible Tapes), "streamer" (60 ou 150 megabytes) e DAT (Digital Audio Tape, 4 ou 8 mm) adquiridas a partir dos sensores TM/LANDSAT-5, HRV/SPOT e AVHRR/NOAA, ou imagens nos formatos TIFF, RAW e SITIM.

No módulo "Spring", estão disponíveis as funções relacionadas à criação, manipulação de consulta ao banco de dados, funções de entrada de dados, processamento digital de imagens, modelagem numérica de terreno e análise geográfica de dados. É o módulo principal de entrada, manipulação e transformação de dados geográficos.

As funções da janela principal, na barra de menus, do *Spring* estão divididas em: Arquivo, Editar, Exibir, Imagem, Temático, MNT, Cadastral, Rede, Objetos, Executar, Ferramentas e Ajuda. Para cada opção há um menu associado com operações específicas:

- "Arquivo": relacionam-se todas as atividades referentes à manipulação de banco de dados, projetos e esquema conceitual de um banco, a importação e exportação de dados de outros formatos e softwares, além do registro de novas imagens que farão parte de um projeto.
- "Editar": proporciona ao usuário definir os planos de informações de um projeto específico. Toda a conversão interna de dados entre projetos, isto é, a troca de dados entre planos de informações é realizada no item Mosaico.
- "Exibir": permite o usuário exibir ou não o painel de controle, no qual só são apresentadas as categorias, nas quais existe pelo menos um plano de informação associado, isto é, somente os dados do projeto ativo.
- "Imagem": apresenta funções exclusivas de processamento de imagens, como realce de contraste, filtragem, operações aritméticas, principais componentes, modelo de mistura, classificação, segmentação, restauração TM, leitura de pixel, eliminação de ruído e estatística de imagens.
- "Temático": encontram-se as funções de cálculo de área, tabulação cruzada, mapa de distâncias, análise de lineamentos, medidas, conversões varredura-vetor e vetor-varredura.

- “MNT (Numérico)”: permite funções para modelagem numérica do terreno, tais como geração de grade regular e triangular, fatiamento, geração de imagem, geração de isolinhas, cálculo de declividade, perfil, volume e visualização 3D.
- “Cadastral” e “Redes”: encontram-se operações de edição, mosaico e mapa de distâncias.
- “Objetos”: encontra-se a manipulação de objetos e consulta.
- “Ferramentas”: encontram-se operações de calibrar mesa, operações métricas e configurar ambiente.

O módulo "Scarta" apresenta funções para que um mapa gerado no módulo principal *Spring* possa ser apresentado na forma final como um documento cartográfico, nesse módulo é possível editar uma carta e gerar um arquivo para impressão.

O usuário tem a opção de editar textos, símbolos, legendas, linhas, quadros e grades em coordenadas planas ou geográficas. Permite também a exibição de mapas em várias escalas, no formato varredura ou vetor.

CAPÍTULO 4 - ÁREA EM ESTUDO

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O município de Ilha Solteira está situado na região Noroeste do estado de São Paulo, entre os meridianos 51°00' e 51°30' W e os paralelos 20°15' e 20°45' S. A Figura 3 apresenta uma ilustração esquemática da localização de Ilha Solteira.



Figura 3: Localização do município de Ilha Solteira

De acordo com a Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1981) o embasamento geológico da região é representado principalmente por rochas sedimentares do Grupo Bauru, Formação Santo Anastácio, que ocorre em áreas que acompanham as cotas mais baixas dos vales dos rios afluentes do Paraná, e é constituída por arenitos de granulação de fina a média.

Nos fundos de vale mais aprofundados observam-se afloramentos de basaltos da Formação Serra Geral, a qual apresenta ainda arenitos intercalados aos derrames (IPT, 1981). A Figura 4 apresenta a geologia da Bacia do Rio Paraná, e a Figura 5 destaca as unidades geológicas presentes na área urbana de Ilha Solteira e seu entorno.

Fonte: Modificado de Paulipetro (1981), citado por Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004)

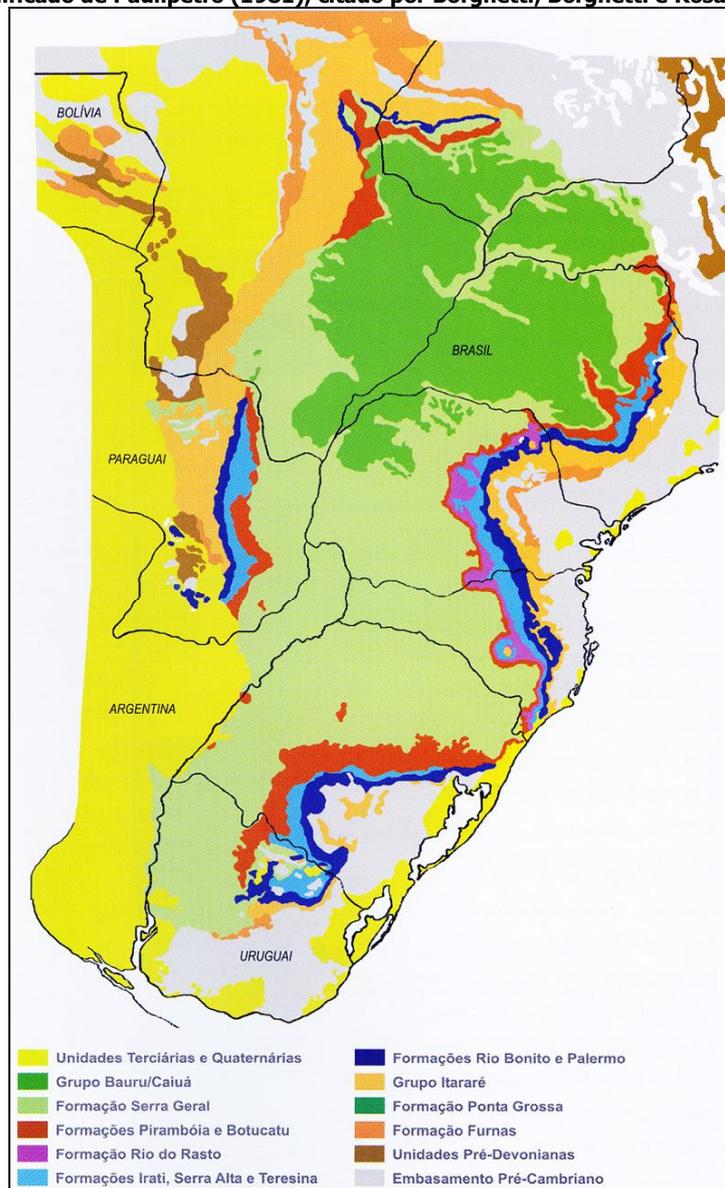


Figura 4: Geologia da Bacia do Rio Paraná

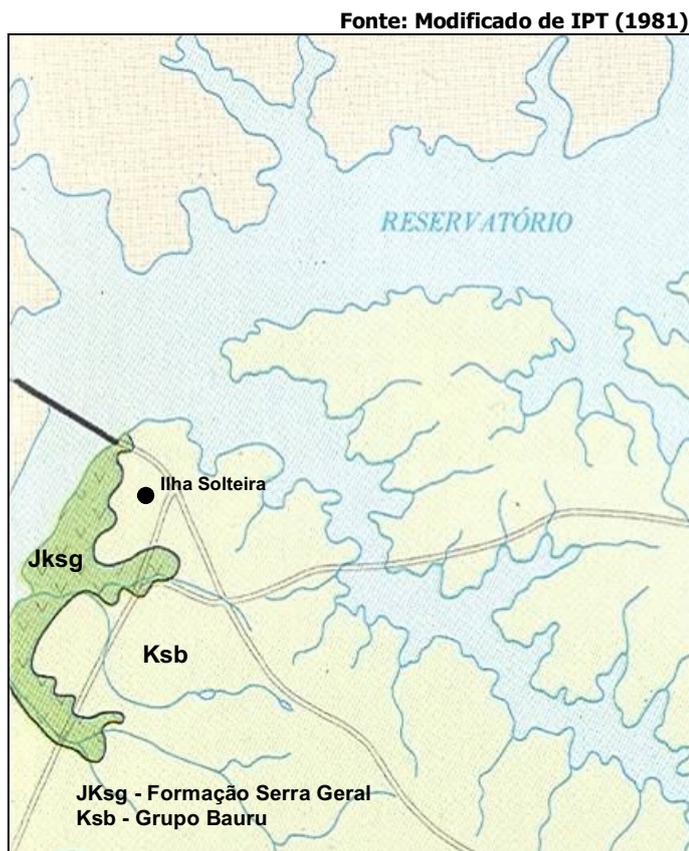


Figura 5: Unidades geológicas presentes na área urbana de Ilha Solteira e seu entorno

Ainda conforme autor, a geologia condicionou o relevo regional; as rochas básicas, mais resistentes à intemperização, funcionaram como nível de base, regulando a progressão da erosão. Os arenitos da Série Bauru formaram vastos chapadões constituídos de colinas com topos achatados e arredondados, modelando uma topografia de declives suaves e pendentes longas, que vai se tornando menos movimentada e monótona, até se formarem as planícies dos rios Paraná, Tietê e São José dos Dourados, com feições características de campos de várzeas. A permeabilidade do arenito Bauru condicionou um sistema de drenagem esparsa, favorecendo a suavidade do relevo.

As altitudes regionais são bastante modestas, variando grosseiramente de 280 a 380 m, e o relevo que se assenta sobre as estruturas areníticas, varia de plano a ondulado. Os vales têm vertentes amplas, de gradientes suaves e, somente em áreas bastante restritas a topografia toma formas fortemente ondulada (IPT, 1981).

Lollo (1998) usando formas de relevo identificou dois sistemas de terreno (denominados A e B) no município, sendo o Sistema A composto por colinas médias onduladas, encostas convexas, e vales pequenos e profundos com encostas convexas; e o Sistema B composto por vales amplos e médios, pouco profundo, com encostas retilíneas a côncavas.

Para o Sistema A o autor propôs a divisão em duas unidades de terreno (A.1 - colinas e A.2 - vales) e para o Sistema B, três unidades de terreno (B.1 - vales amplos, B.2 - colinas médias a amplas e B.3 - vales médios). Na caracterização geotécnica da área urbana e de expansão urbana não se verificou a ocorrência da Unidade B.2.

Para as áreas urbana e de expansão urbana este levantamento foi detalhado pelo autor até o nível elemento de terreno, sendo três deles pertencentes à unidade A.1 (elementos A.1.1, A.1.2 e A.1.3), dois pertencentes a unidade A.2 (elementos 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 (elementos de terreno B.3.1 e B.3.2).

A distribuição das formas de relevo na área urbana e de expansão urbana é apresentada e a descrição dos elementos de terreno com o tipo de perfil de alteração de solo associado a cada um deles no Quadro 13.

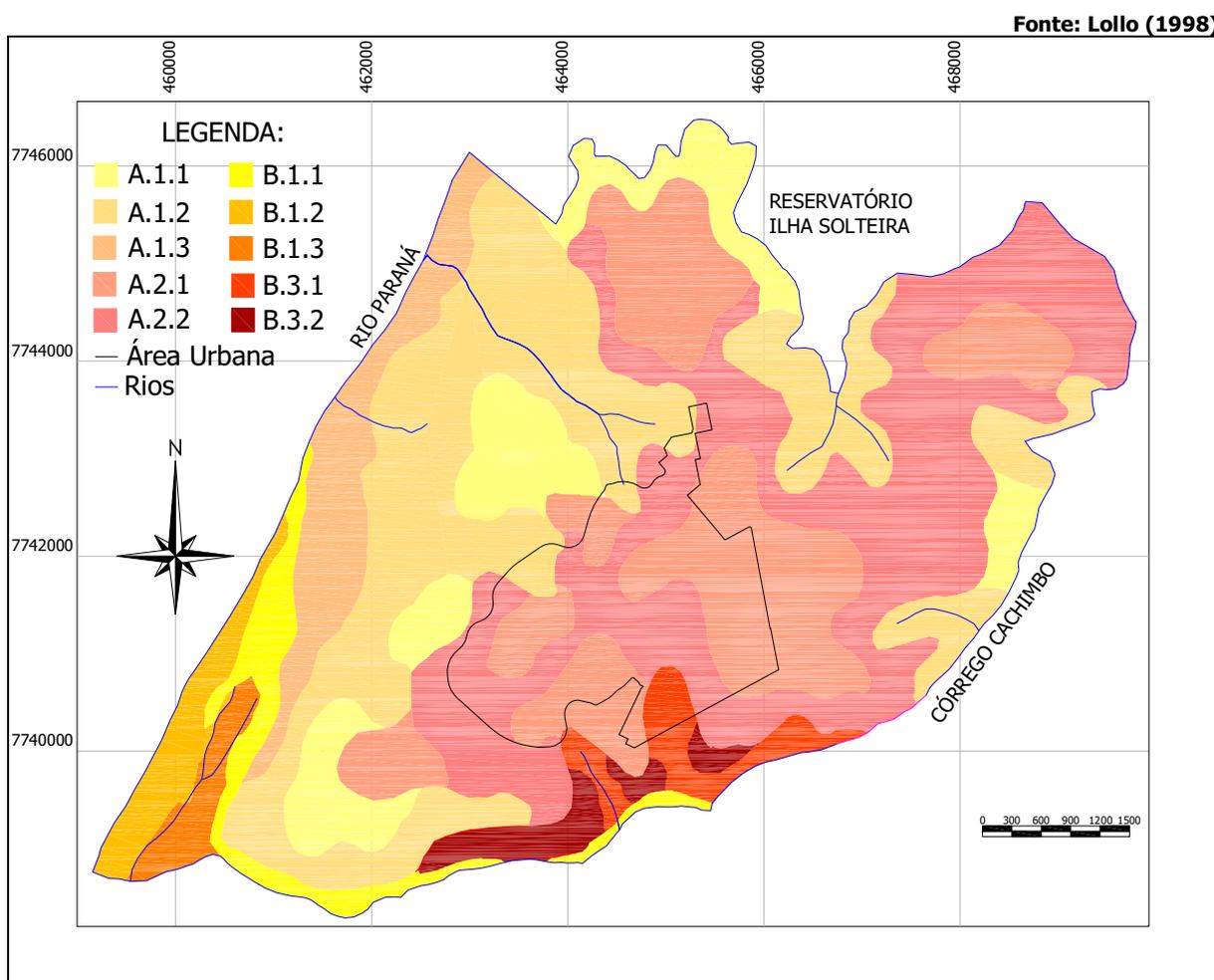


Figura 6: Distribuição das formas de relevo na área urbana e de expansão urbana de Ilha Solteira

Quadro 13: Descrição dos elementos de terreno com respectivo perfil de alteração de solo

Elemento	Descrição	Perfil de solo
A.1.1	Porção superior das encostas, formas convexas pouco íngremes	Espessuras de até 7 m
A.1.2	Porção inferior das encostas, formas retilíneas a côncavas, bastante íngremes	Espessura entre 2 e 5 m
A.1.3	Fundo dos vales, forma retilínea	Espessura < 2 m
A.2.1	Metade superior e topo das colinas, formas convexas e topo relativamente aplainado	Espessura > 20 m
A.2.2	Porção inferior das colinas, formas convexas	Espessura raramente superior a 10 m
B.1.1	Planícies aluviais recentes e depósitos aluviais em canais abandonados	Espessura ≤ 5 m
B.1.2	Terraços aluviais em porções superiores de encostas (perfil convexo)	Espessura ≤ 10 m
B.1.3	Vales amplos com encostas côncavas, bastante dissecadas	Espessura < 2 m
B.3.1	Metade inferior das encostas, formas côncavas íngremes tendendo a retilíneas	Espessura de 5 a 6 m
B.3.2	Metade superior das encostas, formas convexas tendendo a côncavas pouco íngremes	Espessura ≤ 10 m

Fonte: Lollo (1998)

Do ponto de vista pedológico, os tipos de solos encontrados no município são: Solos hidromórficos (HI), Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho Escuro (LE), Podzólico - Lins (PL) e Podzólico - Marília (PM), (CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA IRRIGAÇÃO NA REGIÃO DE URUBUPUNGÁ - CINDIRU, 1995).

Os solos hidromórficos ocorrem nas várzeas, a maior parte ocupando terrenos com declividade entre 0% e 2%, apresentam como principais características uma fertilidade natural, média ou alta, presença constante de água e possibilidade de inundações, grande parte da área com esse tipo de solo foi inundada pela Represa de Ilha Solteira (CINDIRU, 1995).

Ainda conforme o autor, o latossolo roxo é de fertilidade natural alta, fraca propensão aos processos erosivos, pouco permeável e profundo, ocorrendo sobre os basaltos, os quais apresentam pequenas exposições junto aos fundos de vale mais aprofundados e são encontrados em áreas com declividade entre 2% e 5%, grande parte da área com esse tipo de solo também foi inundada pela Represa de Ilha Solteira.

O tipo de solo predominante no município é o latossolo vermelho-escuro (369,84 km²). Ocorre sobre rochas areníticas, apresentando como características principais: baixa fertilidade natural, forte propensão à erosão e alta permeabilidade, sendo encontrado principalmente em áreas de declividade entre 2% e 5% (CINDIRU, 1995).

Conforme CINDIRU (1995) as rochas areníticas do Grupo Bauru originaram também os solos podzolizados de Lins e Marília que possuem boa fertilidade, porém altos

riscos de erosão. Constituem solos com alto potencial agrícola, porém requerem uso e manejo que garantam a sua conservação, impedindo a degradação pela erosão ou empobrecimento.

A vegetação natural é composta pelas formações de floresta tropical latifoliada semi-decídua ou mata seca; aparecem também as formações cerrado e cerradão, e grande parte dessa cobertura original foi eliminada durante a ocupação da área (CINDIRU, 1995).

Atualmente os córregos encontram-se praticamente desprovidos de mata ciliar, e a cobertura principal do solo é representada pelos campos antrópicos (pastagens) e agricultura.

Quanto à hidrografia, o município de Ilha Solteira está situado entre os rios Paraná e Tietê; tendo o Rio São José dos Dourados ao centro do município, e o Rio Tietê ao sul, ambos desaguando no Rio Paraná (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2007).

O aquífero ao qual a área de estudo se insere é o Aquífero Bauru-Caiuá, tal aquífero é poroso, livre a semiconfinado, e ocorre recobrimdo o sistema aquífero Serra Geral (BORGHETTI, BORGHETTI e ROSA FILHO, 2004).

Conforme CINDIRU (1995) o clima da região, classificado de acordo com o Sistema Internacional de Köppen é Aw (tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno).

O mês mais 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 Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), para o ano de 2005, a temperatura média anual foi de 24,9°C, com temperatura mínima de 14,6°C (julho) e máxima de 33,5°C (fevereiro).

Ainda segundo CINDIRU (1995), a precipitação pluviométrica varia entre 1100 e 1300 mm, caracterizada por marcante contraste entre fortes chuvas de verão e fracas no inverno, sendo a estação seca entre os meses de maio e setembro/outubro.

Conforme Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), para o ano do 2005 a precipitação foi de 1065 mm, com mês mais chuvoso em dezembro (300 mm), e mês mais seco em agosto (3,8 mm).

A ocupação da região foi iniciada no final da década de 60, com o início das obras do Complexo Hidrelétrico Urubupungá, englobando as represas de Jupia, e de Ilha Solteira, no rio Paraná; a represa de Três Irmãos no rio Tietê; e o canal de Pereira Barreto, o que acarretou em processos de degradação ambiental.

Com o início dessas obras houve um afluxo de mão-de-obra para a região durante a fase de construção, e foram empreendidas várias melhorias na infra-estrutura da região, tais como construção de rodovias pavimentadas e instalação de núcleos urbanos.

O núcleo urbano de Ilha Solteira foi construído com a finalidade de abrigar a mão-de-obra da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, e desde sua concepção original foi planejado de forma a tornar-se uma cidade em razão de sua dimensão e associado ao fato da região próxima à Ilha Solteira apresentar uma rede urbana desfavorável, com cidades muito distantes entre si. Além disso, o custo de implantação de um acampamento-cidade, não era significativamente maior do que o da implantação de um acampamento provisório (COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO - CESP, 1988).

Ainda conforme o autor o início da construção do núcleo urbano foi em 1967, estando o acampamento-cidade pronto em 1970. Seu planejamento físico procurou otimizar a oferta de serviços à população, resultando numa estrutura urbana compacta, com altos valores de densidade populacional.

Conforme Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), a cidade foi construída em um período que se preconizava a especialização das zonas de uso. Havia uma “radicalidade” na separação dos usos de tal forma que o uso habitacional, ficasse preservado dos impactos dos empreendimentos de qualquer natureza pela proximidade com as moradias.

A cidade foi planejada para ter quatro zonas de uso, 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 SP 595; e a zona especial de proteção ambiental e produção agro-ecológica do cinturão verde (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2007).

Com a elevação de Ilha Solteira à categoria de município em 1991, a prefeitura municipal instalada preocupou-se em ampliar estas fronteiras da área urbana criando novos projetos habitacionais na forma de loteamentos. Esses loteamentos tiveram como principais finalidades a construção de habitações para população de baixa renda (Jardim Aeroporto e Jardim Novo Horizonte) e explorar o potencial turístico do entorno do lago do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira.

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

Durante todo esse processo a população variou de mais de 30.000 habitantes em 1970 a 18.500 habitantes em 1980, sendo que atualmente a população de Ilha Solteira,

segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2007) é de 23.996 habitantes.

A distribuição da ocupação urbana ainda é verificada conforme a implantação inicial, com exceção da área comercial que se expandiu ao longo das demais alamedas e avenidas principais dos bairros instalados posteriormente.

Segundo Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), o município abrange uma área total de 659,37 km², sendo o perímetro urbano atual de 24,24 km. O uso predominante do solo é a pastagem, com algumas inserções de culturas temporárias, e grande perspectiva para o crescimento do cultivo da cana-de-açúcar, inclusive vindo a ocupar áreas atualmente destinadas a pastagens, devido às usinas sucroalcooleira já instaladas na região e projetos em andamento para futuras instalações.

Os setores econômicos de maior destaque no município são os de energia elétrica, turismo, pecuária e agricultura, com tendência recente para o cultivo da cana-de-açúcar (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2007).

4.2 ÁREAS DE EMPRÉSTIMO DE SOLO

As áreas de empréstimo de solo que serão avaliadas estão localizadas na área urbana do município de Ilha Solteira ou em áreas contíguas à área urbana, e são apresentadas no Mapa 2.

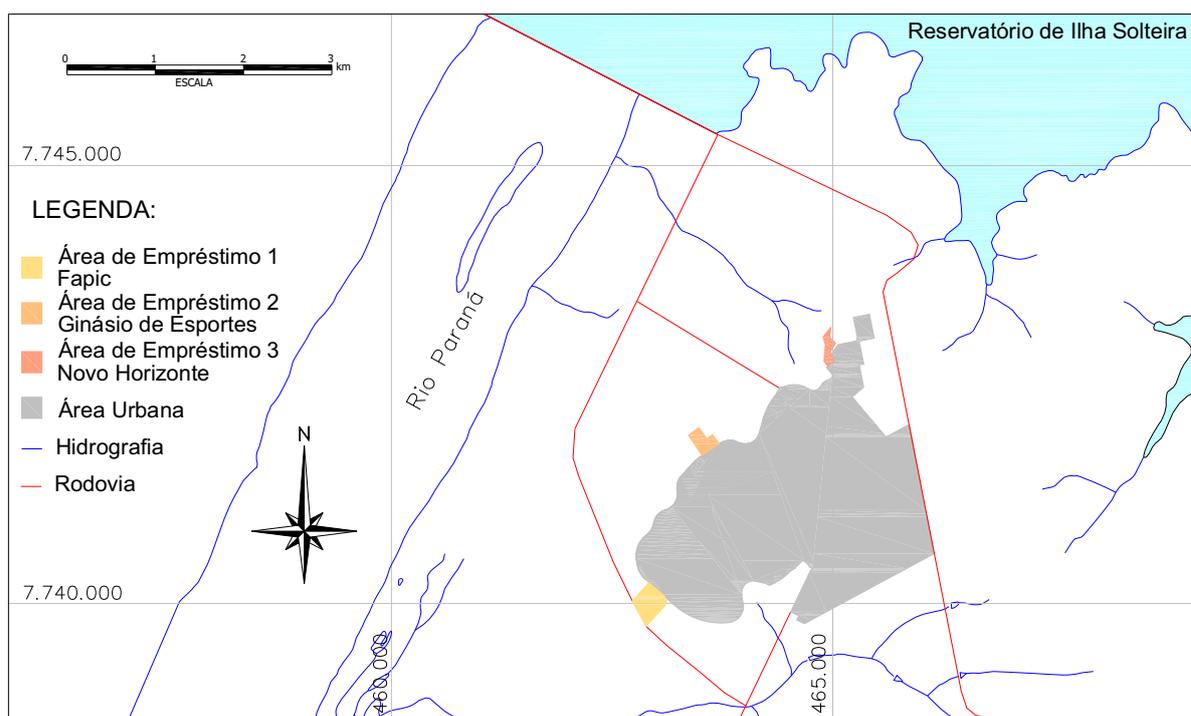


Figura 7: Localização das áreas de empréstimo

Essas áreas que antes foram de domínio da CESP, hoje são da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, sendo que uma delas, a Área de Empréstimo 2 foi objeto de um contrato de comodato entre a Prefeitura Municipal de Ilha Solteira e produtor rural, que atualmente utiliza a área (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2007).

A exploração do solo de tais áreas foi por meio de escavação mecânica e ocorreu no final da década de 60, início da década de 70, para obras auxiliares à construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, por exemplo, aterros para pavimentação.

Nessa época a legislação vigente não exigia projeto de recuperação de áreas degradadas por exploração dos recursos naturais, portanto, as áreas não foram submetidas a projetos de recuperação e atualmente não existem projetos previstos para tal finalidade. (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2007). Sendo assim, o presente trabalho será de grande importância como fonte de informação quando da discussão ou proposição de usos futuros para tais áreas.

Atualmente na Área de Empréstimo 1, Mapa 2, funcionam as instalações da Feira Agropecuária Industrial e Comercial de Ilha Solteira - FAPIC, Fotos 1 a 4, sendo a única área que possui algum uso conveniente para o município.

Fonte: Google Earth (2007)



Figura 8: Imagem IKONOS da Área de Empréstimo 1 – Fapic



Figura 9: Vista geral da Área de Empréstimo 1 – Fapic



(a)



(b)

Figura 10: (a) Testemunho da Área de Empréstimo 1, e (b) Detalhe do perfil de solo no testemunho exposto

A Área de Empréstimo 2, próxima ao Ginásio de Esportes de Ilha Solteira, encontra-se degradada, sendo utilizada por meio de contrato de comodato, para criação de gado, porém sem nenhum trabalho de recuperação, como o uso de insumos e plantio de pastagem. A localização dessa área é apresentada no Mapa 2 e fotos dessas áreas seguem abaixo, seqüência de Fotos 4 a 7.

Fonte: Google Earth (2007)



Figura 11: Imagem IKONOS da Área de Empréstimo 2 – Ginásio de Esportes



Figura 12: Vista geral da Área de Empréstimo 2 – Ginásio de Esportes



Figura 13: Testemunho da Área de Empréstimo 2



Figura 14: Estrada existente no interior da Área de Empréstimo 2

Na Área de Empréstimo 3, situada próximo ao Bairro Novo Horizonte, Mapa 2, em sua maior parte não existe quaisquer uso e a mesma se encontra degradada, exceto numa parcela, onde está sendo construída uma igreja, ver seqüência de Fotos 8 a 13.

Fonte: Google Earth (2007)



Figura 15: Imagem IKONOS da Área de Empréstimo 3 – Novo Horizonte



Figura 16: Vista geral da Área de Empréstimo 3 – Novo Horizonte



Figura 17: Testemunho da Area de Empréstimo 3



Figura 18: Aterro sendo executado na Área de Empréstimo 3



Figura 19: Detalhe do aterro sendo construído – interface entre talude de corte e talude de aterro

Nessa área pode ser observado o despejo de lixo e entulho, mostrado na Foto 13, sendo que no passado já se observou volumes maiores de lixo e entulho lançados na área, isso foi verificado quando da tentativa de execução de sondagem de simples reconhecimento na área.



Figura 20: Área de Empréstimo 3 sendo usada para despejo de lixo e entulho

CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA

5.1 PRINCÍPIOS DA METODOLOGIA PROPOSTA

Com o objetivo de avaliar, de forma ágil e eficaz, os impactos causados pelo aproveitamento do solo em áreas de empréstimo, alguns cuidados básicos foram tomados:

- 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 confiável e rápido 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 em que a área de empréstimo já está implantada;
- Os resultados finais da análise devem permitir a classificação das áreas para tomada de decisão quanto a novas intervenções e usos futuros.

Visando atender tais pressupostos, o presente projeto fez uso de geoindicadores como mecanismo de levantamento e registro das informações ambientais das áreas estudadas, 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 as etapas de revisão bibliográfica, levantamentos de dados bibliográficos e de campo, ambientação e treinamento com SIG, registro e tratamento das informações em SIG com classificação das áreas, e elaboração de proposta metodológica.

Os princípios básicos que nortearam a elaboração da lista de geoindicadores foram agilidade e baixo custo na obtenção das informações.

No caso dos levantamentos de campo, trabalhos que exijam medidas detalhadas ou levantamentos extensos podem demandar muito tempo, sendo assim, os

geoindicadores adotados permitiram 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, 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 levantamentos de dados e utilizar ensaios específicos quando estiver discutindo alternativas de aproveitamento da área.

5.1.1 Levantamentos Bibliográficos e de Campo

Essa fase compreendeu a busca de informações que permitissem a descrição dos geoindicadores que vão representar o estado das áreas estudadas.

Os levantamentos bibliográficos correspondem à busca de informações acerca das condições pretéritas e atuais das áreas estudadas.

Os levantamentos de campo permitiram a confirmação e o refinamento das informações bibliográficas nos locais identificados, e permitiram a localização das áreas e o conhecimento das condições naturais reinantes.

5.1.2 Proposição de Geoindicadores

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 impactos que afetam diretamente o solo, remoção da camada agricultável, mudanças na declividade do terreno e erosão; e também, impactos indiretos, na vegetação e nos recursos hídricos.

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

Outros aspectos que foram levados em consideração são os relacionados à aptidão das áreas para aproveitamentos futuros em obras de engenharia, textura e estrutura da camada superficial do solo e avaliação das condições de aterros (quando existir).

A definição desses geoindicadores se deu de forma orientada para o tipo de ambiente a ser analisado, tendo em vista o clima do local e possibilidades de eventos catastróficos, com foco principal nos impactos mais significantes nas áreas estudadas.

A descrição detalhada de cada geoindicador e a forma de obtenção das informações para cada um destes encontra-se no capítulo resultados, visto ser um dos objetivos desse trabalho apresentar tal conjunto de geoindicadores.

5.1.3 Avaliação dos Geoindicadores Propostos

Para avaliação dos geoindicadores foram criadas categorias dentro de cada geoindicador descrito, e a cada uma dessas categorias foi associado um peso que representa maior ou menor indicativo de degradação.

Essas categorias foram criadas tendo em vista as possibilidades de ocorrência de um determinado geoindicador, identificadas a partir de visitas nas áreas, e ensaios de caracterização dos solos.

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 representam um nível de degradação maior e menor, respectivamente.

5.1.4 Registro e Tratamento das Informações

Essa fase compreendeu na seleção e refinamento das informações obtidas anteriormente, seu georreferenciamento, e armazenamento numa base de dados compatível com o *Spring*.

A base de dados foi produzida no sistema *Access* e contém as informações espaciais (coordenadas que permitem a representação cartográfica de cada área) e não espaciais (descrição das condições ambientais segundo os geoindicadores) a cada parcela do terreno analisada.

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 áreas e propostas de uso.

5.1.5 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 urbanas sujeitas à extração de recursos naturais.

Essa 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 METODOLOGIA UTILIZADA PARA IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA

5.2.1 Caracterização Geotécnica

Para o conhecimento do perfil do solo foram realizados os ensaios de caracterização do solo e sondagens SPT (“Standard Penetration Test”) ou sondagem de simples reconhecimento.

As sondagens geofísicas juntamente com os ensaios de microscopia eletrônica e energia dispersiva permitiram a confirmação dos perfis do solo das áreas de empréstimo, tanto internamente como externamente às áreas estudadas.

Os solos foram caracterizados também quanto à sua textura e estrutura por meio de microscopia eletrônica de varredura e, quanto à sua composição semi-quantitativa, por meio de ensaios de energia dispersiva. Essa caracterização foi realizada em amostras coletadas por meio de sondagens a trado.

5.2.1.1 Ensaio de Caracterização

Os ensaios de caracterização física dos solos foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da UNESP de Ilha Solteira de acordo com as normas da ABNT. Foram realizados ensaios de 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 de simples reconhecimento.

5.2.1.2 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 (classificação USBS), segundo a NBR 6508/1984.

Utilizou-se cerca de 100 g desse material, seco em estufa, onde foi colocada uma quantidade dessa amostra em quatro picnômetros de 250 mL (25 g em cada um). Posteriormente procedeu-se a extração do ar contido entre as partículas utilizando uma bomba de vácuo. Esse procedimento é feito até que não haja mais extração de bolhas, o que ocorre em aproximadamente 15 minutos. O valor de Y_s foi obtido através da média aritmética dos resultados obtidos.

5.2.1.3 Granulometria

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 se fazer 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 deve ser lavado na peneira #200 e levado à estufa para a realização do peneiramento fino.

5.2.1.4 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 sejam 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 e 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 unam ao longo de aproximadamente 13 mm e foi determinada a umidade da amostra, repetiu-se esse procedimento cinco vezes para cada amostra ensaiada.

Em seguida foi construída uma curva pelos pontos obtidos, e o teor de umidade correspondente a 25 golpes 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.

Toma-se uma amostra que deve ser rolada sobre uma placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar forma cilíndrica. O procedimento é interrompido quando o solo em forma de cilindro dar indícios de fragmentação ao atingir as dimensões determinadas pelo gabarito de comparação (3,0 mm de diâmetro e comprimento da ordem de 100 mm).

Em seguida as pontas do cilindro foram cortadas e transferiu-se 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.

5.2.2 Sondagens

5.2.2.1 Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT)

As sondagens de simples reconhecimento, realizadas pela empresa Oeste Engenharia de Araçatuba – SP foram feitas de acordo com 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.

Essa sondagem, além de permitir a obtenção de amostras, possibilita estimar os parâmetros geomecânicos através do número de golpes para cravação do amostrador (Nspt).

A partir desses furos de sondagem, foram coletadas amostras de solo para os ensaios de caracterização de laboratório sempre que era encontrada mudança de material.

5.2.2.2 Sondagem Trado

O procedimento das sondagens a trado foi de acordo com a norma da ABNT, NBR 8223/1992 e foram realizadas por equipe do Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, juntamente com os integrantes do projeto de pesquisa no qual esse trabalho estava inserido.

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 era inferior a 5,0 cm em 10 minutos de operação contínua de perfuração.

Com essas amostras da sondagem a trado foram feitas pastilhas compactadas com o proctor normal (PN) de aproximadamente 0,8 cm de altura, cuja finalidade era a realização do ensaio de microscopia eletrônica.

5.2.2.3 Sondagem Elétrica Vertical

Os levantamentos geofísicos (Sondagens Elétricas Verticais – SEV) foram realizados pela empresa SIGEO - Soluções Integradas em Geotecnologias, situada em Tietê – 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.

Existem diversas metodologias na geofísica e a eficácia dessas metodologias depende da área a ser aplicada. 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, citado por SIGEO – SOLUÇÕES INTEGRADAS EM GEOTECNOLOGIAS, 2008).

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 esta 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:

- Resistividade: define a quantidade de corrente elétrica que atravessa uma camada quando aplicado uma diferença de potencial;
- Constante dielétrica: define a capacidade de armazenamento de cargas elétricas nos materiais, geradas pela introdução de corrente alternada de alta freqüência no subsolo;
- 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 um 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 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, esta mudança só se faz notar quando a quantidade de minerais condutivos excede 10% do volume da rocha (FERNANDES, 1984, citado por SIGEO – SOLUÇÕES INTEGRADAS EM GEOTECNOLOGIAS, 2008).

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.

5.2.3 Microscopia Eletrônica

Os ensaios de microscopia eletrônica foram realizados no Laboratório de Microscopia do Instituto de Física e Química da USP, Campus de São Carlos.

Esses ensaios são importantes no estudo de materiais, sempre que se torna necessário analisar a sua microestrutura. Essa análise microestrutural é muito importante, pois permite:

- Entender as correlações microestrutura - defeitos - propriedades;
- Predizer as propriedades do material quando estas correlações são estabelecidas.

Uma das técnicas utilizadas para esse tipo de análise é a Microscopia Eletrônica de Varredura. 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.

No presente trabalho foi utilizado a microscopia eletrônica para análise de amostras de solo das áreas de empréstimo estudadas, com o intuito de obter a textura e a estrutura desse solo.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 RESULTADOS PROVENIENTES DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta foi a geração de uma lista de geoindicadores que representasse a degradação ambiental em áreas de empréstimo de solo,

A definição dos geoindicadores foi relacionada aos seguintes componentes: (1) Solo, (2) Substrato Rochoso, (3) Relevo, (4) Vegetação, (5) Recursos Hídricos, (6) Acessos e Uso e Ocupação, (7) Processos Geodinâmicos, e (8) 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, com objetivo principal de avaliar se a utilização da área após a exploração tem contribuído para minorar ou não os impactos ambientais.

De posse desses geoindicadores levantados é possível a avaliação do estado das áreas, permitindo a avaliação da degradação, a tomada de decisão em relação às áreas prioritárias para intervenções, e as possibilidades de aproveitamentos futuros. A Tabela 1 apresenta a lista de geoindicadores definidos para representar a degradação em áreas de empréstimo de solo.

Tabela 1: Lista de geoindicadores proposta para avaliação da degradação das áreas de empréstimo

GEOINDICADOR	RESULTADO	AVALIAÇÃO	IMPORTÂNCIA
Espessura dos horizontes do solo	<ul style="list-style-type: none"> - Fornece indicativos da espessura do perfil que foi escavada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Observação de taludes naturais e de corte prioritariamente, considerando tanto as parcelas internas a cava, quanto as áreas vizinhas, de forma a se obter informações que permitam análises comparativas. - Caso a observação de campo não seja suficiente pode-se lançar mão de métodos de perfuração, como trados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Orienta quanto a propostas de uso do solo, tendo em vista a possibilidade de reposição da vegetação, por exemplo
Textura e estrutura do solo	<ul style="list-style-type: none"> - Características do solo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Em campo usando identificação visual e tátil do solo, e por meio de ensaios de laboratório, tais como, ensaios de caracterização e microscopia eletrônica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilidade de aproveitamentos das camadas de solo na superfície para obras de engenharia.
Camada agricultável	<ul style="list-style-type: none"> - Informa a existência, e qual a espessura da camada agricultável. - Determina os macro-nutrientes e a matéria orgânica presente no solo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Observações de campo seguidas de ensaios de laboratório. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifica áreas com potencial para tentativas de reposição da cobertura vegetal e a necessidade de aplicação de insumos de origem natural ou artificial para tal finalidade.
Aterro	<ul style="list-style-type: none"> - Define as condições da camada de solo de re-aterro, quando houver, sobre as superfícies escavadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - A avaliação é por meio de levantamentos baseados em observações de campo e, secundariamente, em perfurações ou escavações como poços, trincheiras e sondagens a trado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite verificar a possibilidade de aproveitamento futuro da área para obras de engenharia.

Continua

Continuação

GEOINDICADOR	RESULTADO	AVALIAÇÃO	IMPORTÂNCIA
ROCHA/CASCALHO	<p>- Verifica se o substrato está ou não exposto, ou se existe cascalho na área.</p>	<p>- Observações de campo.</p>	<p>- É importante, pois a remoção natural ou mecânica de todo o perfil de solo acima do substrato rochoso coloca a área numa situação muito difícil de recuperação da cobertura vegetal, por exemplo, e isso um fator determinante na definição do uso futuro da área.</p>
Grau de intemperismo	<p>- Grau de alteração e o grau de intemperismo da rocha exposta.</p>	<p>- Observações de campo.</p>	<p>- Na definição de propostas de recuperação da área.</p>
Declividade dos terrenos no fundo da cava	<p>- Verifica se houve mudança na declividade do terreno em função da implantação da jazida.</p>	<p>- Levantamentos de campo de forma exclusiva visual ou, levantamentos topográficos e comparação com mapas topográficos mais antigos.</p> <p>- Em caso de necessidade pode-se lançar mão de produtos de sensores remotos, devidamente ortorretificados, para tal levantamento.</p>	<p>- Influenciam significativamente os processos de dinâmica superficial e, conseqüentemente a evolução do modelado local e os fluxos de água na área.</p> <p>- A relação entre escoamento superficial e infiltração pode ser fortemente controlada por tal atributo do terreno sendo fator determinante em propostas de intervenção na área.</p>

Continua

Continuação

GEOINDICADOR	RESULTADO	AVALIAÇÃO	IMPORTÂNCIA
<p>Alterações paisagísticas</p>	<p>- Retrata alterações ocorridas na paisagem (expressão visual do relevo).</p>	<p>- Observação da área escavada e comparação visual com o entorno, informações de antigos moradores da região, e produtos de sensores remotos antigos comparados com atuais.</p>	<p>- Tomada de decisão acerca de intervenção a ser feita na área.</p> <p>- Além das alterações decorrentes naturalmente das escavações, tais mudanças precisam ser avaliadas do ponto de vista da eliminação de paisagens naturais com interesse de preservação.</p> <p>- É importante que se destaque ainda que, em alguns casos, a própria exploração das jazidas é responsável pela produção de formas interessantes do ponto de vista paisagístico, especialmente quando expõem quedas d'água.</p>
<p>Posição na bacia</p>	<p>- Localiza a área na bacia hidrográfica que se insere.</p>	<p>- Levantamentos de campo, mapas anteriores e técnicas de sensoramento remoto.</p>	<p>- A posição relativa da área na bacia de drenagem tem um papel fundamental nos processos dinâmicos e evolução do relevo local.</p> <p>- 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, intervenções não estruturais versus estruturais, por exemplo.</p>

RELEVO

Continua

Continuação

GEOINDICADOR	RESULTADO	AVALIAÇÃO	IMPORTÂNCIA
VEGETAÇÃO Cobertura vegetal	- Descreve a vegetação existente na área, e quando possível, deve ser levantado o tipo de cobertura vegetal antes da exploração.	- Observações de campo em que devem ser levantadas informações como a ocorrência de cobertura vegetal nas diferentes parcelas da área e, caso tal cobertura exista, suas características. - Comparações com a cobertura vegetal das áreas vizinhas e por meio de produtos de sensores remotos de diferentes épocas.	- Escolha da proposta de recuperação, inclusive verifica se é possível reposição da vegetação.
RECURSOS HÍDRICOS Nível freático	- Profundidade do nível freático na área.	- Consulta a informações anteriores, poços ou sondagens previamente executadas na área, levantamentos geofísicos, ou perfurações no campo.	- O conhecimento de sua profundidade em parcelas da área analisada em comparação com áreas vizinhas é indicativo da profundidade de escavação na área. - Indica a vulnerabilidade do manancial subsuperficial aos processos naturais ou humanos instalados na área.
Mananciais superficiais na área	- Existência de corpos d'água e nascentes na área, bem como em suas imediações. - Análise da qualidade da água desses mananciais.	- Levantamentos de campo tendo o cuidado de observar ocorrência de leitos secos perenes ou não. - Ensaios de laboratório para análise da qualidade da água.	- Estabelece a relação da exploração da jazida do solo com a qualidade da água de superfície.

Continua

Continuação

GEOINDICADOR	RESULTADO	AVALIAÇÃO	IMPORTÂNCIA
ACESSOS, USO E OCUPAÇÃO	<p>- Descreve o uso e a ocupação da área anterior à exploração, quando possível, e atualmente.</p>	<p>- Avaliação por meio de levantamentos de campo, consulta a pessoas e órgãos públicos, e produtos de sensores remotos.</p>	<p>- Define se o uso do solo na área tem contribuído para minorar os processos de degradação ou tem sido mais um fator negativo.</p> <p>- A dinâmica entre uso e ocupação e reflexos no meio pode ter papel determinante na seleção de prioridades de ação ou, em alguns casos, facilitar intervenções para recuperação ou remediação da área.</p>
	<p>- Descreve a existência de vias de acesso à área.</p>	<p>- Levantamentos de campo, consulta a mapas anteriores e produtos de sensoriamento remoto.</p>	<p>- 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 geodinâmicos.</p>
PROCESSOS GEODINÂMICOS	<p>- Identifica feições erosivas na área.</p>	<p>- Observações de campo, e técnicas de sensoriamento remoto, dependendo das dimensões da área.</p>	<p>- Indica estado atual, é uma pista para predição de cenários futuros se associada a outros fatores, alterações em relevo e solos.</p> <p>- Contribui também na definição do grau de degradação e avaliações do potencial de recuperação da área.</p>
	<p>- Identificação de redução da largura ou profundidade de canais de drenagem por deposição de sedimentos.</p>	<p>- Avaliação por meio de trabalhos de campo e, em alguns casos, via produtos de sensores remotos.</p>	<p>- Grau de degradação dos recursos hídricos superficiais e avaliações do potencial de recuperação das áreas.</p>

Continua

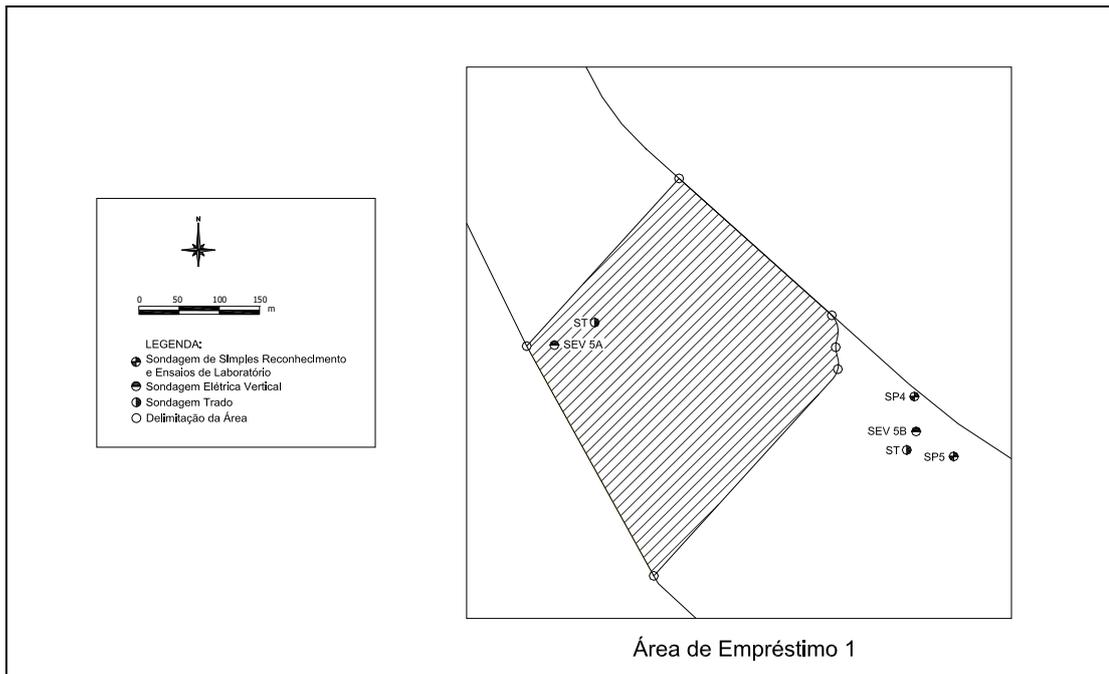
Continuação

GEOINDICADOR	RESULTADO	AVALIAÇÃO	IMPORTÂNCIA
Dimensões da área	- Dimensão da área analisada.	- Avaliação por meio de levantamentos em mapas e cartas pré-existentes ou em levantamentos topográficos de campo.	<ul style="list-style-type: none"> - Importante quando se pretende fazer uma análise comparativa entre áreas para definição de prioridades. - Esse geoindicador não deve ser considerado separadamente, mas é um forte indicativo de maior degradação, visto significar um dano mais extenso ao meio.
Taludes da cava	- Define dimensões e inclinação dos taludes da área.	- Observações de campo, de mapas anteriores ou de levantamentos topográficos.	- As 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.

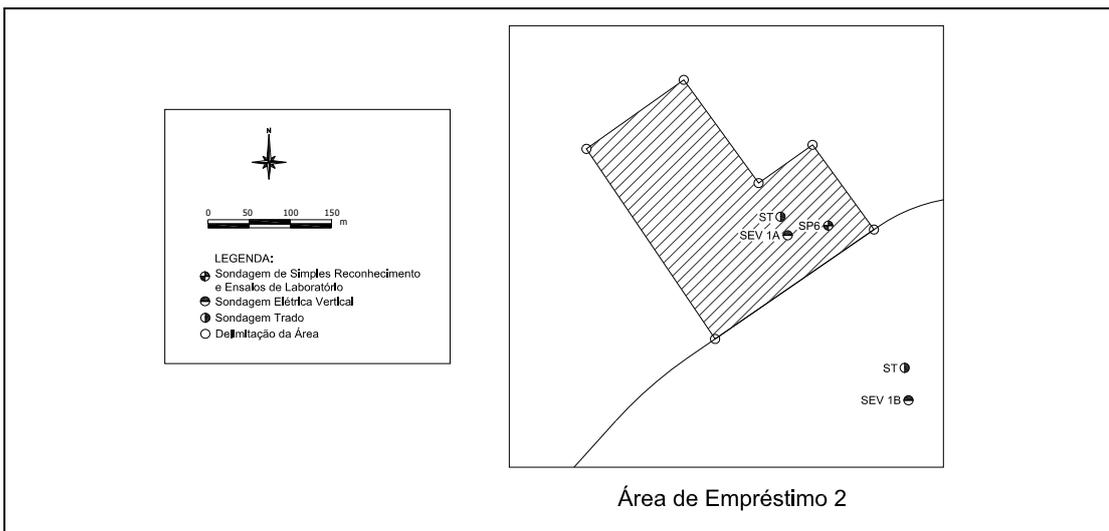
GEOMETRIA FINAL DA CAVA

6.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA - ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO REALIZADOS

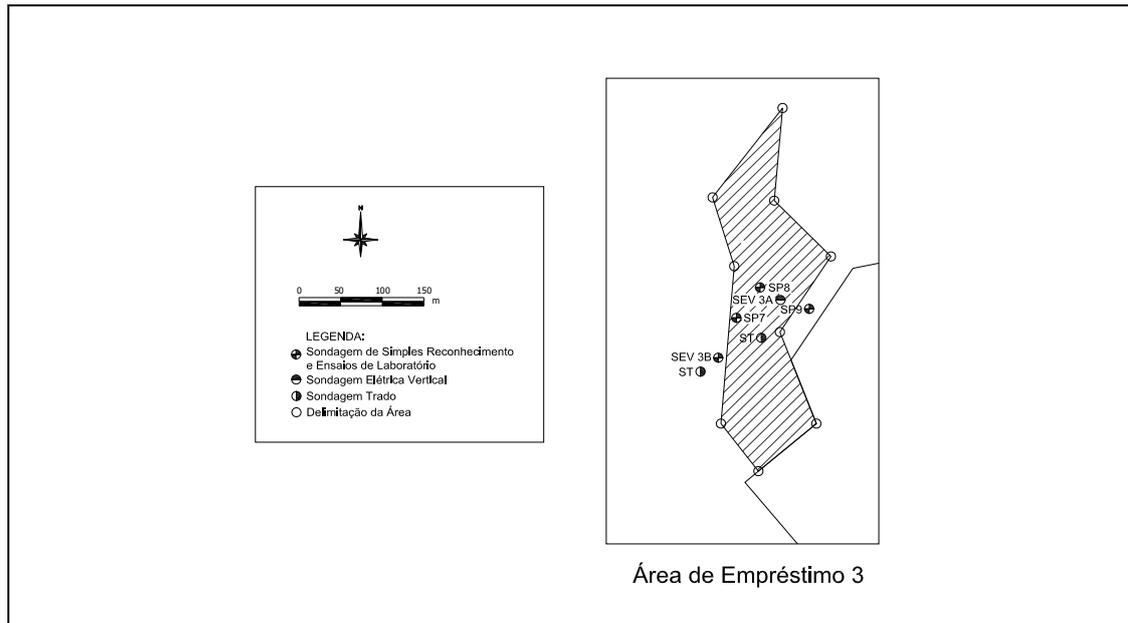
A localização das coletas de amostras para os ensaios de laboratório e a localização dos ensaios de campo realizados nas áreas de empréstimo em estudo, seguem apresentadas nos croquis abaixo, Figura 21.



(a)



(b)



(c)

Figura 21: Croqui de localização dos trabalhos de campo executados nas áreas: (a) Área de Empréstimo 1, (b) Área de Empréstimo 2, e (c) Área de Empréstimo 3

6.2.1 Ensaios de Caracterização

Com as amostras de solo obtidas das sondagens SPT “Standard Penetration Test”, ou sondagens de simples reconhecimento, foram realizados os ensaios de caracterização dos solos contemplando massa específica dos sólidos, limites de consistência e distribuição granulométrica.

Essas informações contribuíram na definição dos geoindicadores relativos ao componente solo, e na avaliação desses geoindicadores no momento da definição da ponderação.

As amostras foram identificadas de acordo com a área em estudo e o número da camada de solo identificada no perfil. Segue abaixo a relação dessa identificação com a área de empréstimo em estudo, Tabela 1.

Tabela 2: Relação da identificação das amostras com as áreas em estudo

Amostra	Área em Estudo
SP 1 – F	Área de Empréstimo 1 - Fapic
SP 2 – D	Área de Empréstimo 2 - Ginásio de Esportes
SP 3 – D	Área de Empréstimo 3 - Novo Horizonte
SP 3 – F	Área de Empréstimo 3 - Novo Horizonte

Notas: F = Amostragem fora da área de empréstimo e D = Amostragem dentro da área de empréstimo.

6.2.1.1 Ensaio de Granulometria

Para os cálculos das análises granulométricas foi necessária a determinação das massas específicas dos sólidos de cada uma das amostras, esses resultados seguem apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Massa específica dos sólidos das amostras ensaiadas

Amostra	ρ_s (g/cm ³)
SP 1 – 1 – F	2,64
SP 1 – 2 – F	2,66
SP 2 – 1 – D	2,63
SP 3 – 1 – D	2,65
SP 3 – 2 – D	2,69
SP 3 – 1 – F	2,63

Os resultados das análises granulométricas são apresentados na Tabela 4 e as curvas granulométricas correspondentes aos tipos de solo identificados seguem logo abaixo, Figura 22 a 26.

Tabela 4: Resultados das análises granulométricas

Amostra	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
SP 1 – 1 – F	0,0	69,4	6,2	24,3
SP 2 – 1 – D	0,0	71,6	5,0	23,4
SP 3 – 1 – D	0,0	54,0	15,0	31,0
SP 3 – 2 – D	0,0	63,5	10,5	26,0
SP 3 – 1 – F	0,0	59,0	4,7	36,3

Nota: Em algumas amostras não existe granulometria conjunta por se tratarem de camadas de seixos.

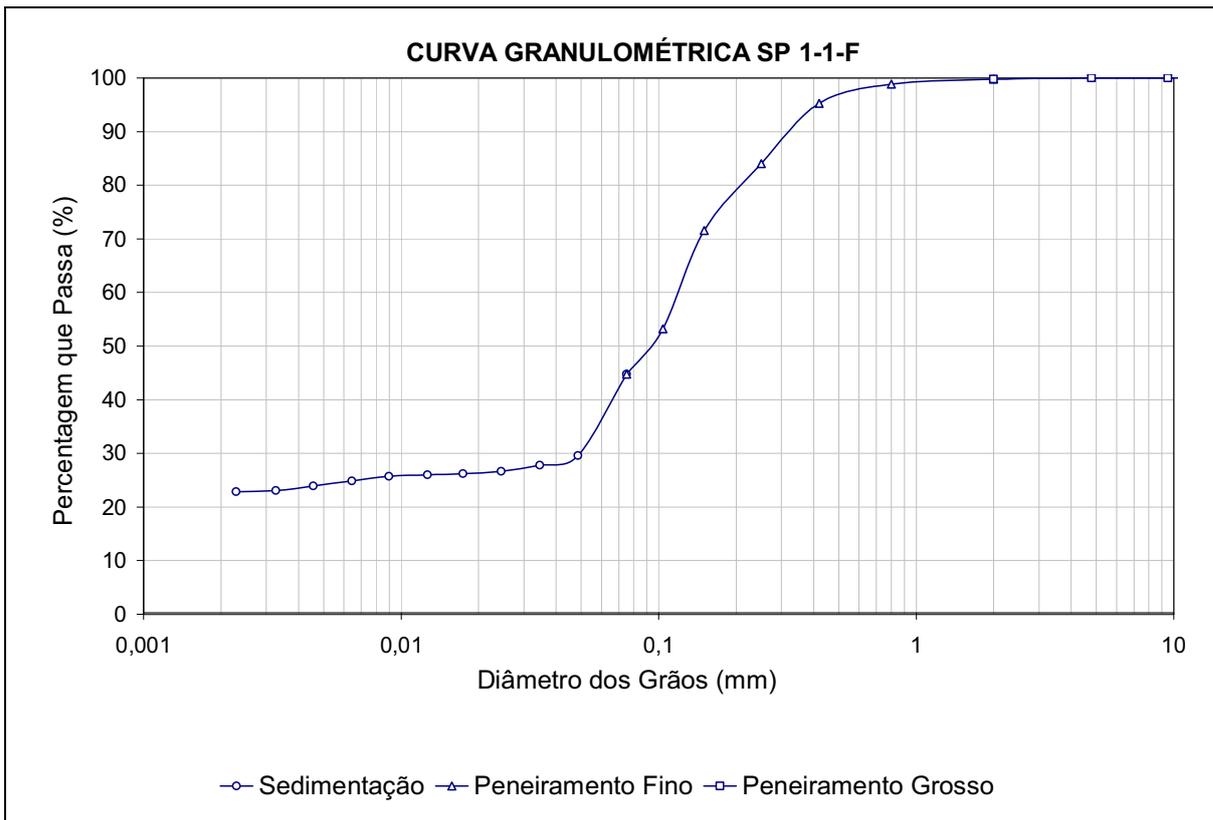


Figura 22: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada fora da Área de Empréstimo 1 (Fapic) no primeiro metro do perfil

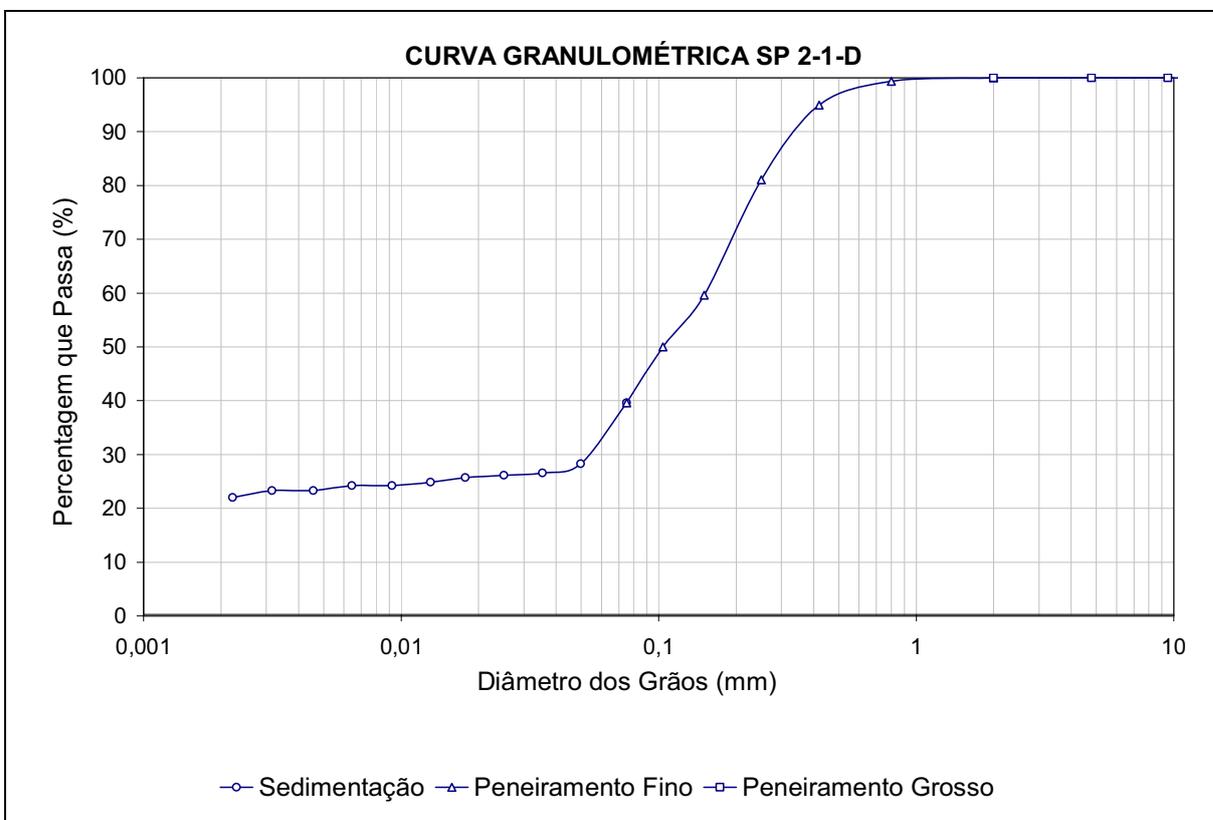


Figura 23: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada dentro da Área de Empréstimo 2 (Ginásio de Esportes) no primeiro metro do perfil

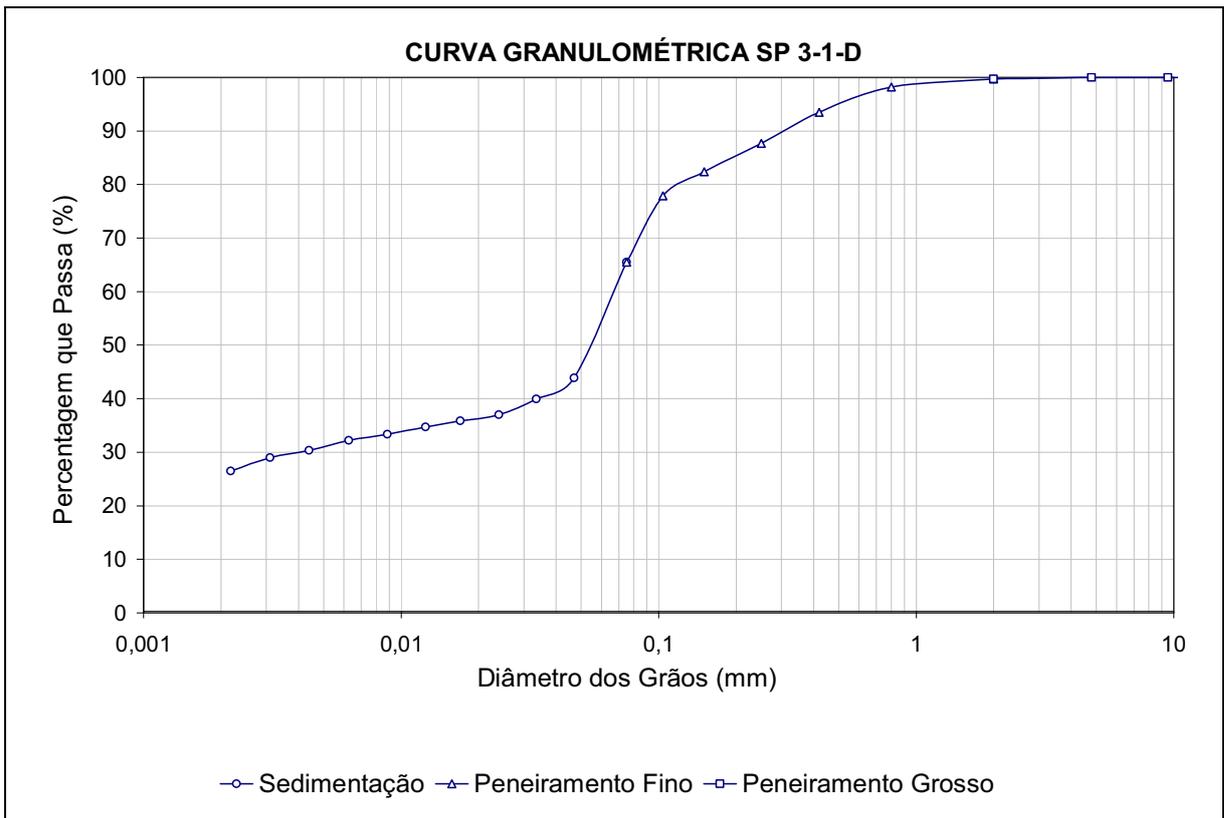


Figura 24: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada dentro da Área de Empréstimo 3 (Novo Horizonte) no primeiro metro do perfil

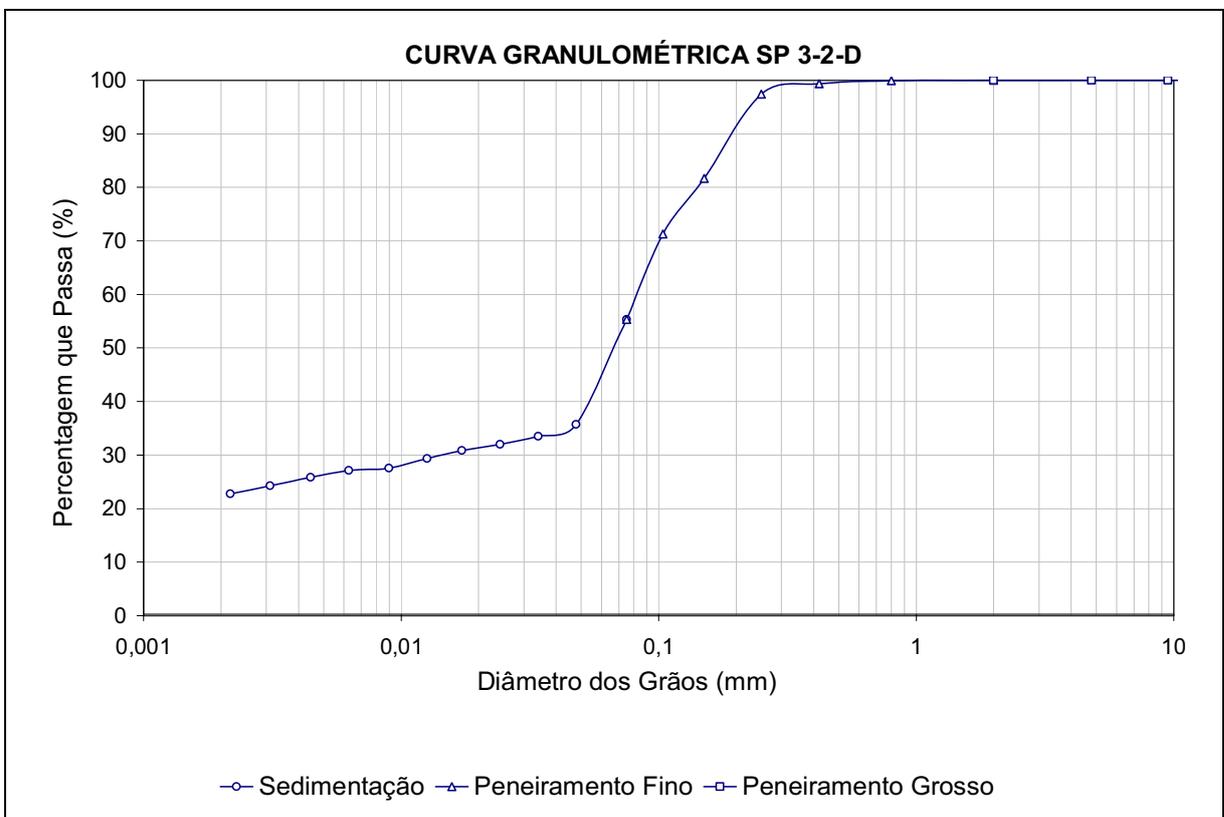


Figura 25: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada dentro da Área de Empréstimo 3 (Novo Horizonte) no segundo metro do perfil

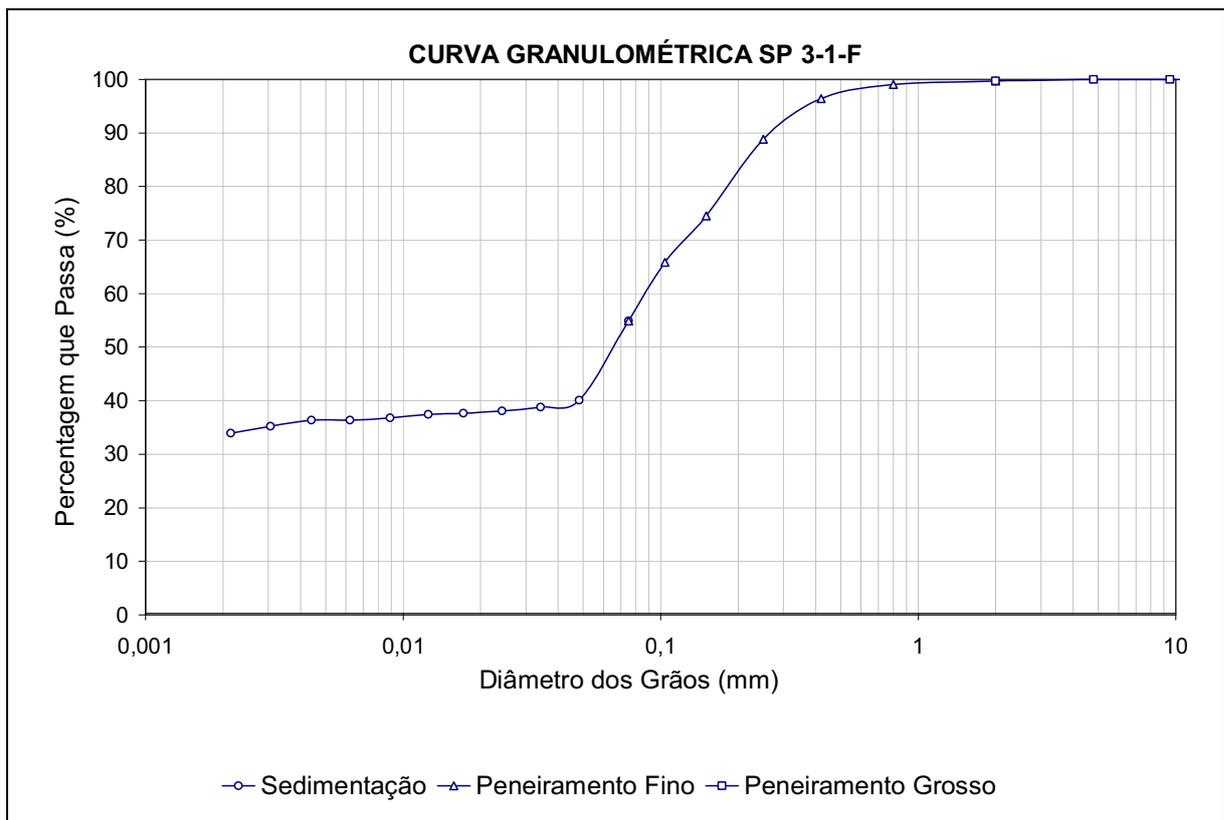


Figura 26: Distribuição granulométrica da amostra ensaiada fora da Área de Empréstimo 3 (Novo Horizonte) no primeiro metro do perfil

O intervalo superior de solo (solo arenoso fino a médio pouco argiloso de cor castanha avermelhada) apresenta como características massa específica dos sólidos média de $2,64 \text{ g/cm}^3$ e granulometria composta de 72% de areia, 6% de silte, e 22% de argila em média.

No intervalo inferior de solo (solo arenoso fino a médio argiloso marrom) apresenta como características principais massa específica dos sólidos média de $2,67 \text{ g/cm}^3$ e granulometria composta de 62% de areia, 8,3% de silte, e 29,7% de argila em média.

6.2.1.2 Limites de Consistência

Foram realizados seis ensaios para determinação dos limites de consistência das amostras de solo, Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de limites de consistência

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SP 1 – 1 – F	19,9	15,8	4,1
SP 1 – 2 – F	23,9	15,4	8,5
SP 2 – 1 – D	22,8	15,1	7,7
SP 3 – 1 – D	25,0	18,2	6,8
SP 3 – 2 – D	25,5	17,2	8,3
SP 3 – 1 – F	24,2	17,4	6,8

Nota: LL – limite de liquidez e LP – limite de plasticidade

Na porção superior do solo o limite de liquidez médio é de 22%, o limite de plasticidade 15% e o índice de plasticidade 7%, ou seja, trata-se de um horizonte menos compacto do solo, com maior porosidade.

A porção inferior possui em média limite de liquidez de 26%, limite de plasticidade de 17,5% e índice de plasticidade de 8,5%, ou seja, esse horizonte é 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).

6.2.2 Microscopia Eletrônica e Ensaio 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.

Para a realização dos ensaios de microscopia eletrônica e energia dispersiva foram coletadas amostras deformadas e confeccionadas pastilhas cilíndricas no mini-proctor, sendo a espessura dessas pastilhas de 8 mm.

A interpretação dos resultados de microscopia e energia dispersiva para proposição de perfis de alteração para as cavas e áreas vizinhas são apresentadas a seguir, Figuras 27, 28 e 29.

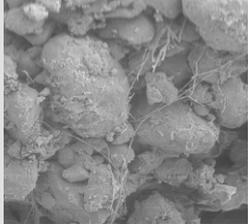
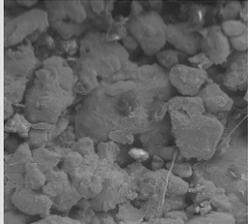
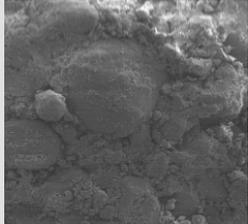
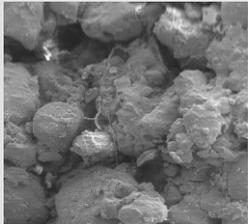
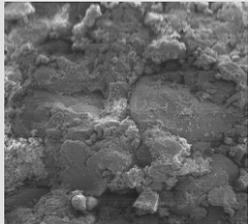
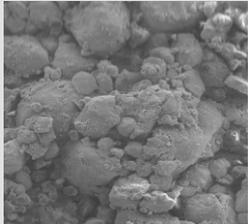
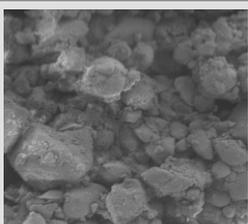
Fora da Cava (profundidade – m)			Dentro da Cava (profundidade - m)		
Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)		Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)	
 (1)	Al	52,58	 (1)	Al	28,12
	Si	46,33		Si	63,59
	Ti	-		Ti	-
	Fe	0,80		Fe	8,27
 (2)	Al	42,35	 (2)	Al	25,75
	Si	53,44		Si	60,35
	Ti	-		Ti	-
	Fe	4,02		Fe	13,76
 (3)	Al	36,07	 (3)	Al	21,15
	Si	54,89		Si	58,23
	Ti	-		Ti	1,84
	Fe	9,45		Fe	18,49
 (4)	Al	38,50			
	Si	51,73			
	Ti	-			
	Fe	9,67			
 (6)	Al	33,24			
	Si	55,47			
	Ti	-			
	Fe	11,18			

Figura 27: Imagens da microscopia eletrônica de varredura e resultados dos ensaios de energia dispersiva - Área de Empréstimo 1 (Fapic)

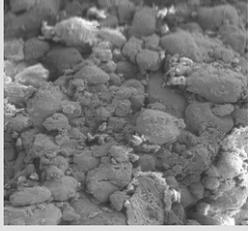
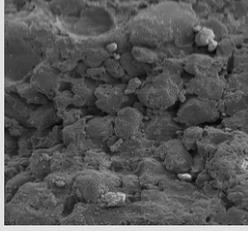
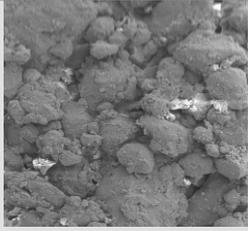
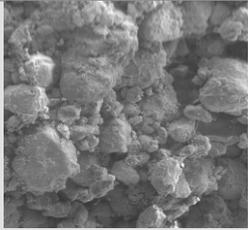
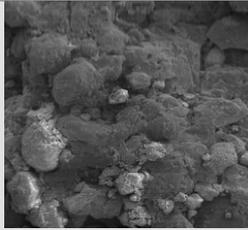
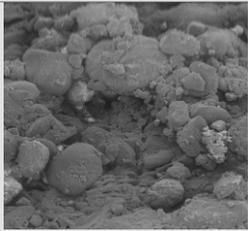
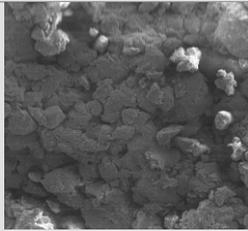
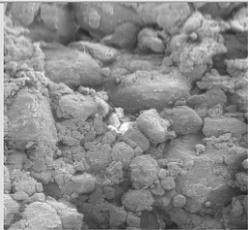
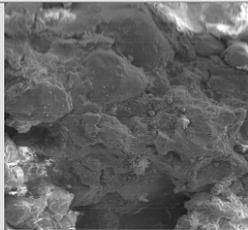
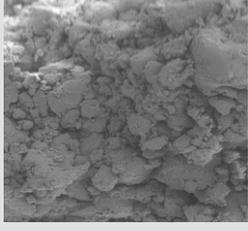
Fora da Cava (profundidade – m)			Dentro da Cava (profundidade - m)		
Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)		Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)	
 (1)	Al	31,89	 (1)	Al	28,12
	Si	51,37		Si	65,59
	Ti	2,75		Ti	-
	Fe	13,73		Fe	6,27
 (2)	Al	30,97			
	Si	52,26			
	Ti	2,75			
	Fe	13,74			
 (3)	Al	27,37	 (3)	Al	27,34
	Si	57,66		Si	57,87
	Ti	2,61		Ti	-
	Fe	12,15		Fe	14,72
 (4)	Al	25,19	 (4)	Al	25,48
	Si	60,72		Si	56,13
	Ti	2,48		Ti	1,02
	Fe	11,34		Fe	17,34
 (5)	Al	26,12	 (5)	Al	23,72
	Si	59,38		Si	52,66
	Ti	2,57		Ti	4,14
	Fe	11,72		Fe	19,45
 (6)	Al	24,64			
	Si	48,53			
	Ti	4,00			
	Fe	22,80			

Figura 28: Imagens da microscopia eletrônica de varredura e resultados dos ensaios de energia dispersiva - Área de Empréstimo 2 (Ginásio de Esportes)

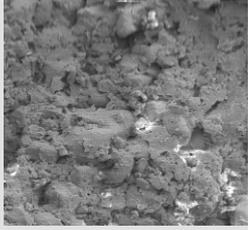
Fora da Cava (profundidade – m)			Dentro da Cava (profundidade - m)		
Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)		Imagem MEV (aumento 100x)	EDS (%)	
 (1)	Al	32,87	(1)	Al	31,51
	Si	54,89		Si	52,23
	Ti	2,69		Ti	2,68
	Fe	9,36		Fe	13,23
 (2)	Al	30,11	(2)	Al	26,45
	Si	54,00		Si	50,53
	Ti	2,85		Ti	4,19
	Fe	12,60		Fe	18,45
*- sem imagem disponível – as amostras coletadas não permitiram visualização pois sua estrutura estava muito perturbada (3)	Al	27,47			
	Si	56,02			
	Ti	3,08			
	Fe	13,34			

Figura 29: Imagens da microscopia eletrônica de varredura e resultados dos ensaios de energia dispersiva - Área de Empréstimo 3 (Novo Horizonte)

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, mas 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).

É importante ressaltar que devido a proximidade das áreas suas análises são muito semelhantes, portanto será apresentada apenas uma seqüência de interpretação de microscopia eletrônica, por horizontes do solo, identificados na sondagem elétrica vertical.

No Horizonte A, temos textura francamente arenosa (mais de 70% areia) e estrutura porosa solta Figura 30a, fora da área de empréstimo; e estrutura compactada, dentro da área de empréstimo, Figura 30b.

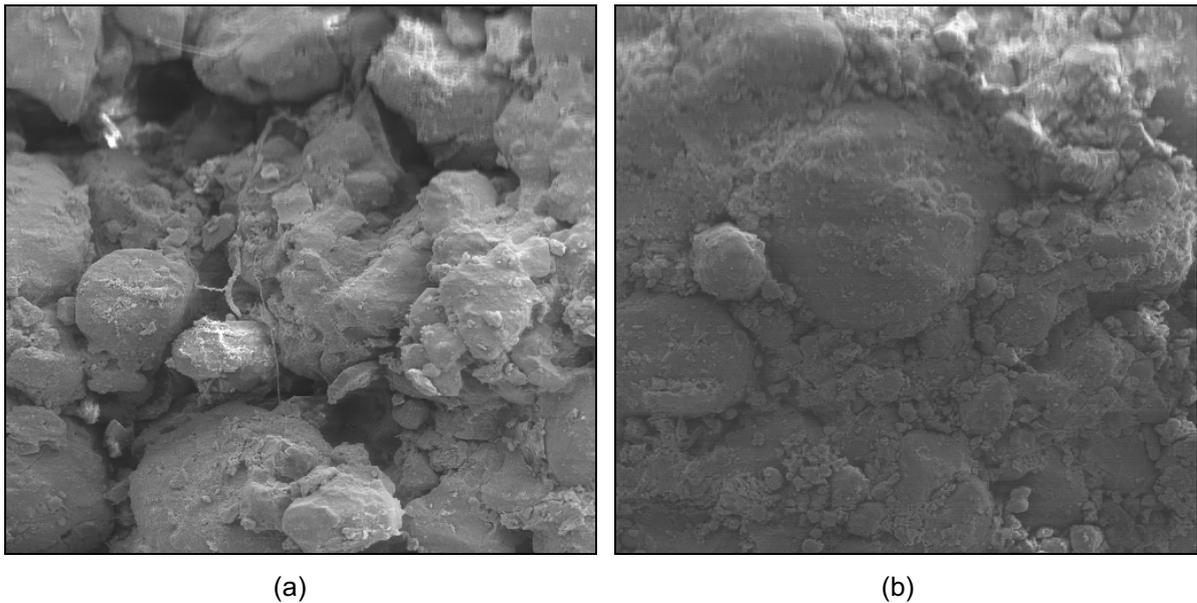


Figura 30: (a) Horizonte A – Fora da área de empréstimo, e (b) Horizonte A – Dentro da área de empréstimo

No Horizonte B, temos textura arenosa (55 a 70% areia, 20 a 30% argila) em todo o perfil. A estrutura é porosa solta (camadas superiores, geralmente os primeiros 2 a 3 m do intervalo), Figura 31a, e estrutura porosa solta a medianamente compacta (camadas inferiores), Figura 31b.

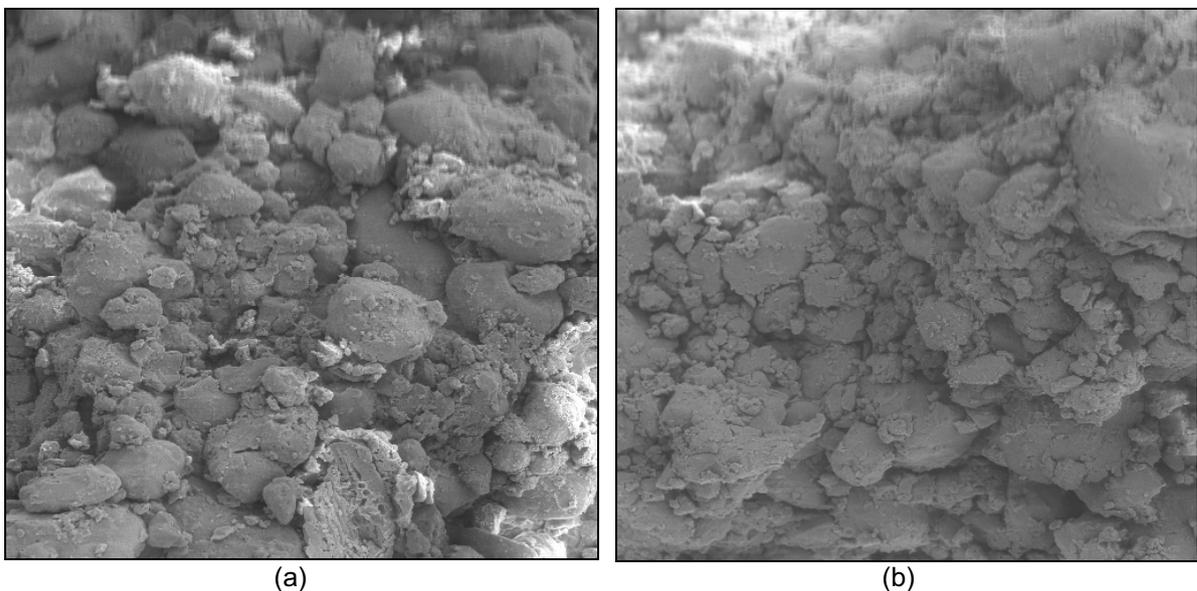


Figura 31: (a) Horizonte B – camadas superiores, e (b) Horizonte B – camadas inferiores

O Horizonte C apresentou textura média (45 a 55% areia, 35 a 45% argila) em todo o perfil. A estrutura é medianamente compacta nos níveis superiores, Figura 32a, e estrutura medianamente compacta a compacta nos níveis inferiores, Figura 32b.

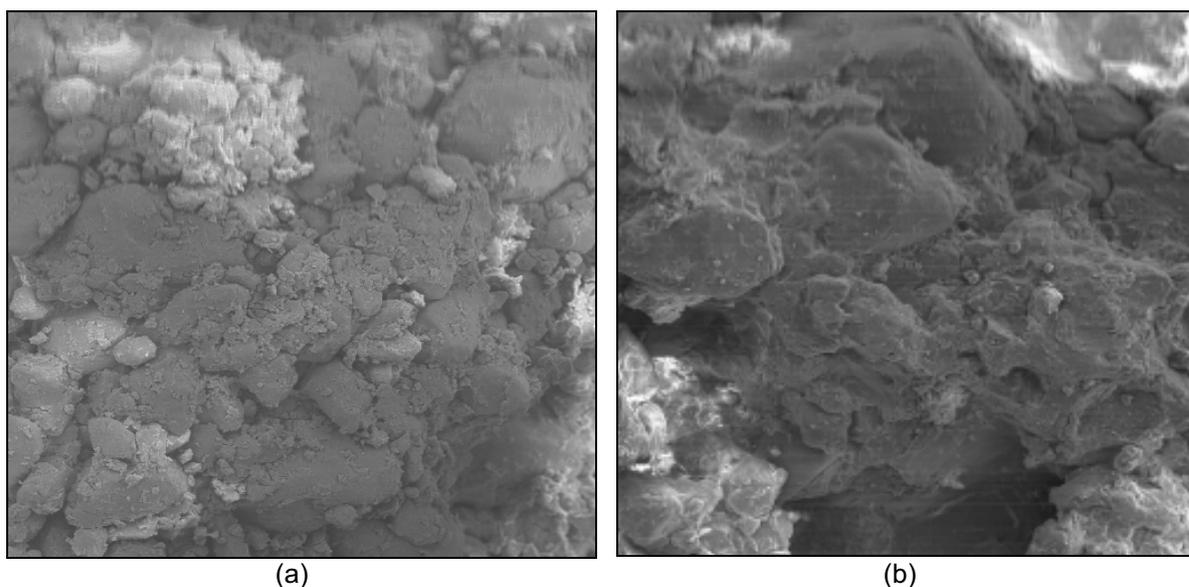


Figura 32: (a) Horizonte C – camada superior, e (b) Horizonte C – camada inferior.

6.2.3 Sondagens

Foram feitas inicialmente sondagens SPT, também chamadas de sondagens de simples reconhecimento, que foram utilizadas ainda como forma de acesso a amostras para realização de ensaios de laboratório para caracterização dos solos. O relatório das sondagens SPT está apresentado em anexo, Anexo A.

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 no sentido de complementar tais informações.

A partir das sondagens SPT temos que o solo predominante nas áreas é areia argilosa, com número de golpes (N) obtido na sondagem iniciando em 2, e crescendo com a profundidade, isso foi observado nas camadas superiores, já que devido a presença de cascalho há certa profundidade impedia a continuidade dessas sondagens.

A identificação tátil-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

Por meio da sondagem elétrica vertical foi possível a obtenção da profundidade do lençol freático de cada uma das áreas, sendo que essa profundidade é um dos geoindicadores levantados para a avaliação da degradação. As profundidades obtidas para cada uma das áreas analisadas seguem apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Profundidade do nível de água (NA) nas áreas de empréstimo

Amostra	Profundidade do NA (m)
SP 1 – F	25,9
SP 1 – D	9,8
SP 2 – F	18,7
SP 2 – D	n.e.
SP 3 – F	18,0
SP 3 – F	9,0

Notas: n.e. = não encontrado.

6.3 PONDERAÇÃO DOS GEOINDICADORES

A partir do levantamento dos geoindicadores apropriados para a avaliação das áreas em estudo e de posse dos resultados dos ensaios realizados, foi feita a ponderação desses geoindicadores para cada uma das áreas, obtendo por meio de um somatório, a ponderação final dos geoindicadores para a avaliação da degradação de cada área em sistema de informações geográficas.

A ponderação foi feita com os valores 0, ± 1 , ± 2 e ± 3 , sendo que a pior situação foi representada pela maior ponderação (maior valor numérico). De posse dessas ponderações foi alimentado um banco de dados do Access, e esse banco foi vinculado ao *Spring* para análise dos dados.

O procedimento para ponderação de cada um dos geoindicadores levantados segue na Tabela 7.

Tabela 7: Ponderação dos geoindicadores

PONDERAÇÃO DOS GEOINDICADORES		
SOLO	Espessura do Horizonte A (ESPHA) dentro da área	Ponderação
	ESPHA > 30 cm	1
	ESPHA ≤ 30 cm	3
	Espessura Removida do Horizonte B (ESPHB)	Ponderação
	ESPHB < 50%	1
	50% ≤ ESPHB < 90%	2
	ESPHB ≥ 90%	3
	Espessura Removida do Horizonte C (ESPHC)	Ponderação
	ESPHC < 50%	1
	50% ≤ ESPHC < 90%	2
	ESPHC ≥ 90%	3
	Camada Agricultável (POTAG)	Ponderação
	Área possui destinação diferente de 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 (TEXTS) (ESTRS)	Ponderação
	Ocorrência das camadas de cascalho a certa profundidade pode comprometer parcialmente o aproveitamento	1
	Ocorrência das camadas de cascalho a pequena profundidade pode comprometer seriamente o aproveitamento	3
	Aterro (ATERR)	Ponderação
Inexistente	0	
Foram feitos em parcelas da área e não são espessos	1	
ROCHA/CASCALHO	Horizonte impenetrável exposto (HIMPE)	Ponderação
	Não existe (há presença de solo)	0
	Cascalho	1
	Rocha	3
	Grau de intemperismo (GINTE)	Ponderação
	Não observado	0
	Pouco intemperismo	X
Muito intemperismo	Y	

Continua

Continuação

PONDERAÇÃO DOS GEOINDICADORES		
VEGETAÇÃO	Cobertura Vegetal (COVEG)	Ponderação
	Condições especiais, com sistema de irrigação e revegetação	1
	Vegetação arbustiva e/ou vegetação arbórea	1
	Vegetação rasteira	2
	Solo exposto	3
RECURSOS HÍDRICOS	Mananciais Superficiais na Área (MASUP)	Ponderação
	Não existe na área	0
	Existe conservado	2
	Existe não conservado	3
	Nível Freático (NIFRE)	Ponderação
	NIFRE > 10 m	0
	5 m < NIFRE ≤ 10 m	1
	NIFRE ≤ 5 m	3
RELEVO	Declividade dos Terrenos na Cava (DECLT)	Ponderação
	DECLT < 5%	0
	5% ≤ DECLT < 10%	1
	DECLT ≥ 10%	3
	Alterações Paisagísticas (ALTPA)	Ponderação
	Não houve	0
	Houve (positiva)	-X
	Houve (negativa)	+X
	Posição na Bacia (POBAC)	Ponderação
	Alto da encosta	1
	Meio da encosta	2
	Vale do rio	3
	Distância Manancial (DIMAN)	Ponderação
	Fora da APP	0
	Parcialmente na APP	1
Dentro da APP	3	

Continua

Continuação

PONDERAÇÃO DOS GEOINDICADORES			
ACESSOS, USO E OCUPAÇÃO	Uso e ocupação do solo (USEOC)	Ponderação	
	Urbano	Com projeto de drenagem adequado	1
		Sem projeto de drenagem adequado	3
	Pecuário	Plantio e conservação	0
		Extensiva	1
		Intensiva	3
	Agricultura	Hortifruti	1
		Fruticultura	2
		Culturas anuais	3
	Recuperação da área		0
	Sem uso algum		1
	Vias de acesso (VIASA)	Ponderação	
	Não existe		0
Existe conservada		1	
Existe não conservada		3	
PROCESSOS GEODINÂMICOS	Erosão (EROSA)	Ponderação	
	Não registrado/não ativo		0
	Sulco		1
	Ravina		2
	Voçoroca		3
	Assoreamento (ASSOR)	Ponderação	
	Não registrado		0
	Canal pouco assoreado (20%)		1
	Canal muito assoreado (até 70%)		2
Canal totalmente assoreado		3	

Continua

Continuação

PONDERAÇÃO DOS GEOINDICADORES			
GEOMETRIA FINAL DA CAVA	Taludes da cava (TALCA)		Ponderação
	Altura (H)	$H \leq 2\text{m}$	1
		$2\text{ m} < H \leq 6\text{ m}$	2
		$H > 6\text{m}$	3
	Inclinação (α)	$\alpha \leq 30^\circ$	1
		$30^\circ < \alpha \leq 45^\circ$	2
		$\alpha > 45^\circ$	3
	Tamanho da área (TAREA)		Ponderação
	TAREA $\leq 100.000\text{ m}^2$		1
	$100.000\text{ m}^2 < \text{TAREA} \leq 200.000\text{ m}^2$		2
TAREA $> 200.000\text{ m}^2$		3	

6.3.1 Solo

Espessura dos horizontes do solo:

Para o horizonte A foi avaliada a espessura existente atualmente no interior da área, pois esse fato representa a “resposta” da área quanto à recuperação, conforme a seguir:

- Espessura do horizonte A $> 30\text{ cm}$, ponderação 1.
- Espessura do horizonte A $\leq 30\text{ cm}$, ponderação 3.

A avaliação foi feita em termos de espessura removida, para os horizontes B e C, conforme o seguinte:

- Espessura removida do horizonte $< 50\%$, ponderação 1.
- Espessura removida do horizonte de 50% até 90% , ponderação 2.
- Espessura removida do horizonte $\geq 90\%$, ponderação 3.

Camada Agricultável do Solo:

As ponderações foram definidas por meio de ensaios de energia dispersiva para obtenção do potencial agricultável, e de observações em campo.

Os resultados da análise química do solo apresentaram algum potencial agricultável fora da área de empréstimo e nenhum potencial agricultável dentro da área de empréstimo, ou seja, o aproveitamento agropastoril se torna limitado principalmente dentro das áreas de empréstimo devido ao alto índice de acidez do solo.

Com base nesses resultados e em observações de campo foram definidas as seguintes ponderações:

- Ponderação 0 para áreas que possuem ocupação definida e a mesma é diferente de agricultura ou pecuária, portanto não teria sentido avaliar potencial agricultável, tal fato ocorre na área da Fapic;
- A ponderação 1 foi utilizada quando foi notada uma capacidade de recuperação da vegetação e seu crescimento em períodos de chuva, por exemplo, área do Novo Horizonte;
- Ponderação 3 para áreas em que foi observada remoção de solo intensa, chegando a atingir camadas de cascalho.

Textura e Estrutura do Solo:

Os resultados referentes à textura e estrutura do solo foram obtidos por meio de ensaios de granulometria e ensaios de microscopia eletrônica.

A avaliação foi feita da seguinte forma:

- Em áreas onde a ocorrência das camadas de cascalho a certa profundidade poderia comprometer parcialmente o aproveitamento das mesmas, foi adotada a ponderação 1.
- 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.

Aterro:

Essa avaliação foi feita nas áreas de empréstimo onde foram encontradas parcelas reaterradas, e esses aterros foram avaliados quanto a sua condição de execução, grau de compactação adequado, material utilizado no aterro e espessuras. A ponderação definida foi a seguinte:

- Nas áreas onde esse geoindicador não existia, ponderação foi nula.
- Nas áreas onde esse geoindicador ocorreu ponderação 1.

A ponderação 1 para existência desses aterros em parcelas das áreas, foi devido esse aterro não contribuir para a melhoria da área, pois os mesmos foram construídos inadequadamente.

Na Área de Empréstimo da Fapic esse aterro foi construído usando solo misturado com entulho. Na Área de Empréstimo do Novo Horizonte esse aterro foi construído sem cuidados como remoção da cobertura vegetal, escarificação da área a ser aterrada, o que já implica em uma linha potencial de ruptura.

No entanto, a execução desses aterros permitiram a destinação das áreas, ou de parcelas das áreas para alguma finalidade, justificando assim a ponderação 1 que seria um impacto negativo baixo.

6.3.2 Rocha/Cascalho

Horizonte Impenetrável Exposto:

O geoindicador horizonte impenetrável exposto aborda se existe na área, rocha ou cascalho exposto, portanto, a ponderação atribuída foi a seguinte:

- Não existência de horizonte impenetrável exposto, ou seja, a presença de solo, ponderação nula.
- Presença de cascalho foi ponderado com o valor 1, que representa uma situação um pouco desfavorável, já que nessas áreas se torna mais difícil a recomposição da vegetação, ou a destinação para algum fim agropastoril.

O fato de existir cascalho na área não foi ponderado como a situação mais impactante, visto que nesses locais é possível encontrar abaixo da camada de cascalho solo novamente. Se isso ocorrer, é possível que se retire o cascalho e por meio de insumos agrícolas, se forneça alguma melhora nas características desse solo.

- A presença de rocha recebeu ponderação 3, por ser uma situação muito desfavorável, tomando a área muitas vezes inaproveitável, nessas áreas não é possível recuperação da vegetação, e tampouco o uso da área para fins agropastoris.

Grau de intemperismo:

Esse geoindicador não ocorre nas áreas em estudo, o mesmo se encontra aqui apresentado para efeito de exemplificação, portanto a ponderação foi nula nas três áreas estudadas.

Se esse geoindicador viesse a ocorrer, para sua análise deveriam ser observados em campo alguns aspectos das rochas, tais como: cor, brilho, grau de fraturamento, e tamanho das fraturas, e a partir dessas informações feita a ponderação.

As ponderações para esse geoindicador se dariam em função do grau de intemperismo, assim seria possível definir, por exemplo, uma categoria com pouco grau de intemperismo observando-se nela a presença da composição rochosa saprolito, pois esse tipo de rocha possui fertilidade alta porque é rica em minerais, necessários ao desenvolvimento de vegetação. Outra categoria seria a de alto grau de intemperismo, pois

se a rocha estiver muito intemperizada existe uma menor disponibilidade de macronutrientes para a recuperação da vegetação.

6.3.3 Vegetação

Cobertura vegetal:

A ponderação foi feita avaliando-se cada tipo de vegetação existente e atribuindo-se um valor 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 dentro da área, sendo que por meio de imagens do Google Earth (2008) foi feita essa observação.

A ponderação de cada tipo de vegetação foi definida da seguinte forma:

- Solo exposto, ponderação 3.
- Vegetação rasteira, ponderação 2.
- Vegetação arbustiva ou vegetação arbórea, ponderação 1.
- Área com condições especiais, com sistema de irrigação e revegetação, ponderação 1.

Finalmente foram determinadas as áreas com cada tipo de vegetação dentro da Área de Empréstimo analisada e foi feita média ponderada para obtenção do fator de ponderação para esse geoindicador.

6.3.4 Recursos Hídricos

Mananciais Superficiais na Área:

Foi avaliada nesse geoindicador a presença ou não de mananciais superficiais na área da seguinte forma:

- Ausência de manancial na área, ponderação 0.
- Existência de manancial conservado, ponderação 1.
- Existência de manancial não conservado, ponderação 3.

Nível Freático:

Nesse geoindicador foi avaliada a profundidade do nível freático de modo que quanto menos profundo mais desfavorável, pois maior será a facilidade de contaminação em função de atividade que venha ser desenvolvida na área. Para esse geoindicador a ponderação foi a seguinte:

- Nível freático > 10 m, ponderação nula.
- Nível freático entre 5 m e 10 m, ponderação 1.

- Nível freático ≤ 5 m, ponderação 3.

6.3.5 Relevô

Declividade dos Terrenos no Fundo da Cava:

A caracterização da declividade dos terrenos no fundo da cava foi baseada no trabalho de Zuquette (1987), desenvolvido para áreas de bacias sedimentares, caso em questão.

Os limites definidos pelo autor baseiam-se em critérios técnicos para análise da aptidão das áreas para diversos tipos de ocupação, da seguinte forma:

- Até 2% - valor limite da declividade para enchentes e alagamentos e declividade natural para implantação de obras enterradas acompanhando a declividade do terreno, nesse caso foi atribuída ponderação nula.
- Até 5% - limite máximo para obras de terraplenagem para rodovias e aeroportos com baixo custo (menor movimentação de terra) assim como limite inferior para irrigação por pivô central, onde foi definida ponderação 1.
- Até 10% - limite para obras viárias e enterradas, assim como para estabilidade de taludes de escavação, sem que sejam necessárias adoção de técnicas construtivas especiais, ponderação adotada 1.
- Até 20% - limite para quase todo tipo de ocupação com relação à problemas de movimentos de massa, tanto erosão como escorregamentos, portanto ponderação 3.

Alterações Paisagísticas:

A ponderação neste caso foi determinada por meio da verificação da presença ou não de alterações paisagísticas na área, por exemplo, se a alteração no relevo ocasionou mudanças do ponto de vista paisagístico, e se essas mudanças foram positivas ou negativas, essa ponderação foi definida da seguinte forma:

- As áreas que não houve alteração paisagística a ponderação adotada foi nula.
- Se houve alteração positiva (-1), se foi muito positiva (-3), esse sinal negativo é para que ocorra uma minimização no valor final da ponderação, já que seria uma mudança positiva. Na situação em que houve alteração, mas a mesma foi negativa, a ponderação seria 1 se foi pouco negativa e 3 se foi muito negativa.

As áreas do Ginásio de Esportes e Novo Horizonte a ponderação com relação às alterações paisagísticas foi 3 porque existia mata no entorno da área e isso prova que

houve uma alteração paisagística consideravelmente grande nessas áreas quando exploradas, pois as mesmas tiveram sua vegetação nativa retirada.

A da Fapic foi ponderada como 1, pois no seu entorno não existia vegetação nativa quando da exploração, portanto o dano foi de menor impacto quanto a alterações paisagísticas.

Posição na Bacia:

A ponderação referente à posição na bacia foi elaborada por meio da avaliação da posição da área ao longo da encosta da seguinte forma:

- No alto da encosta, ponderação 1.
- Meio da encosta, ponderação 2.
- Vale, ponderação 3.

Não se adotou ponderação nula em nenhum caso, pois o fato da área de empréstimo existir seja em qualquer lugar já é algo negativo. A ponderação foi crescente na medida em que se desce a encosta, pois isso facilita a instalação de outros impactos, como lançamento de sedimentos em rios.

Relacionado a posição na bacia, foi considerado também a distância do manancial. Essas distâncias foram obtidas por meio do sistema de informações geográficas (*Spring*).

Para a definição das ponderações em função da distância foi considerada a Área de Preservação Permanente (APP):

- Quando a área de empréstimo estava localizada fora da APP, ponderação nula.
- Se a área estava localizada parcialmente na APP, ponderação 1.
- Quando a área de empréstimo estava localizada dentro da APP, ponderação 3.

A delimitação da área de preservação permanente APP é definida conforme a Resolução CONAMA, nº 303, de 20 de março de 2002., que leva em consideração o porte e o tipo de manancial, por exemplo, rios, lagos e reservatórios.

6.3.6 Acessos, Uso e Ocupação

Uso e Ocupação do Solo:

Nesse caso foi avaliado se o tipo de uso nas áreas de empréstimo contribuiu para sua melhoria ou não. As possibilidades de uso definidas foram:

- Urbano com projeto de drenagem adequado, ponderação 1.
- Urbano sem projeto de drenagem adequado, ponderação 3.

- Pecuário – plantio e conservação, ponderação nula.
- Pecuária extensiva, ponderação 1.
- Pecuária intensiva, ponderação 3.
- Agricultura – hortifruti, ponderação 1.
- Agricultura – fruticultura, ponderação 2.
- Agricultura – culturas anuais, ponderação 3.
- Área em recuperação, ponderação nula.
- Área sem nenhum uso, ponderação 1.

Para se definir a valoração dos impactos tomou-se como base o fato da forma como o uso está sendo feito e também implicações que esse uso está tendo na área, ou seja, a área pode ter algum uso, mas estar em mau uso. É importante ressaltar que muitas vezes é melhor uma área que não tenha nenhum uso do que um uso que a degrade ainda mais.

Vias de Acesso:

Esse geoindicador foi avaliado conforme o seguinte:

- Não existe vias de acesso, ponderação 0.
- Existe e está conservada, ponderação 1.
- Existe e não está conservada, ponderação 3.

6.3.7 Processos Geodinâmicos

Erosão – Processos ativos:

Foi avaliado nesse geoindicador cada tipo de erosão e se o processo está ativo, da seguinte forma:

- Não existe/não ativo, ponderação nula.
- Sulco, ponderação 1.
- Ravina, ponderação 2.
- Voçoroca, ponderação 3.

Assoreamento:

Esse geoindicador foi 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 prudência no caso de existir, pois o assoreamento pode ter outras causas. Se houvesse assoreamento de manancial os sedimentos da área de empréstimo e os

sedimentos que estão causando o assoreamento deveriam ser analisados para se verificar se são ou não provenientes da área de empréstimo.

Para efeito ilustrativo a ponderação foi definida da seguinte forma:

- Não existe, ponderação nula.
- Canal pouco assoreado ($\leq 20\%$) ponderação 1.
- Canal muito assoreado (de 20 % até 70%), ponderação 2.
- Canal totalmente assoreado ($\geq 70\%$), ponderação 3.

6.3.8 Geometria Final da Cava

Taludes da Cava:

O geoindicador taludes da cava foi ponderado considerando as arestas da cava, com a finalidade de avaliar a estabilidade dos taludes, pois o mesmo funciona como uma “medida” do potencial de ocorrência de ruptura.

É importante observar que os limites das classes foram estabelecidos em função das características das áreas analisadas, e foi considerado o talude mais íngreme de cada área.

Vale ressaltar que em Ilha Solteira os taludes geralmente rompem como uma casca e os taludes de 90° raramente se rompem para o tipo de solo de Ilha Solteira.

Os valores limites a seguir apresentados na Tabela 6 se referem à região de estudo Ilha Solteira. Para outras áreas deve ser avaliado o valor a ser atribuído para tais limites.

Na composição da valoração são 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.

Quanto à altura (H), temos:

- $H \leq 2\text{m}$, ponderação 1.
- $2\text{ m} < H \leq 6\text{ m}$, ponderação 2.
- $H > 6\text{m}$, ponderação 3.

Em relação à Inclinação (α):

- $\alpha \leq 30^\circ$, ponderação 1.
- $30^\circ < \alpha \leq 45^\circ$, ponderação 2.
- $\alpha > 45^\circ$, ponderação 3.

Tamanho da Área

Esse geoindicador avalia a intensidade dos impactos, quanto maior a área maior o dano ao meio. As classes definidas foram:

- Tamanho da área $\leq 100.000 \text{ m}^2$, ponderação 1.
- Tamanho da área entre 100.000 m^2 e 200.000 m^2 , ponderação 2.
- Tamanho da área $> 200.000 \text{ m}^2$, ponderação 3.

6.4 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DOS GEOINDICADORES

A ponderação associada a cada geoindicador analisado foi somada, obtendo-se uma ponderação para cada um dos componentes avaliados, Tabelas 8 a 16.

Tabela 8: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico solo

Áreas	Solo							
	ESPHA	ESPHB	ESPHC	POTAG	TEXTS	ESTRS	ATERR	SSOLO*
Fapic	(0,5 m) 1	(90%) 3	(0 m) 0	0	1	1	1	7
Ginásio de Esportes	(0,5 m) 1	(25%) 1	(0 m) 0	1	1	1	0	5
Novo Horizonte	(0,3 m) 3	(40%) 1	(0 m) 0	1	1	3	1	10

O valor entre parênteses é o obtido no levantamento das informações

(*) SSOLO: Somatório da ponderação para os geoindicadores referentes ao componente do meio físico solo.

Tabela 9: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico rocha/cascalho

Áreas	Rocha/Cascalho		
	HIMPE	GINTE	*SROCH
Fapic	0	0	0
Ginásio de Esportes	1	0	1
Novo Horizonte	0	0	0

(*) SROCH: Somatório da ponderação para os geoindicadores referentes ao componente do meio físico rocha/cascalho.

Tabela 10: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico vegetação

Áreas	Vegetação	
	COVEG	*SVEGE
Fapic	1	1
Ginásio de Esportes	2	2
Novo Horizonte	2	2

(*) SVEGE: Somatório da ponderação para os geoindicadores referentes ao componente do meio físico vegetação.

Tabela 11: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico recursos hídricos

Áreas	Recursos Hídricos		
	MASUP	NIFRE	*SHIDR
Fapic	0	(19,8 m) 0	0
Ginásio de Esportes	0	(n.e.) 0	0
Novo Horizonte	0	(9,1 m) 1	1

O valor entre parênteses é o obtido no levantamento das informações
n.e. = não encontrado

(*) SHIDR: Somatório da ponderação para os geoindicadores referentes ao componente do meio físico recursos hídricos.

Tabela 12: Valores de ponderação referentes ao componente do meio físico relevo

Áreas	Relevo				
	DECLT	ALTPA	POBAC	DIMAN	*SRELE
Fapic	0	1	1	(2726 m) 0	2
Ginásio de Esportes	0	3	1	(997 m) 0	4
Novo Horizonte	0	3	1	(428 m) 0	4

O valor entre parênteses foi obtido no levantamento das informações

(*) SRELE: Somatório da ponderação para os geoindicadores referentes ao componente do meio físico relevo.

Tabela 13: Valores de ponderação referentes ao uso e ocupação

Áreas	Acessos, Uso e Ocupação		
	USEOC	VIASA	*SOCUP
Fapic	1	1	2
Ginásio de Esportes	1	1	2
Novo Horizonte	1	1	2

(*) SOCUP: Somatório da ponderação para os geoindicadores referentes ao uso e ocupação.

Tabela 14: Valores de ponderação referentes aos processos geodinâmicos

Áreas	Processos Geodinâmicos		
	EROSA	ASSOR	*SGEOD
Fapic	0	0	0
Ginásio de Esportes	0	0	0
Novo Horizonte	0	0	0

(*) SGEOD: Somatório da ponderação para os geoindicadores referentes aos processos geodinâmicos.

Tabela 15: Valores de ponderação referentes à geometria da cava

Áreas	Geometria da Cava		
	TALCA	TAREA	SGEOM
Fapic	3	(102493 m ²) 2	5
Ginásio de Esportes	3	(52133 m ²) 1	4
Novo Horizonte	2	(32234 m ²) 1	3

O valor entre parênteses foi obtido no levantamento das informações

(*) SGEOD: Somatório da ponderação para os geoindicadores referentes à geometria da cava.

A Tabela 15 apresenta o somatório final de todas as ponderações associadas a cada um dos geoindicadores avaliados. Essa ponderação representa o nível de degradação de cada uma das áreas de estudo.

Tabela 16: Ponderação final dos geoindicadores

Áreas	*STOTAL
Fapic	17
Ginásio de Esportes	18
Novo Horizonte	22

(*) STOTAL: Somatório final da ponderação dos geoindicadores.

6.5 DISCUSSÃO DOS GEOINDICADORES PROPOSTOS

Nessa discussão será feita uma avaliação da eficácia dos geoindicadores propostos, tendo em vista sua adequação ao meio avaliado (áreas de empréstimo), vantagens, e importância na avaliação.

6.5.1 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. Em alguns casos 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 nestes casos 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.

6.5.2 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 possibilitou 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.

6.5.3 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 20 m acarretaria a realização de trabalhos de campo mais detalhados, com a realização de levantamentos de áreas no campo utilizando-se ferramentas de topografia.

6.5.4 Recursos Hídricos

O reconhecimento dos mananciais próximos à área ou internos à 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 sondagens 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.

6.5.5 Relevo

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.

6.5.6 Acessos, Uso e ocupação

A caracterização de uso e ocupação do solo é tarefa de execução fácil dada a diversidade de alternativas para sua obtenção, tais como trabalhos de campo, consulta a informações anteriores como mapas, técnicas de sensoriamento remoto, e mesmo consultas à 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, este geoindicador foi incluído no presente trabalho.

Nas áreas estudadas tal situação não se confirmou por se tratarem de áreas muito próximas à área urbana e que se valeram de vias já existentes, as quais haviam sido executadas de forma apropriada.

6.5.7 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 estes 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 desta natureza sejam comuns, devem ser previstos geoindicadores para avaliar tal questão.

6.5.8 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.

6.6 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.

No presente trabalhos eles 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 ilustra a participação relativa da degradação mensurada para cada componente avaliado em termos da degradação total, Figura 34.

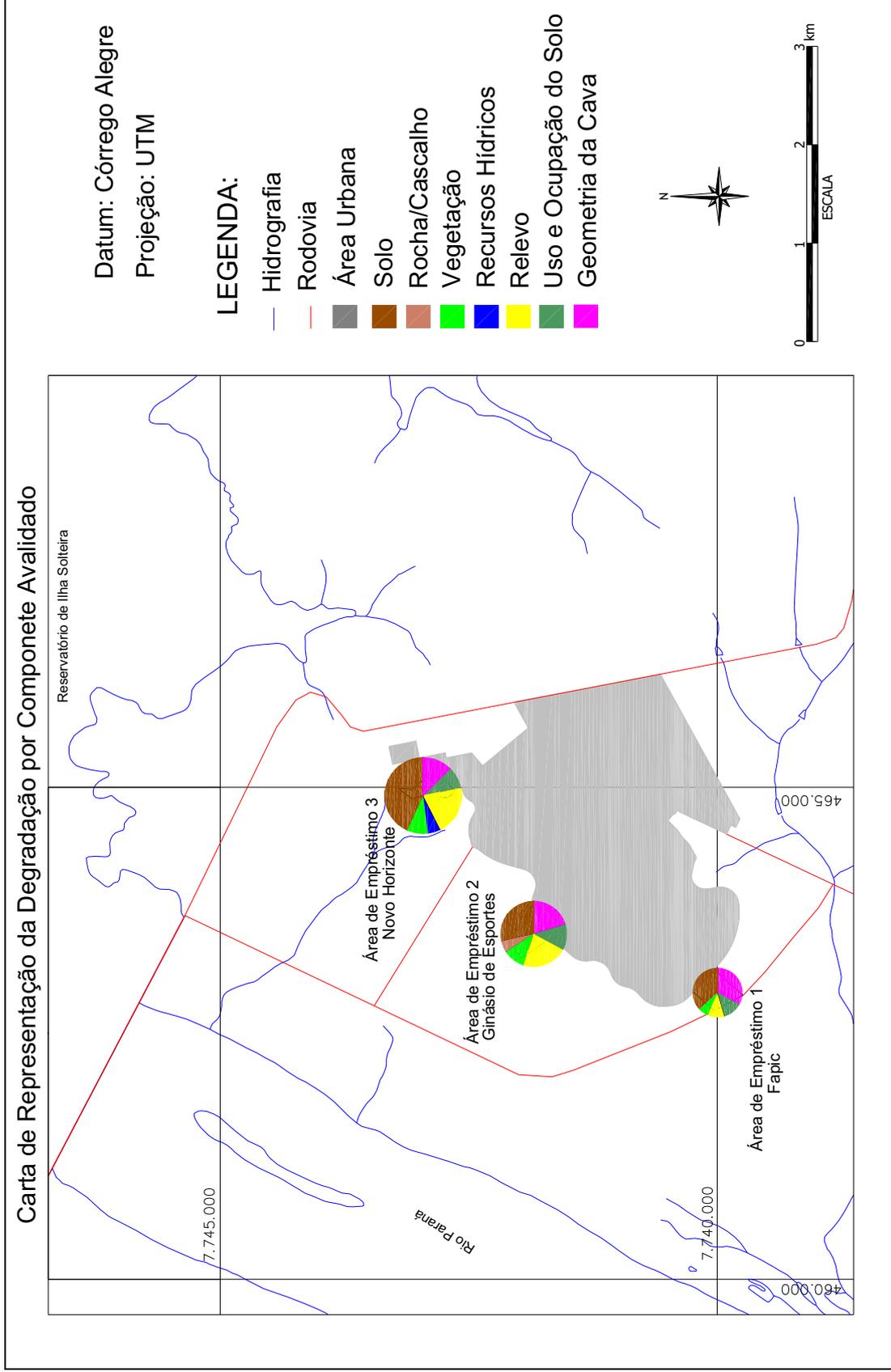


Figura 34: Representação proporcional da degradação por áreas de empréstimo e por componente avaliado

Os diferentes tamanhos dos círculos são proporcionais ao somatório dos valores de degradação em cada área.

A área da Fapic apresenta menor ponderação (17), pois apesar de ser uma área extensa, onde o perfil explorado foi cerca de 9 m de profundidade, o que implica numa valoração desfavorável quanto ao componente geometria e solo, essa área não gerou impactos no componente recursos hídricos e rocha. No componente relevo a área teve ponderação intermediária, e nos demais ponderação idêntica a das outras áreas.

A área próxima ao Ginásio de Esportes apresentou um valor de ponderação intermediário (18) em relação as outras duas áreas, visto que suas ponderações por componente não foram maiores que outras áreas em nenhum componente, e apenas em um único caso se igualou a área próxima ao Novo Horizonte, no quesito relevo.

Para a área próxima ao Novo horizonte, a ponderação final foi 22, indicando uma maior degradação nessa área. Apesar dessa degradação ser bastante significativa no componente solo, essa área também é a única que teve impactos em recursos hídricos, já que o nível de água subterrânea na área encontra-se mais próximo do fundo da cava, expondo mais os recursos hídricos subterrâneos.

A Figura 34 ilustra também que determinados componentes tiveram participação mais importante na medida da degradação obtida, e em particular os componentes: solo, geometria da cava e relevo. Devido a essa disparidade de importância relativa dos componentes no processo, cada um deles será discutido na seqüência.

O componente solo, Figura 35, foi o mais importante no processo de definição da degradação. Esse resultado não poderia ser diferente visto que o trabalho trata exatamente de degradação do solo. Sendo que os geoindicadores relacionados ao componente solo tiveram papel mais relevante na área de empréstimo do Novo Horizonte.

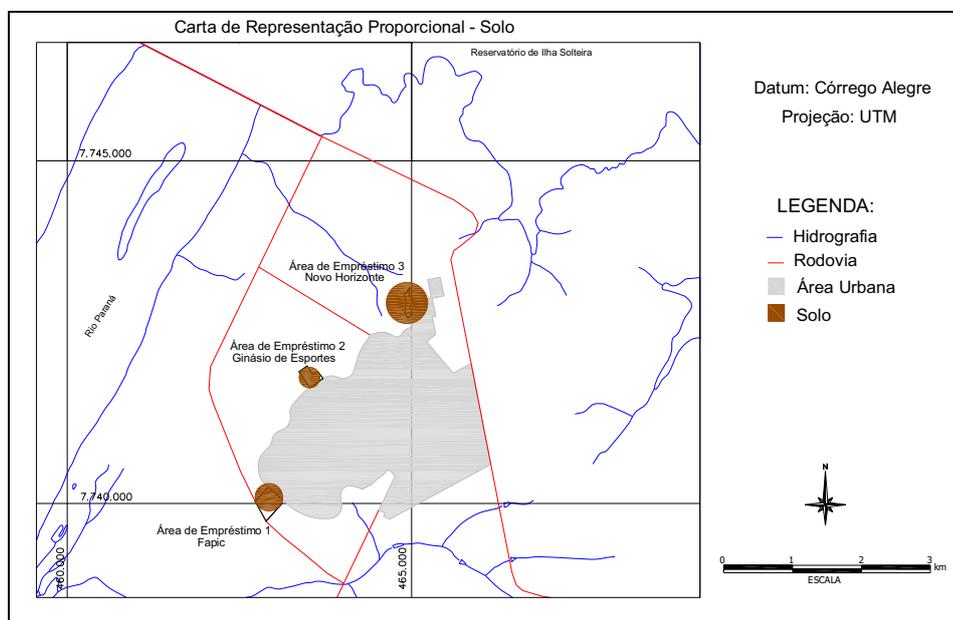


Figura 35: Representação proporcional da degradação para solo

O componente rocha/cascalho, Figura 36, foi pouco importante na avaliação da degradação nas áreas, tendo se manifestado apenas na área próxima ao Ginásio de Esportes, onde a escavação prosseguiu até expor a camada de cascalho na base do perfil.

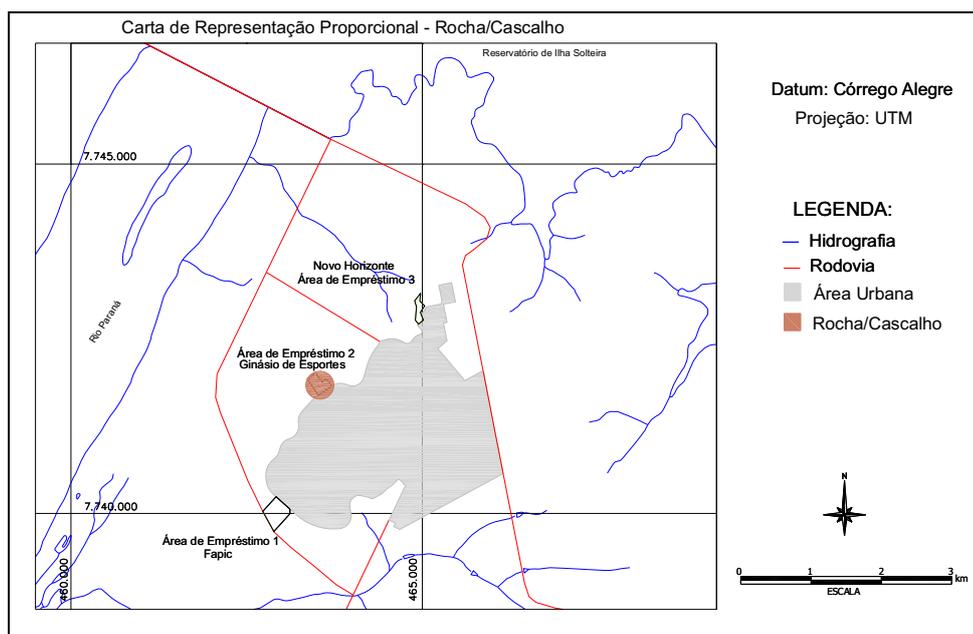


Figura 36: Representação proporcional da degradação para rocha/cascalho

A valoração dos geoindicadores do componente Vegetação, Figura 37, mostrou-se praticamente igual para as áreas de empréstimo analisadas, exceção feita apenas à área da Fapic, na qual houve recomposição da cobertura vegetal visto ter sido dada nova destinação à área (recinto de exposições).

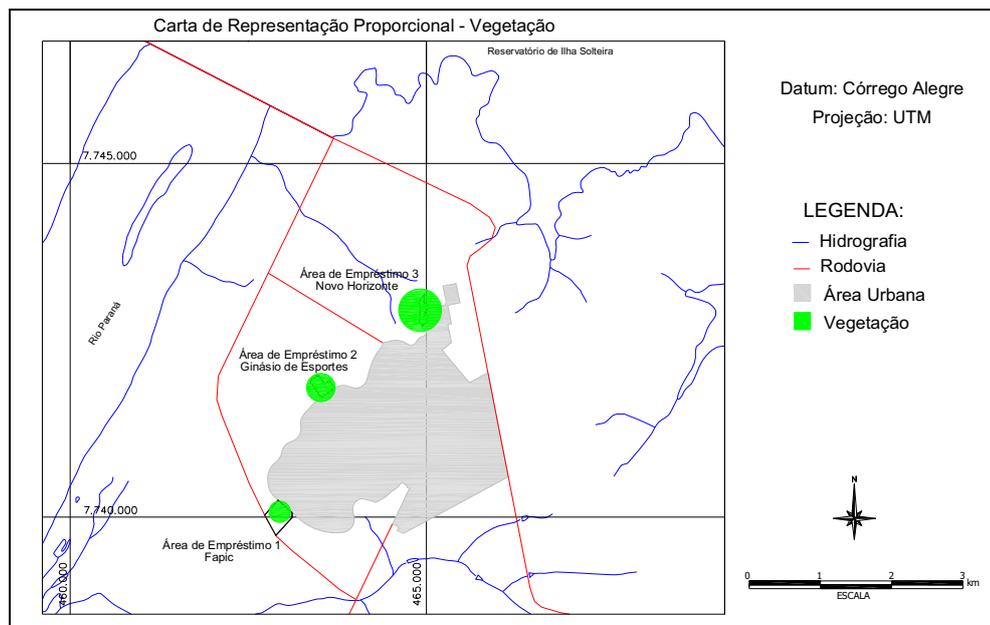


Figura 37: Representação proporcional da degradação para vegetação

A Figura 38 apresenta a valoração dos geoindicadores para recursos hídricos que também foram pouco importantes no processo de avaliação da degradação, resultando valor apenas para a área próxima ao Novo Horizonte. Tal fato se justifica porque as áreas estudadas se situavam todas à distâncias significativas de mananciais superficiais e em áreas onde a profundidade do nível freático era sempre superior à 14 m, havendo pouca possibilidade de perda de qualidade dos recursos hídricos subsuperficiais por escavação.

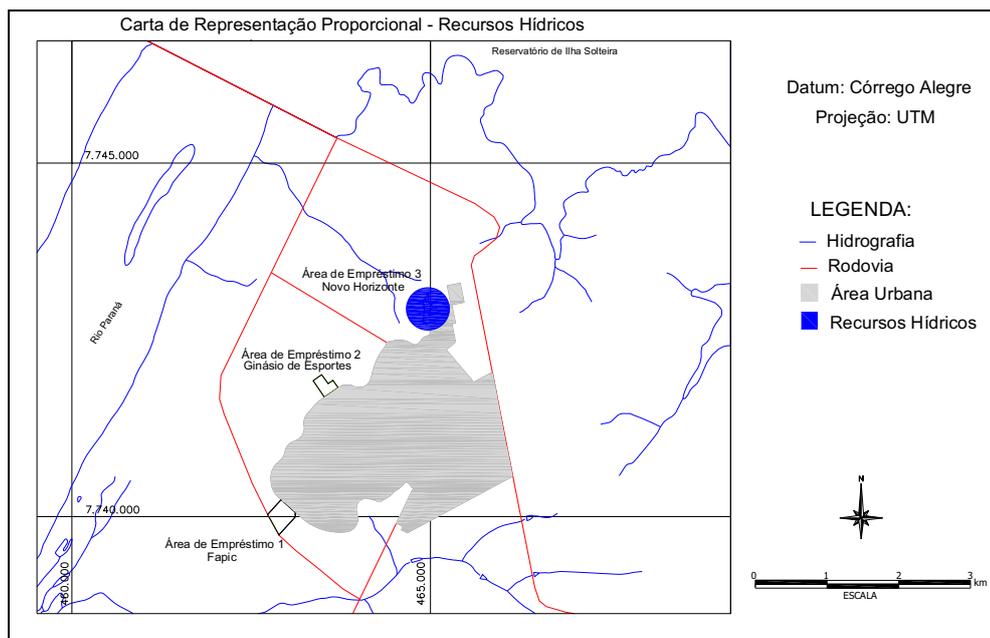


Figura 38: Representação proporcional da degradação para recursos hídricos

As alterações identificadas no componente relevo, Figura 39, foram de grande importância na valoração final. Na área designada por Fapic, a importância relativa das alterações no relevo foi menos importante, pois essas alterações foram compensadas por atividades posteriores de terraplenagem que recuperaram a área do ponto de vista paisagístico. Nessa área também existem obras de drenagem, e isso reduz os impactos negativos da escavação. Para as demais áreas as alterações paisagísticas foram as intervenções mais significativa no relevo.

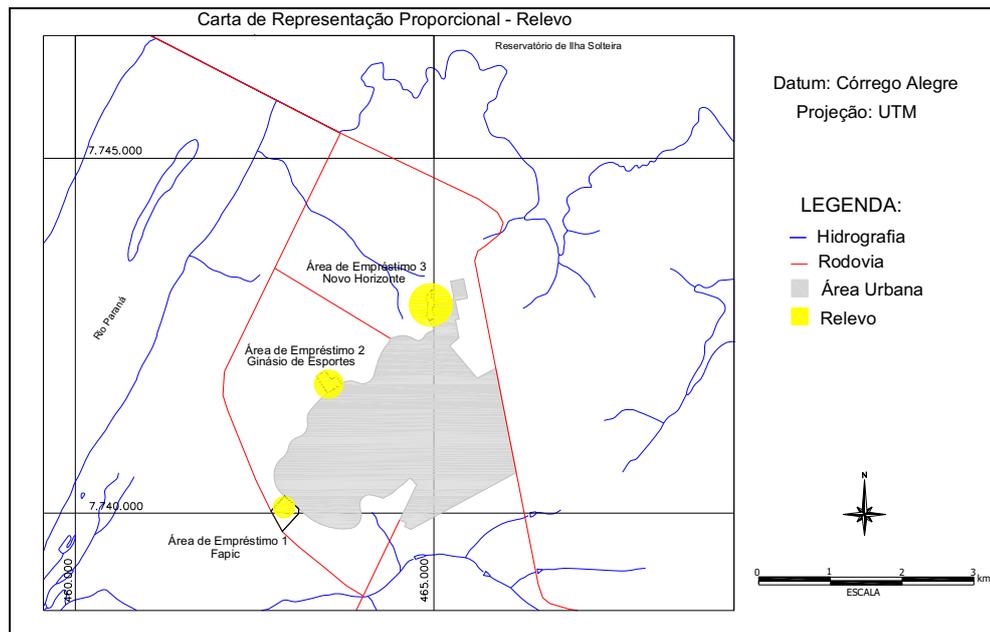


Figura 39: Representação proporcional da degradação para o componente relevo

As alterações em ocupação e uso do solo, Figura 40, foram constatadas iguais para as três áreas estudadas, sem grande importância na avaliação final.

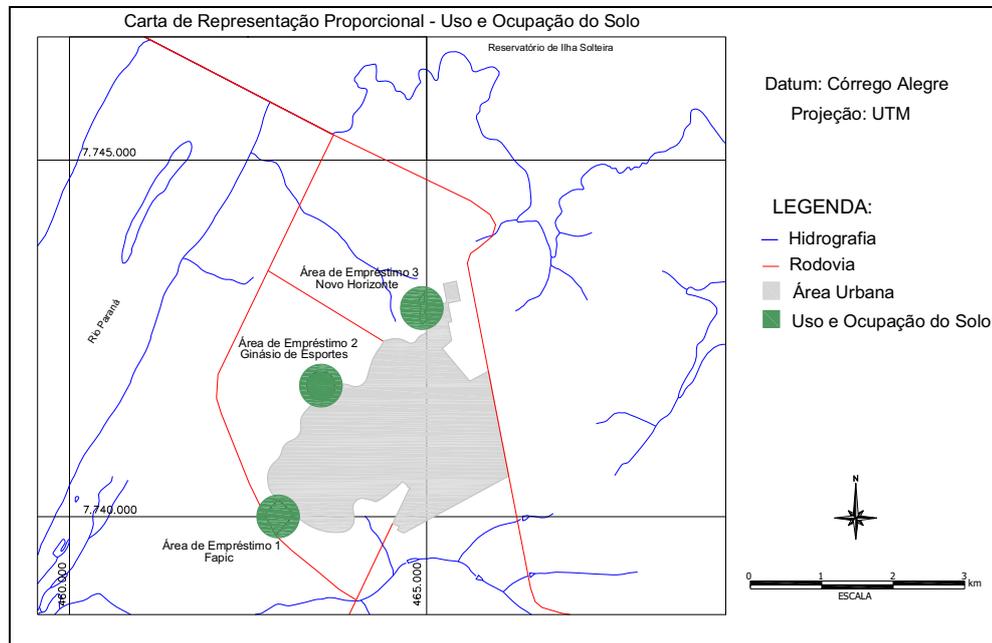


Figura 40: Representação proporcional da degradação – uso e ocupação do solo

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.

As características definidas no tópico geometria da cava mostraram-se bastantes significativas no processo de avaliação da degradação, Figura 41, especialmente no que diz respeito à inclinação dos taludes que foi importante para todas as áreas.

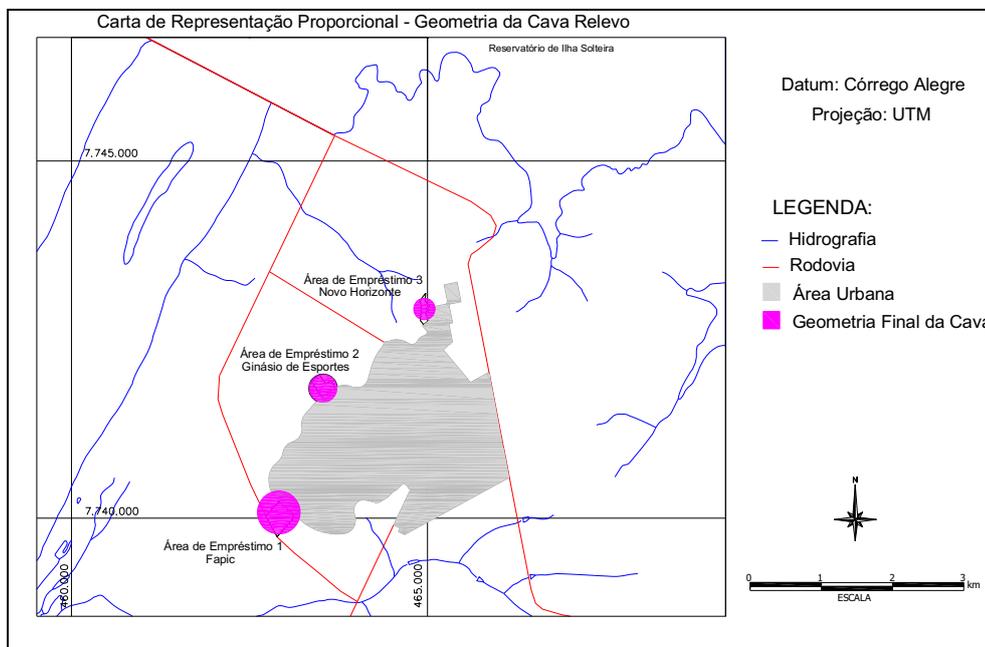


Figura 41: Representação proporcional da degradação – geometria da cava

6.7 AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DAS ÁREAS EM ESTUDO

Diante de todas essas análises apresentadas temos que as áreas de empréstimo 1 e 2 estão com praticamente o mesmo nível de degradação, visto que suas ponderações finais foram 17 e 18 respectivamente.

Tal situação se deve ao fato que estas áreas foram, após o encerramento de sua exploração, ocupadas para finalidades diferentes da remoção de solo, ocupações estas que acabaram resultando em ligeira redução da degradação ambiental.

No caso da Área de Empréstimo 1, o uso atual é de recinto de exposições e realização de eventos, destinação que significou recomposição de parte do volume escavado, revegetação da área e execução de obras de drenagem o que acabou resultando em menores valores de degradação para componentes como solo, vegetação, relevo, e ocupação e uso.

Para a Área de Empréstimo 2, o poder público fez um contrato de comodato com um cidadão local interessado em desenvolver atividades pecuárias em pequena escala, já que no local as glebas rurais são pequenas. O proprietário, interessado em melhorar as

condições da área para seu uso, tem cuidado da área com a plantação de gramíneas e rotação de seu uso como pastagem com áreas vizinhas de sua propriedade.

Além disso, o proprietário em questão cercou a área e restringiu o acesso a mesma. Tal atitude resultou em menor degradação no tempo atual, registrada principalmente em termos dos baixos valores obtidos para os componentes solo e ocupação e uso do solo.

A Área de Empréstimo 3, situada adjacente ao Bairro Novo Horizonte teve a maior ponderação final (22), ou seja, é a área mais degradada, o que é justificado por altas ponderações principalmente no componente solo e a ponderação obtida no componente recursos hídricos, sendo que esse último nas demais áreas não tem nenhuma influência, pois não contribui.

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.

De forma a classificar as áreas por nível de degradação foi feita uma análise usando-se agrupamento por passo igual, utilizando um procedimento de análise do *Spring*. Para essa avaliação foram definidas três classes de acordo com a degradação total mensurada.

A escolha de três classes foi por essa divisão representar a prioridade de intervenção nas áreas, sendo uma informação de grande importância, principalmente em casos práticos, onde o poder público pode utilizá-la como seqüência de trabalho ao propor medidas de recuperação e/ou aproveitamentos das áreas.

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 três intervalos para degradação assim distribuídos: (Degradação Baixa) 17-18; (Degradação Média) 19-20; (Degradação Alta) 21-22. A classificação resultante de tal processo segue apresentada, Figura 42.

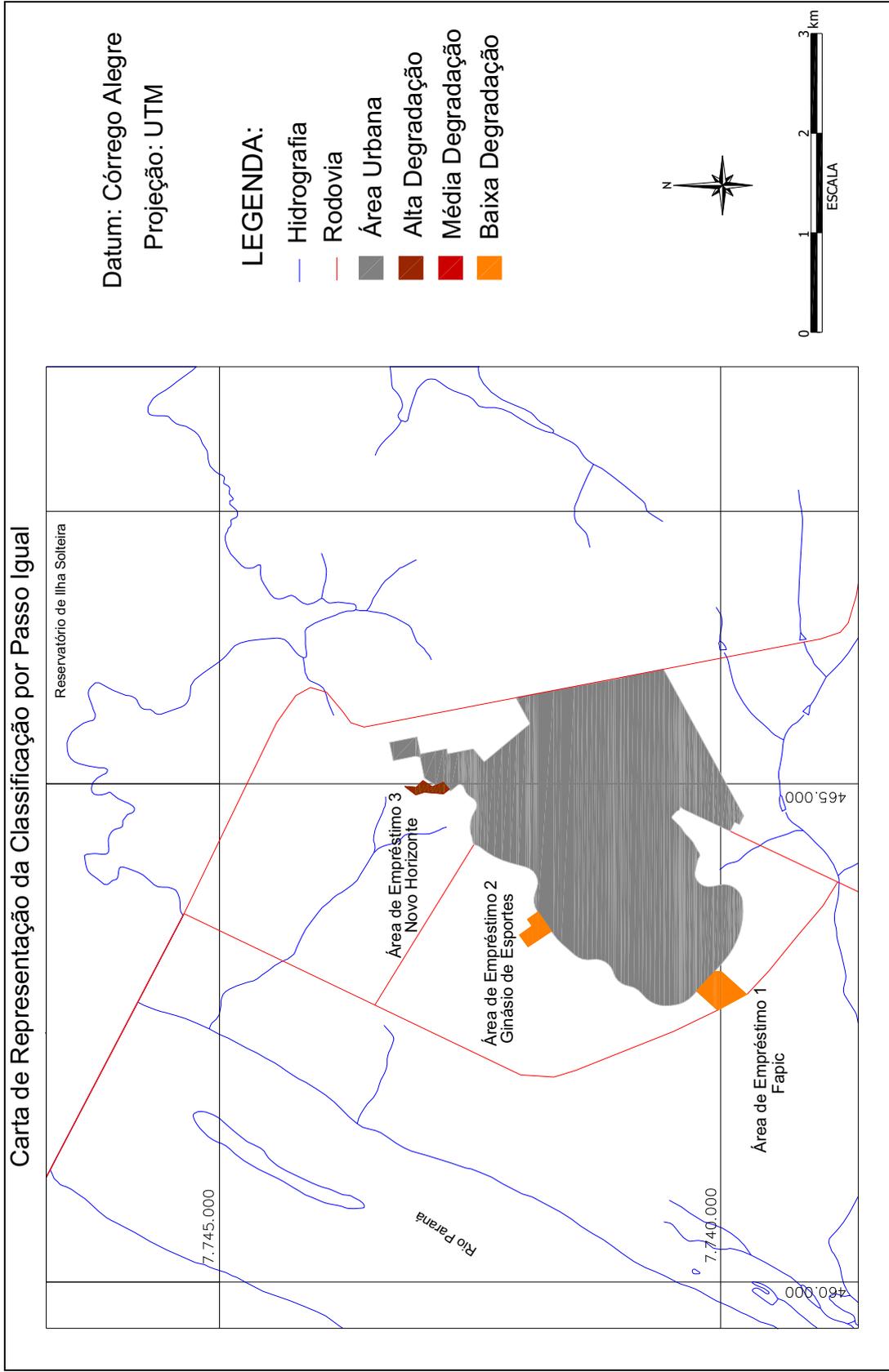
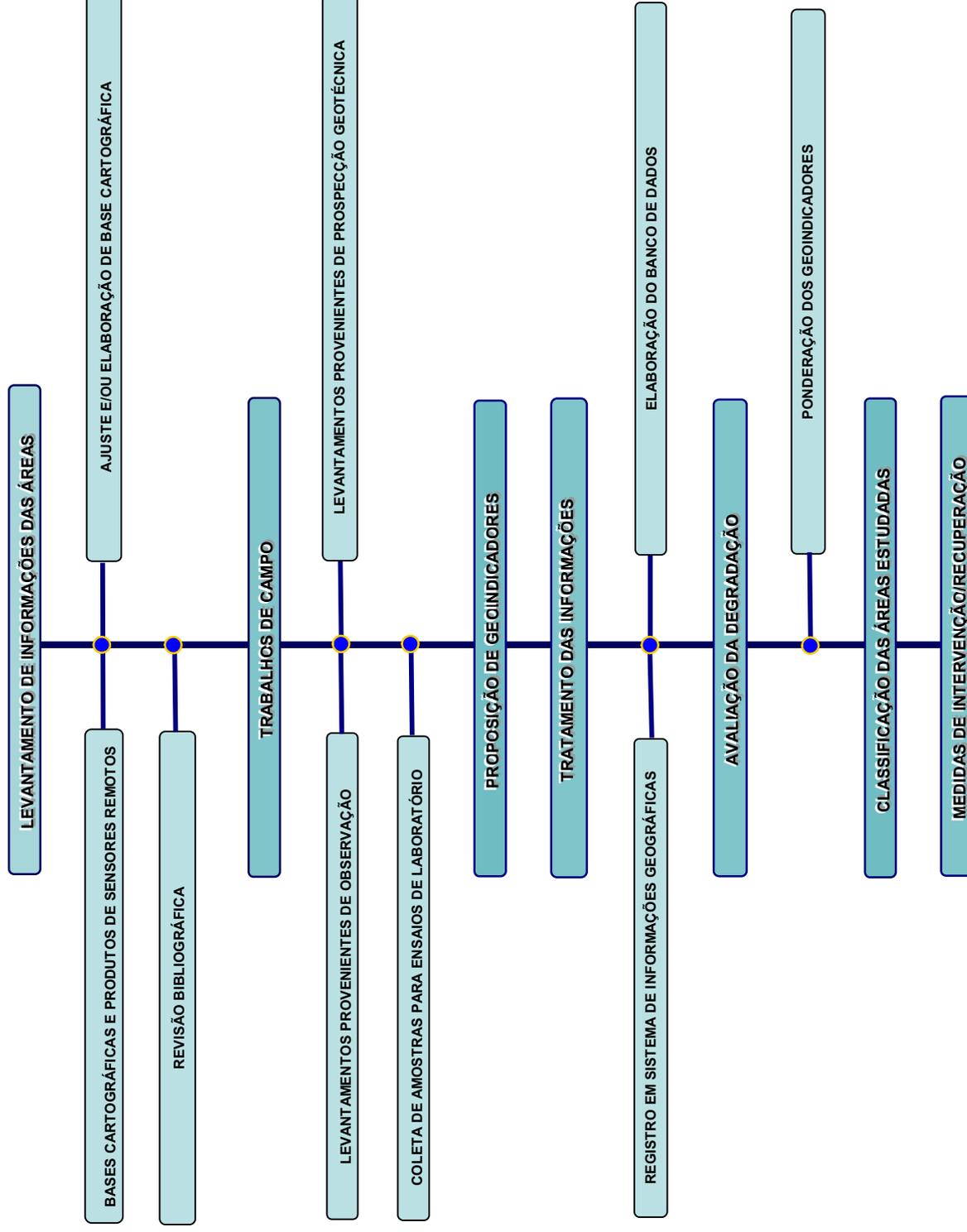


Figura 42: Nível de degradação das áreas de empréstimo estudadas

6.8 REPRESENTAÇÃO DA SISTEMÁTICA

A execução dos trabalhos conforme a proposta aqui apresentada pressupõe o desenvolvimento das etapas a seguir:



CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES

Diante de todas as análises para avaliação da degradação, podem ser extraídas as seguintes conclusões quanto ao aproveitamento futuro das áreas e prioridades de intervenção.

Do ponto de vista pecuário a Área de Empréstimo 2 e a Área de Empréstimo 3, Ginásio de Esportes e Novo Horizonte respectivamente, necessitam de investimentos com insumos para que venham a ser aproveitadas, e isso desde que se escolha um tipo de pastagem adequada para solos com menor potencial agricultável.

Nas duas áreas, a pecuária extensiva com rotação de pastagem seria o indicado, pois resulta menor desgaste à área. Deve-se ressaltar ainda que esse uso requer um monitoramento para que o mesmo se dê de forma a não intensificar o processo de degradação.

O uso agrícola na Área de Empréstimo 2 e 3 não são adequados, pois irão necessitar de investimentos altos com uso de insumos na regeneração de seu potencial agricultável, sem garantias de êxito.

No entanto, como essas áreas estão situadas na área urbana de Iha Solteira o mais conveniente é o seu aproveitamento para obras de engenharia, o que é possível tanto na Área de Empréstimo 2 como na Área de Empréstimo 3, desde que sejam obras de pequeno porte, pois de acordo com as sondagens de simples reconhecimento, o número de golpe (N_{SPT}), que indica a capacidade de carga do solo, é da ordem de 9 nas profundidades de 2 m e 3 m para a Área de Empréstimo 2 e Área de Empréstimo 3, respectivamente.

Na Área de Empréstimo 3 já existe uma parcela sendo ocupada para a construção de uma igreja. Para valorizar o local, uma das possibilidades de uso seria uma praça que atenderia a população do bairro contíguo e complementar o espaço no entorno da igreja, proporcionando lazer a população, além de ser uma área de infiltração, importante em zonas urbanas.

Em relação à Área de Empréstimo 2, atualmente a mesma já está sendo utilizada com a finalidade pastoril, que poderia ser melhorado com algum investimento na

formação de uma pastagem na área. Como essa área encontra-se anexa a área urbana de Ilha Solteira, num futuro ela poderá vir a ser usada para a instalação de algum equipamento urbano que possa atender a população.

É importante ressaltar que a ocupação “definitiva” dessas áreas deve ser feita de forma cuidadosa, pois o uso inadequado causa muitas vezes maiores impactos que o não aproveitamento das áreas.

Na Área de Empréstimo 1, Fapic, já existe ocupação, não justifica aqui apontar outra possibilidade que não a que existe atualmente, apesar de ter sido projetada com aterros que utilizam lixo e entulho (aterros sem controle técnico), o fato de existir um bom projeto urbanístico no local, com ruas pavimentadas, projeto de drenagem, e instalações para os eventos que ali se realizam, têm feito com que uma área que poderia ser hoje um passivo ambiental tenha uma destinação adequada para o município.

Em termos de prioridade de intervenções, o fato de na área próxima ao Bairro Novo Horizonte (Área de Empréstimo 3) já se encontrar em construção uma igreja, essa área deve ser a primeira a ter uma destinação, e na seqüência a área do Ginásio de Esportes (Área de Empréstimo 2), que com a expansão da área urbana de Ilha Solteira pode vir a ter uma vocação especial. Sendo que essa vocação muitas vezes depende dos anseios da sociedade e do poder público, sendo principalmente adequada aos interesses humanos, e capaz de preservar os recursos naturais

O uso de geoindicadores tem como propósito principal a agilidade e o baixo custo. O critério agilidade é fundamental para atender requisitos essenciais, e tornar a técnica atraente para seu uso em trabalhos de avaliação de áreas degradadas. 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.

As formas de obtenção de informações devem se basear na simples observação de campo, pois tais procedimentos significam trabalhos de campo mais rápidos, portanto, maior agilidade.

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.

Obviamente, nas situações em que os critérios citados anteriormente não permitirem 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 estes, aquele que apresente menor custo e menor tempo de execução.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.459**. Solo – Determinação do Limite de Liquidez. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.484**. Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.508**. Solo – Determinação da Massa Específica. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.180**. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.181**. Solo – Análise Granulométrica. 1984.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.htmleconteudo=./gestao/licencambiental.html>. Acesso em: 14 set. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10703: Degradação do solo**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. 45p.

BARROW, C. J. **Land degradation: development and breakdown of terrestrial environments**. New York: Cambridge University Press, 1991. 295p.

BERGER, A. R. The geoinicator 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.

BERGER A. R. Assessing Rapid Environmental Change Using Geoindicators. **Environment Geology**, Springer, Berlin, v. 32, n.1, p. 35-44, 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.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BORGHETTI, N. R. B; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004. Cap. 2, p. 97-123.

BRASIL. **Lei 6938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em 15 de jan. 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 15 jan. 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 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: 20 mai. 2008.

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 15 jan. 2007.

BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S. e PILKEY, O. H. Utilization of Geoinicators for Rapid Assessment of Coastal-Hazard Risk and Mitigation. **Ocean & Coastal Management**, Springer, Berlin, v. 42, p. 647-670, 1999.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE. Cap. 1. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em 8 de mar. 2007.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos da ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE. Cap. 2. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>>. Acesso em 8 de mar. 2007.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. 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. Cap. 3. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>>. Acesso em 8 de mar. 2007.

CAMPAGNOLI, F. **A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na bacia do alto Tietê, SP.** 2002. 192f. 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. **Environmental Geology**, Springer, 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. Foz do Iguaçu, 1999. **Anais...** Editado por Edson Roberto Blanchet, Maurício Balensiefer, Nívea Ribeiro Menegazzo e Rosana Scaramella. Curitiba: FUPEF, 1999. p. 313-327.

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 - Fascículos de História da Energia Elétrica em São Paulo, v. 2, 1988. 93p.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA IRRIGAÇÃO NA REGIÃO DE URUBUPUNGÁ – CINDIRU. **Termo de Referência para o Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Social para o desenvolvimento da Agricultura Irrigada na Região de Urubupungá.** CINDIRU, 1995. 32p.

CORRÊA, R. S.; LEITE, L. L. Desmatamento e mineração em unidade de conservação. In: CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. M. **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado.** Brasília: Paralelo, 1998. Cap. 3. p. 29-47.

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>. Acesso em 10 set. 2005.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e meio ambiente no Brasil.** Relatório Preparado para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Disponível em: <http://www.cgEE.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf>. Acesso em 14 set. 2005.

GIEDRAITIENE, J.; SATKUMAS, J.; GRANICZNY, M.; DOKTOR, S. The chemistry of groundwater: a geoindicator of environmental change across the Polish-Lithuanian border. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 42, p. 743-749, 2002.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://earth.google.com/intl/pt/>>. Acesso em 25 de mai. 2007.

GUPTA, A. Geoindicators for tropical urbanization. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 42, p. 736-742, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 20 de jan. 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 DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000**. Série Monografias, 6. São Paulo: IPT, v. 1 e 2.

KESSELRING, A. E. B. e KESSELRING, R. C. S. Medidas de controle e recuperação ambiental para áreas de ocorrência exploradas e disposição de bota-fora. In: SEMINÁRIO NACIONAL: A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS. Foz do Iguaçu, 1999. **Anais...** Editado por Edson Roberto Blanchet, Maurício Balensiefer, Nívea Ribeiro Menegazzo e Rosana Scaramella. Curitiba: FUPEF, 1999. p. 347-364.

KLIMAS, A.; GREGORAUSKAS, M. Groundwater abstraction and contamination in Lithuania as geoindicators of environmental change. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 42, p. 767-772, abr. 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.

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 (anais em mídia eletrônica – CD), 1998.

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.

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.

NOFFS, P. S., GALLI, L. F. e GONÇALVES, J. C. **Recuperação de áreas degradadas da mata Atlântica**. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2000. 48 p.

Organisation for Economic Co-Operation and Development – OECD. **Environmental indicators development, measurement and use**. Paris: OECD, 2003. 37 p. Disponível em: <<http://www.oecd.org/env/>>. Acesso em 10 out. 2006.

OSTERKAMP, W. R. Geoindicators for river and river-valley monitoring in the humid tropics. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 42, p. 725-735, 2002.

PEREIRA, A. P. O.; TANCON, K. M.; SINAY, L.; SINAY, M. C. F.; NAKED, R. L. Estudos de impacto ambiental para licenciamento de projetos rodoviários. In: SEMINÁRIO NACIONAL: A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS. Foz do Iguaçu, 1999. **Anais...** Editado por Edson Roberto Blanchet, Maurício Balensiefer, Nívea Ribeiro Menegazzo e Rosana Scaramella. Curitiba: FUPEF, 1999. p. 335-345

PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA. **Plano diretor participativo**. Disponível em: <<http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/planodiretor/>>. Acesso em: 10 de mar. 2007.

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.

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**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 4, p. 47-67.

RUFINO, R. C. **Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de indicadores ambientais**. 2002. 113f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SALOMÃO, F. X. T.; ANTUNES, F. S. Solos em pedologia. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1999. Cap. 6, p. 87-99.

SANTO, E. L. e SÁNCHEZ, L.E. Gis Applied to Determine Environmental Impact Indicators Made by Sand Mining in a Floodplain in Southeastern Brazil. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 41, p. 628–637, 2002.

SOLUÇÕES INTEGRADAS EM GEOTECNOLOGIAS. **Relatório Técnico: Levantamento Geofísico**. São Paulo. 2008.

SPRING: **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**" Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun, 1996.

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. **Ge indicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996. Cap. 14, p. 251-263.

Wikipédia. **Soils**. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Soil>>. Acesso em 15 jan. 2007.

ZUQUETTE, L.V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras**. 1987. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987, 3v.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; COLLARES, J. Q. S. Land Degradation Assessment Based on Environmental Ge indicators in the Fortaleza Metropolitan Region, State of Ceará, Brazil. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 45, p. 408–425, 2004.

ANEXO A – RELATÓRIO DE SONDAGENS SPT

INTERESSADO

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

Data

18/12/06

Relatório de sondagens à percussão

PROJETO: AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO MEIO FÍSICO POR ÁREAS DE EMPRÉSTIMO EM ILHA SOLTEIRA (SP) USANDO GEOINDICADORES E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Local: ILHA SOLTEIRA /SP

Código do Empreendimento: R078/06

Assunto: RELATÓRIO DE SONDAGENS DE SIMPLES RECONHECIEMENTO 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, cuja finalidade, 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 do amostrador, a cada metro, resultando na determinação do tipo de solo e do índice de resistência, bem como do nível d'água 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

2.1.1 Inicialmente foi feita, para cada perfuração, a limpeza de uma área para permitir o desenvolvimento de todas as operações sem obstáculos;

2.1.2 As sondagens foram iniciadas utilizando-se trado cavadeira manual até a profundidade 1 m, e nas operações subseqüentes da perfuração, intercaladas às de ensaio de amostragem, foi utilizado trado helicoidal;

2.1.3 Quando o avanço da perfuração, com o emprego do trado helicoidal foi inferior a 50 mm após 10 min de operação, passou-se ao método de perfuração com circulação de água, denominado lavagem (furo SP6, Ginásio de Esportes);

2.1.4 A operação de perfuração por circulação d'água foi realizada utilizando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação. O material é removido por meio da circulação de água realizada por bomba motorizada, através da composição da perfuração;

2.1.5 Durante a lavagem foi utilizado tubo de revestimento para a realização dos ensaios subseqüentes, alternadamente com a operação de perfuração, circulação de água (lavagem);

2.1.6 A sondagem a percussão foi dada por terminada quando ocorreu a condição de impenetrabilidade do solo, ou quando solicitada pelo contratante;

2.1.7 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 através 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, através 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

5.1 As amostragens são representativas dos materiais atravessados.

5.2 As amostras obtidas das sondagens a percussão foram dos seguintes tipos:



5.2.1 Amostras do barrilete amostrador SPT, constituídas pela parte inferior do material obtido no amostrador;

5.2.2 Amostra do trado, constituídas por material obtido durante a perfuração e coletadas na parte inferior da broca do trado.

5.2.3 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 seguem apresentados em forma de perfis individuais de sondagem.

Interessado: José Augusto de Lollo Projeto: Pesquisa Local: Ilha Solteira - SP	SONDAGEM A PERCUSSÃO SP6 - Ginásio COTA - 349 <small>DATA DE INÍCIO - 09/12/06 TÉRMINO - 09/12/06</small> <small>COORD. N - 7741828 E - 463658</small>
---	---

RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO - SPT NO. DE GOLPES/30CM	NUMERO DE GOLPES	PROF. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	INTER- PRETA- ÇÃO GEOLÓ GICA	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	CONSI- TÊNCIA OU COMPA- CIDADE	N. A. (m)
40 30 20 10							
3	2 18	1 12	2 15	0	AREIA FINA E MÉDIA POUCO ARGILOSA VERMELHA	FOFA	SECO
9	2 15	4 15	5 15	1			
15	5 15	6 15	7 15	2			
15	6 15	8 14	15	3			
15	6 15	8 14	15	4			
15	5 15	6 15	15	5			
18	5 18	6 12	15	6			
15	6 15	7 15	15	7			
20	6 15	8 15	15	8			
20	9 15	12 15	14 15	9	AREIA MÉDIA E GROSSA VERMELHA	COMPACTA	
LIMITE DE SONDAGEM: -8,90M							

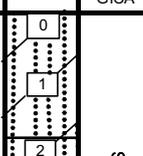
Leitura	Data	N. A.(m)	Método	Início (m)	Fim (m)	Lavagem por tempo - 10min.	OBS:
1	9/12/2006	SECO	T. Cavadeira	0,00	1,00	Prof. de início (m):	N. A: SECO
2			T. Espiral	1,00	3,00	Estágio 1 (cm):	Revestimento(m): 4,00
3			Lavagem	3,00	8,00	Estágio 2 (cm):	
						Estágio 3 (cm):	

PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

Relatório nº: 078/06	Desenhista: ACF	Escala: 1:100	Folha: 2/4	 www.oesteengenharia.com.br Rua Regente Feijó,415 - Araçatuba- SP - CEP: 16010540 Fone/Fax:18-36236540 - e-mail: oeste@oesteengenharia.com.br
Resp. Técnico :			Data:	
ZEIDE NOGUEIRA FURTADO CREA: 600 653 251			18/12/2006	

Interessado: José Augusto de Lollo						SONDAGEM A PERCUSSÃO SP8 - NOVO HORIZONTE COTA - 348			
Projeto: Pesquisa						DATA DE INÍCIO - 10/12/06 TÉRMINO - 10/12/06 COORD. N - 7742932 E - 464947			
Local: Ilha Solteira - SP									
RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO - SPT NO. DE GOLPES/30CM		NUMERO DE GOLPES		PROF. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	INTER- PRETA- ÇÃO GEOLÓ- GICA	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	CONSI- TÊNCIA OU COMPA- CIDADE	N. A. (m)
40	30	20	10						
						0	AREIA FINA E MÉDIA POUCO ARGILOSA VERMELHA	POUCO COMPACTA	SECO
						1		FOFA	
						2		MED. COMPACTA	
						3			
						4	LIMITE DE SONDAGEM :-4,45M		
SEDIMENTOS ALUVIONARES									
Leitura		Data		N. A. (m)		Método		Início (m) Fim (m)	
1	10/12/2006	SECO		T. Cavadeira	0,00	1,00		Lavagem por tempo - 10min.	
2				T. Espiral	1,00	4,00		Prof. de início (m) :	
3				Lavagem				Estágio 1 (cm) :	
								Estágio 2 (cm) :	
								Estágio 3 (cm) :	
OBS : N. A.: SECO									
PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO									
Relatório nº :		Desenhista:		Escala:		Folha:			
078/06		ACF		1:100		3/4			
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									

Interessado: José Augusto de Lollo	SONDAGEM A PERCUSSÃO SP9 - NOVO HORIZONTE COTA - 358
Projeto: Pesquisa	
Local: Ilha Solteira - SP	
	DATA DE INÍCIO - 11/12/06 TÉRMINO - 11/12/06 COORD. N -7742906 E - 465006

RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO -SPT NO. DE GOLPES/30CM				NUMERO DE GOLPES	PROF. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	INTER- PRETA- ÇÃO GEOLÓ GICA	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	CONSIS- TÊNCIA OU COMPA- CIDADE	N. A. (m)
40	30	20	10							
				1 15	3 15	4 15		AREIA FINA E MÉDIA ARGILOSA VERMELHA	POUCO COMPACTA	SECO
				5 17	25 13	30 15		PEDREGULHOS MÉDIOS E GRANDES VARIEGADOS	MUITO COMPACTO	
								LIMITE DE SONDAGEM: -2,45M		
SEDIMENTOS ALUVIONARES										

Leitura	Data / Hora	N. A.(m)	Método	Início (m)	Fim (m)	Lavagem por tempo - 10min. Prof. de início (m) : Estágio 1 (cm) : Estágio 2 (cm) : Estágio 3 (cm) :	OBS: N. A: SECO
1	11/12/2006	SECO	T. Cavadeira	0,00	1,00		
2			T. Espiral				
3			Lavagem				

PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

Relatório nº : 078/06	Desenhista : ACF	Escala : 1 : 100	Folha : 4/4	 www.oesteengenharia.com.br Rua Regente Feijó,415 - Araçatuba- SP - CEP: 16010540 Fone/Fax:18-36236540 - e-mail: oeste@oesteengenharia.com.br
Resp. Técnico :			Data :	
ZEIDE NOGUEIRA FURTADO CREA: 600 653 251			18/12/2006	

ANEXO B – RELATÓRIO SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL

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 através da caracterização geométrica dos materiais geológicos em subsuperfície, que tiveram como objetivo a determinação do perfil litológico das áreas de interesse.

Para alcançar este 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 destas metodologias depende da área a ser aplicado o método sobre o problema proposto.

1.1. A Eletrorresistividade

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.

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).

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 esta 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 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 (ρ), dada em Ohm. m e a condutividade (σ), 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, esta 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 3×10^2 a $> 10^3$
Diabásio	de 20 a 2×10^4
Sienito	de 10^2 a 10^5
Folhelho	de 10 a 10^4
Calcário	de 50 a 5×10^5
Areia	de 1 a 5×10^3
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 (ΔV), 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 através 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 desta 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 (ΔV) entre eles.

Arranjo Schlumberger

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 3).

A corrente elétrica é injetada no solo através do contato direto feito por eletrodos metálicos ou porosos. A resposta é medida na forma de diferença de potencial (voltagem), observada também através 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.

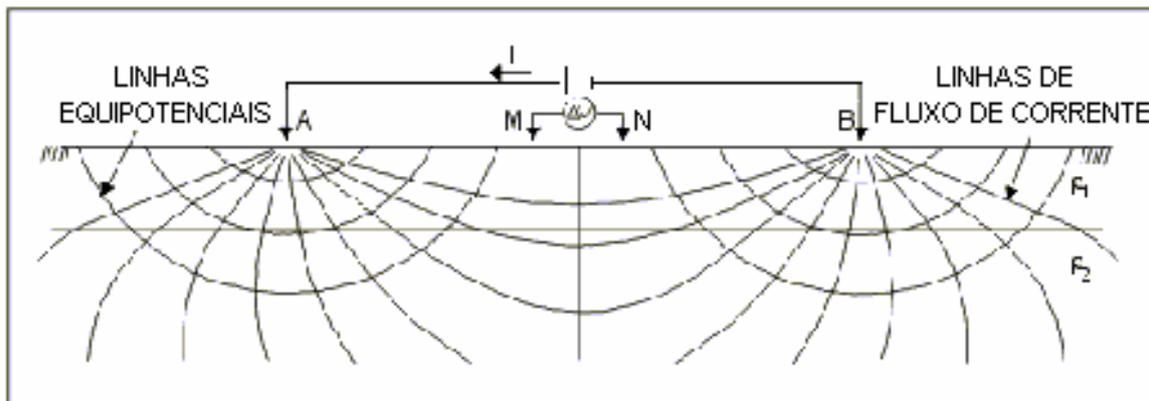


Figura 3 - Arranjo Elétrico Schlumberger (Telford *et al*, 1990)

Para terrenos homogêneos e isotrópicos e considerando uma disposição de eletrodos simétricos, a resistividade aparente do meio pode ser obtida através 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 através da 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

No local de estudo foram executadas 10 SEV's, distribuídas em 5 áreas distintas como mostra a tabela a seguir.

Tabela 2 – Denominação das SEV's realizadas

Área 1	Ginásio de Esportes	SEV 1A e 1B
Área 2	MotoCross	SEV 2A e 2B
Área 3	Novo Horizonte	SEV 3Ae 3B
Área 4	Rotatória	SEV 4Ae 4B
Área 5	FAPIC	SEV 5Ae 5B

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 resistímetro 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 metros 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 lpi.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 (Anexo 1).

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	204	1.82	0 – 1.72	Solo superficial
2	3189	2.44	1.72 – 4.16	sedimentos arenosos e/ou cascalho
3	314	3.71	4.16 – 7.87	sedimentos arenosos com argila
4	173	-	7.87 - ∞	sedimentos arenosos com argila
N.A. não atingido				

MODELO INTERPRETADO SEV 1B				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	4435	2.26	0 – 2.26	Solo superficial
2	6980	1.85	2.26 – 4.11	sedimentos arenosos
3	2769	14.6	4.11 – 18.71	sedimentos arenosos
4	78	-	18.71 - ∞	sedimentos arenosos saturados
N.A. 18.7 metros				

MODELO INTERPRETADO SEV 2A				
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 2B				
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 3A				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	77.7	2.62	0 – 2.62	Solo superficial
2	228	2.69	2.62 – 5.31	sedimentos arenosos com argila
3	345	3.82	5.31 – 9.13	sedimentos arenosos com argila
4	48.6	4.98	9.13 – 14.11	sedimentos arenosos saturados
5	795	-	14.11- ∞	basalto ou sedimentos grosseiros
N.A. 9.13 metros				

MODELO INTERPRETADO SEV 3B				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	84.2	0.79	0 – 0.79	Solo superficial
2	382	5.99	0.79 – 6.78	sedimentos arenosos com argila
3	902	4.06	6.78 – 10.84	sedimentos arenosos
4	4485	7.1	10.84 -17.94	sedimentos arenosos
5	23.1	-	17.94- ∞	sedimentos arenosos saturados
N.A. 17.94 metros				

MODELO INTERPRETADO SEV 4A				
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 4B				
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				

MODELO INTERPRETADO SEV 5A				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	661	0.58	0 – 0.58	Solo superficial
2	1286	1.83	0.58 – 2.41	sedimentos arenosos
3	311	17.4	2.41 – 19.81	sedimentos arenosos com argila
4	29.3	-	19.81 - ∞	sedimentos arenosos com argila saturados
N.A. 19.81 metros				

MODELO INTERPRETADO SEV 5B				
Camada	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Interpretação
1	155	0.62	0 – 0.62	Solo superficial
2	9664	6.54	0.62 – 7.16	sedimentos arenosos e/ou cascalho
3	2586	2.84	7.16 – 10	sedimentos arenosos
4	6299	15.9	10 – 25.9	sedimentos arenosos saturados
5	133	-	25.9 - ∞	sedimentos arenosos com argila saturados
N.A. 25.9 metros				

5. Considerações Finais

Os resultados obtidos pelas SEV's permitiram estabelecer o modelo geológico para os 10 pontos investigados.

ANEXO 1

MODELO DAS SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS (FIGURAS 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)

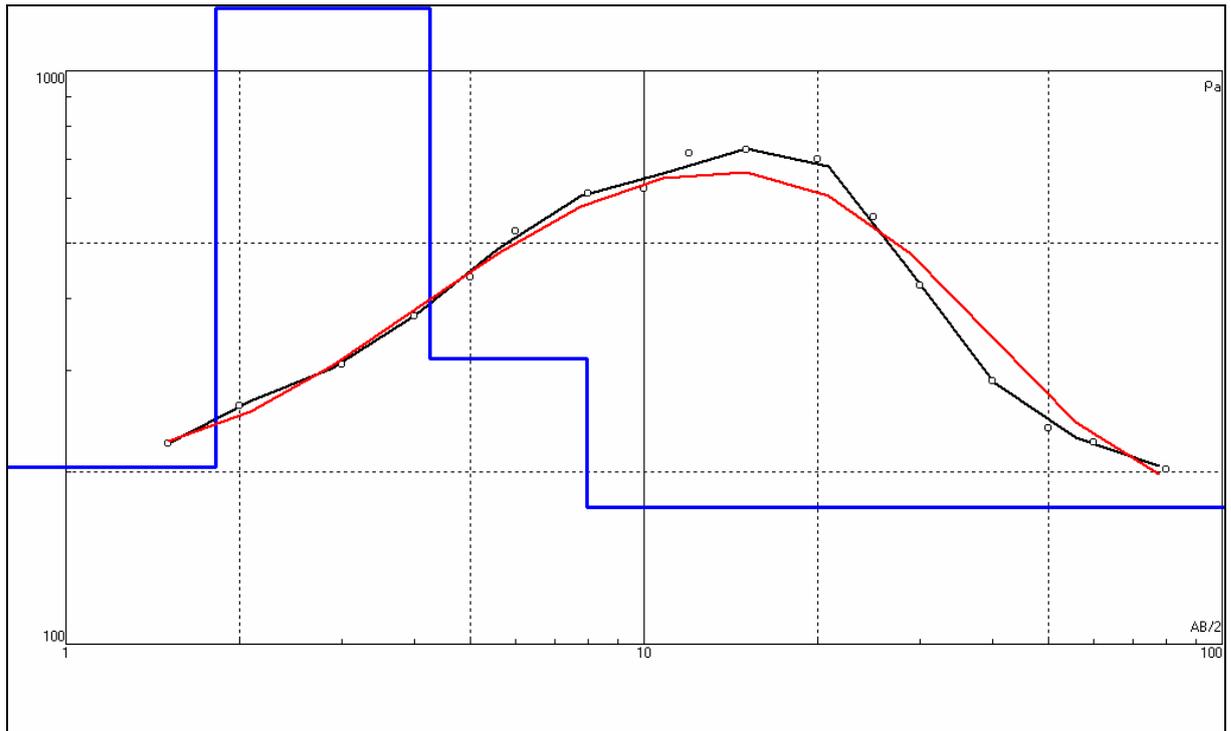


Figura 4 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 1A.

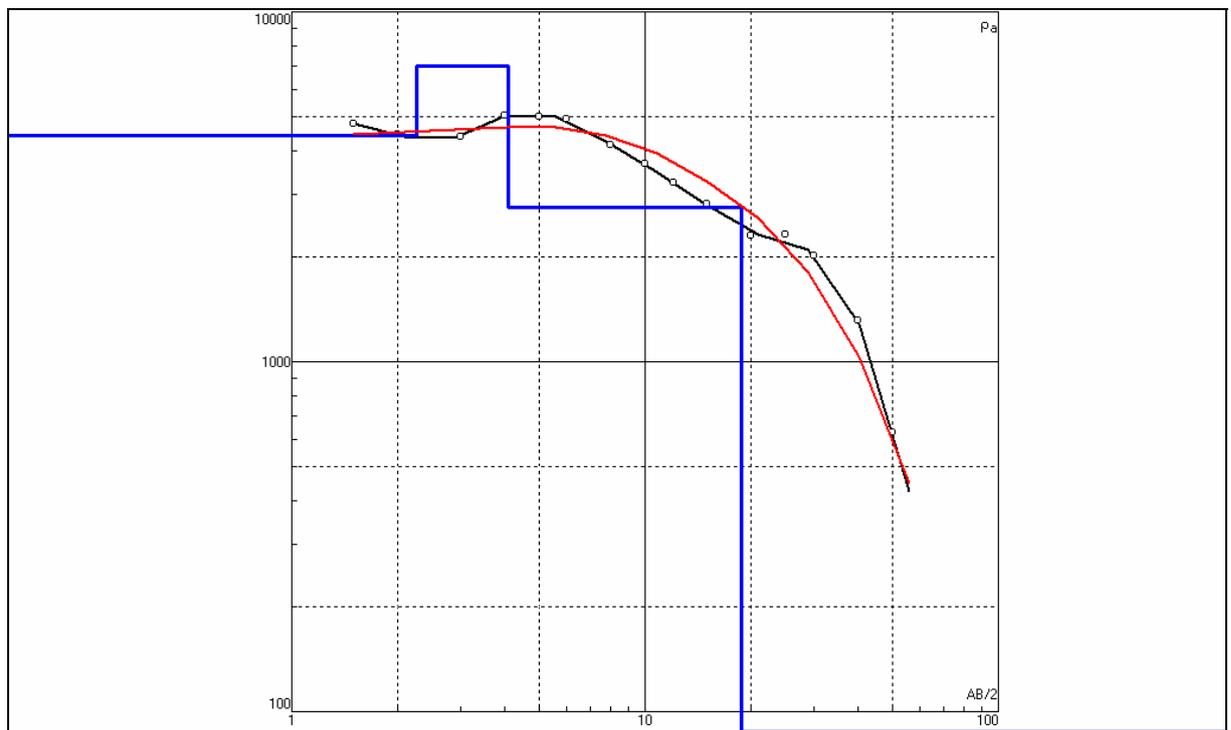


Figura 5 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 1B.

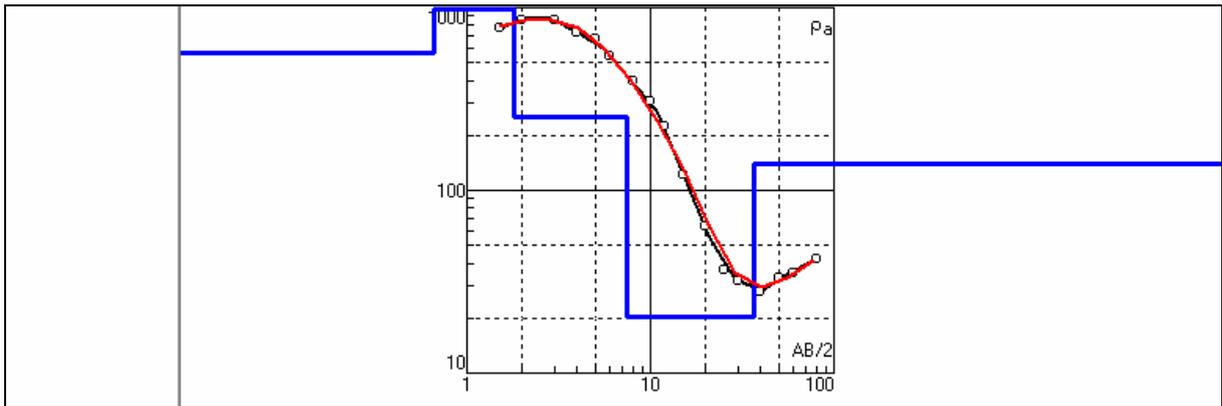


Figura 6 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 2A

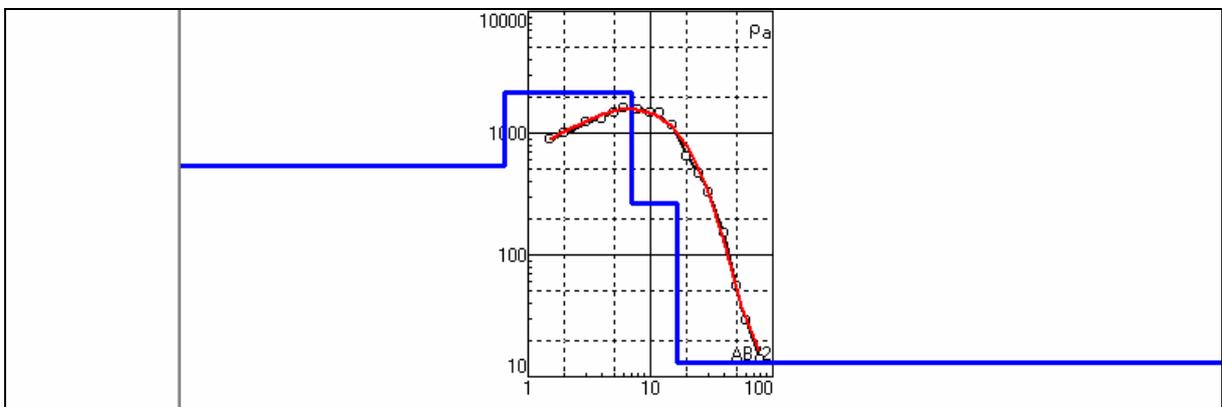


Figura 7 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 2B.

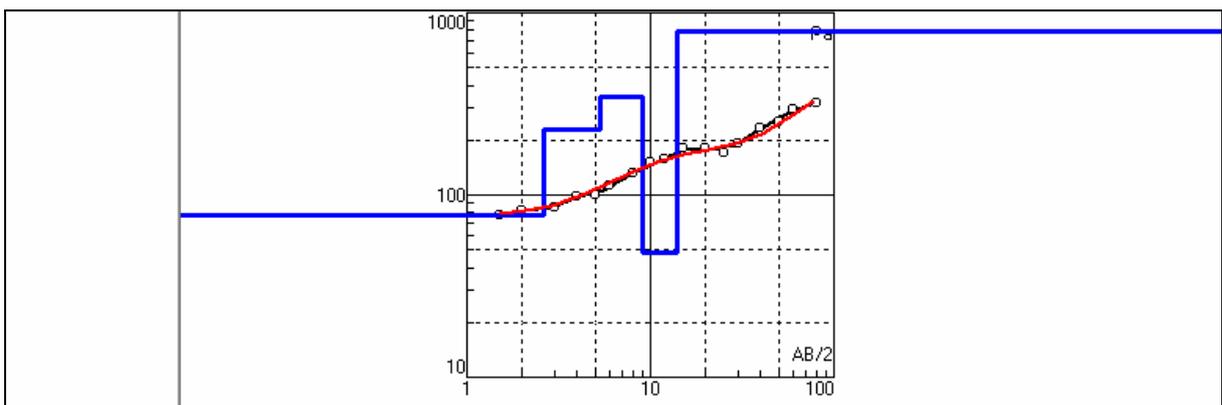


Figura 8 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 3A.

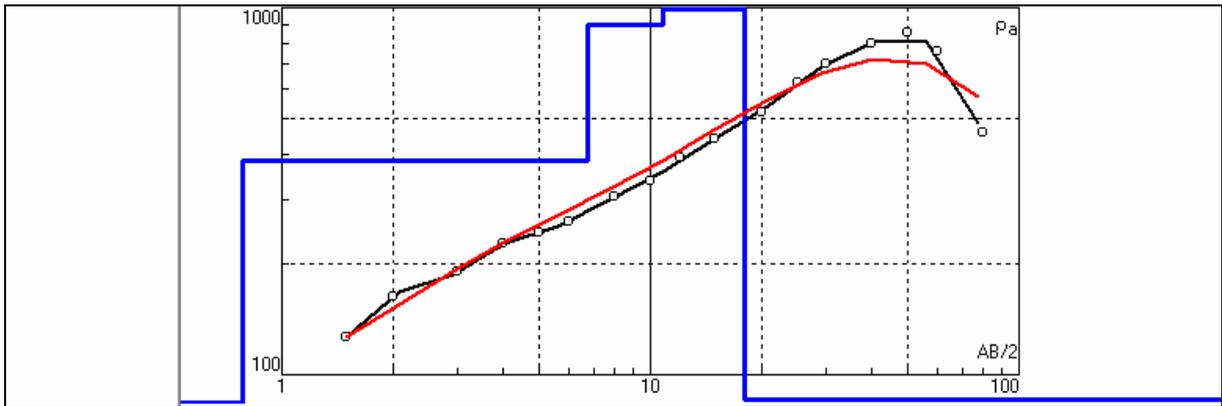


Figura 9 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 3B.

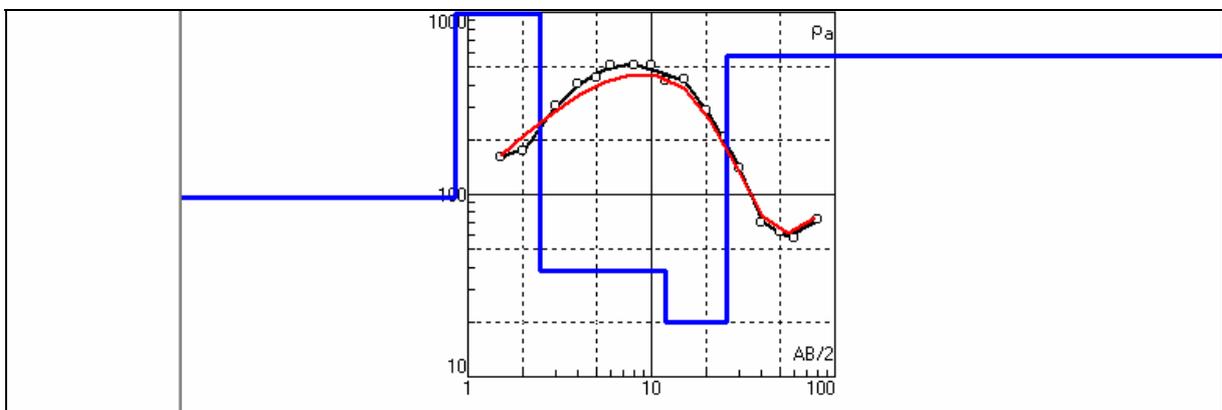


Figura 10 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 4A.

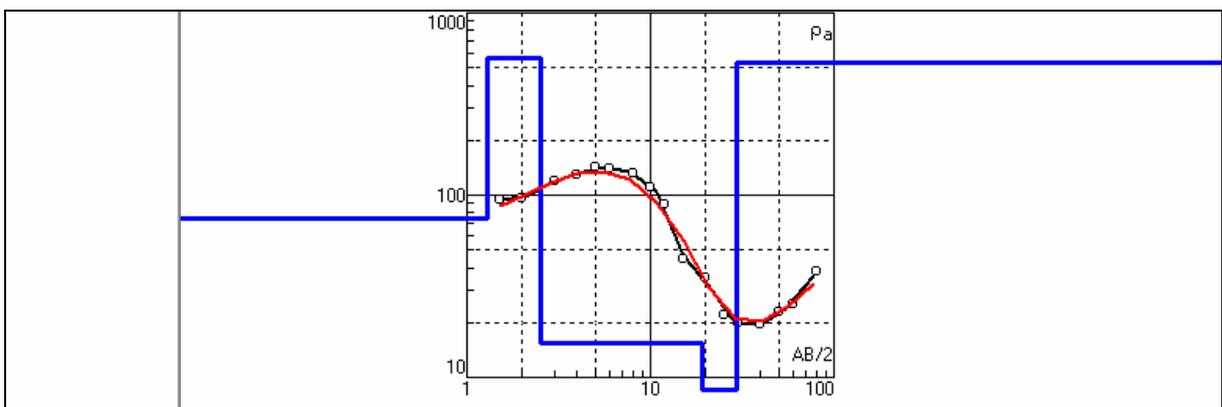


Figura 11 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 4B.

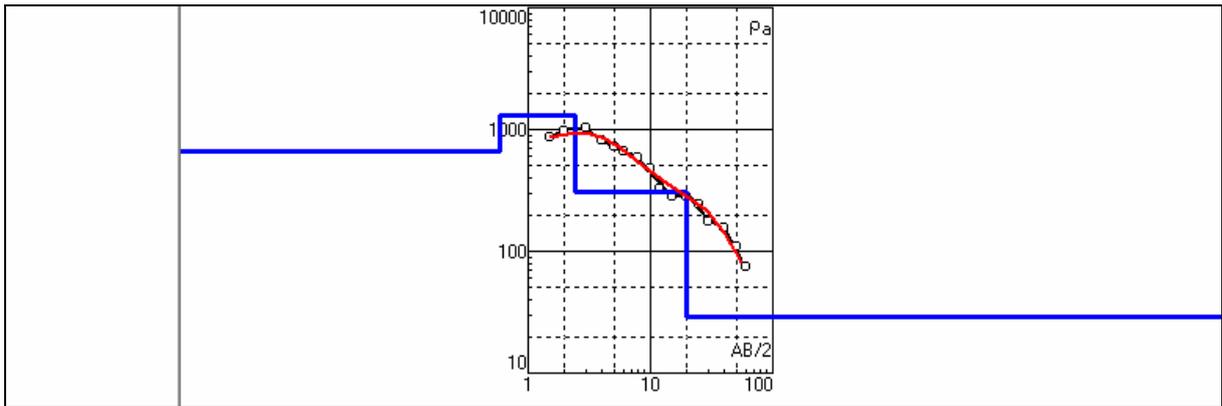


Figura 12 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 5A.

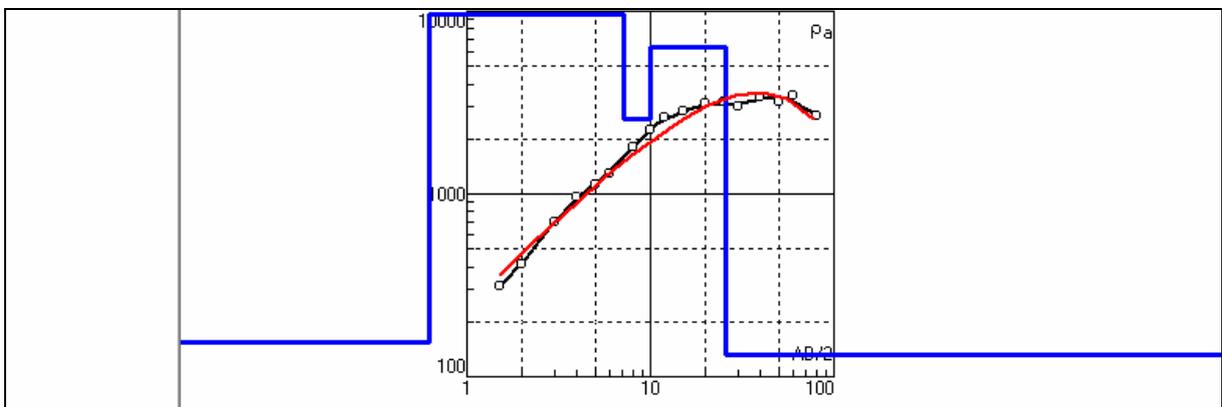


Figura 13 – Curva de campo e modelo ajustado para SEV 5B.